

### СОДЕРЖАНИЕ

Кислов А. В., Гущина Д. Ю. Научное наследие Михаила Арамаисовича Петросянца (к 100-летию со дня рождения) .....	3
<i>Теория и методология</i>	
Чалов Р. С. Гидролого-географические аспекты управления русловыми процессами .....	11
Касимов Н. С., Лычагин М. Ю., Чалов С. Р., Шинкарева Г. Л. Парагенетические ассоциации химических элементов в ландшафтах .....	20
<i>Методы географических исследований</i>	
Курбанов Р. Н., Янина Т. А., Мюррей Э. С., Семиколенных Д. В., Свистунов М. И., Штыркова Е. И. Возраст карангатской трансгрессии (поздний плейстоцен) Черного моря .....	29
Овсепян Я. С., Аверкина Н. О., Талденкова Е. Е., Шпильхаген Р. Ф., Баух Х. А., Тихонова А. В. Бентосные фораминиферы как индикаторы проникновения атлантических вод в Арктический бассейн в конце позднего плейстоцена – голоцене .....	41
Шестакова А. А., Торопов П. А. Моделирование экстремальных осадков зимнего периода для южного побережья Каспийского моря .....	51
Крашенинникова С. Б., Крашенинникова М. А. Оценка изменчивости скорости ветра в Причерноморском регионе России на основе выбранных моделей проекта CMIP5 .....	60
<i>Региональные исследования</i>	
Романов А. А., Мелихова Е. В. География птиц в горах Северо-Восточной Азии .....	67
Карачурина Л. Б., Флоринская Ю. Ф. Миграционные намерения выпускников школ малых и средних городов России .....	82
Баранов Д. В., Панин А. В., Антонов С. И., Беляев В. Р., Болысов С. И., Еременко Е. А., Зарецкая Н. Е. Влияние гляциоизостатических движений земной коры в приледниковой зоне на развитие верховой р. Волги .....	90
Панкеева Т. В., Миронова Н. В. Запасы макрофитов как показатель состояния подводных ландшафтов (Черное море) .....	102
Исаченкова Л. Б., Герасимова М. И., Богданова М. Д., Терская Е. В. Отражение истории землепользования в свойствах дерново-подзолистых почв Сатинского полигона МГУ .....	113
Платонов В. С., Суркова Г. В., Константинов П. И. Микроклимат Сатинского учебно-научного полигона МГУ .....	122
<i>Краткие сообщения</i>	
Лозовик П. А., Галахина Н. Е. Оценка загрязненности водных объектов и нормирование допустимой антропогенной нагрузки на них .....	133
Указатель статей и материалов, опубликованных в 2019 г. ....	138

C O N T E N T S

Kislov A.V., Gushchina D.Yu. Scientific heritage of Mikhail Aramaisovich Petrossiants (on the occasion of centenary of his birth) .....	3
<i>Theory and methodology</i>	
Chalov R.S. Hydrological and geographical aspects of channel processes management	11
Kasimov N.S., Lychagin M.Yu., Chalov S.R., Shinkareva G.L. Paragenetic associations of chemical elements in landscapes .....	20
<i>Methods of geographical studies</i>	
Kurbanov R.N., Yanina T.A., Murray A.S., Semikolennykh D.V., Svistunov M.I., Shtyrkova E.I. The age of the Karangatian (Late Pleistocene) transgression of the Black Sea .....	29
Ovsepyan Ya.S., Averkina N.O., Taldenkova E.E., Spielhagen R.F., Bauch H.A., Tikhonova A.V. Benthic foraminifers as indicators of Atlantic water influence in the Arctic during the Late Ppleistocene and the Holocene.....	41
Shestakova A.A., Toropov P.A. Simulation of extreme winter precipitation on the southern coast of the Caspian Sea .....	51
Krashenninnikova S.B., Krashenninnikova M.A. Estimation of wind speed variability in the Black Sea region of Russia basing on selected models of the CMIP5 Project .....	60
<i>Regional studies</i>	
Romanov A.A., Melikhova E.V. Geography of birds in the mountains of North-Eastern Asia .....	67
Karachurina L.B., Florinskaya Y.F. Migration intentions of school graduates in small and midsize towns of Russia .....	82
Baranov D.V., Panin A.V., Antonov S.I., Belyaev V.R., Bolysov S.I., Eremenko E.A., Zaretskaya N.E. Influence of glacial isostatic adjustment on the upper Volga River valley development .....	90
Pankeeva T.V., Mironova N.V. Reserves of macrophytes as an indicator of the state of underwater landscapes (the Black Sea) .....	102
Isachenkova L.B., Gerasimova M.I., Bogdanova M.D., Terskaya E.V. Land use history as evidenced by the properties of soddy-podzolic soils (Satino research and training stations) .....	113
Platonov V.S., Surkova G.V., Konstantinov P.I. Microclimate of the Satino teaching and research field station MSU.....	122
<i>Short communications</i>	
Lozovik P.A., Galakhina N.E. Evaluation of the degree of water bodies pollution and normalization of the permissible anthropogenic load on them .....	133
<i>Index of articles and materials published in the journal in 2019</i> .....	138

УДК 551.581+910.1

А.В. Кислов<sup>1</sup>, Д.Ю. Гущина<sup>2</sup>**НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ МИХАИЛА АРАМАЙСОВИЧА ПЕТРОСЯНЦА  
(К 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)**

В этом году исполняется 100 лет со дня рождения крупнейшего отечественного метеоролога, создателя российской школы тропической метеорологии, организатора метеорологической науки и педагога, заслуженного профессора Московского университета Михаила Арамаисовича Петросянца. М.А. Петросянец родился в 1919 г. в Андигане. Его научные интересы с молодости были связаны с геофизикой. В 1941 г. он с отличием окончил физико-математический факультет Среднеазиатского университета по специальности «Геофизика». В марте 1943 г. он был призван в армию и прошел путь от Днепра до Вены, за боевые заслуги награжден орденами и медалями. С 1948 по 1958 год Михаил Арамаисович работал в Институте математики и механики АН Узбекской ССР. Он прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом. В конце 1958 г. перешел в систему Гидрометслужбы и был назначен директором Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института (САНИГМИ). В 1965 г. – защитил докторскую диссертацию: «Исследования влияния орографии на синоптические процессы и некоторые вопросы циклонической деятельности в Средней Азии». В 1967 г. был назначен директором Обнинского филиала Института прикладной геофизики. Координировал работы по тропической метеорологии в нашей стране, руководил национальными морскими экспедициями «Тропэкс-72» и «Тропэкс-74», последняя была национальным вкладом СССР в Международный Атлантический Тропический Эксперимент (АТЭП). В 1973–1981 гг. был директором Гидрометцентра СССР. В этот период все его усилия были направлены на переоснащение центра вычислительной техникой и графическими устройствами, совершенствование линии приема и обработки метеорологической информации. С 1981 по 2005 гг. был заведующим кафедрой метеорологии и климатологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Здесь он развернул большую научную, педагогическую и организаторскую работу, опубликовал ряд важных исследований, отличающихся оригинальностью и новизной. Область научных интересов М.А. Петросянца была связана, главным образом, с прогнозированием погоды синоптически и гидродинамическими методами, тропической метеорологией и исследованиями муссона.

*Ключевые слова:* М.А. Петросянец, МГУ имени М.В. Ломоносова, синоптическая метеорология, тропическая метеорология

В этом году исполняется 100 лет со дня рождения крупнейшего отечественного метеоролога, создателя российской школы тропической метеорологии, заслуженного профессора Московского университета Михаила Арамаисовича Петросянца. Этого выдающегося ученого, организатора метеорологической науки и педагога по праву можно назвать гордостью не только Московского Университета, но и всей России.

Михаил Арамаисович Петросянец родился 4 декабря 1919 г. в Андигане в семье известного профессора-геофизика. Окончив с отличием среднюю школу в Ташкенте, в 1937 году поступил на физико-математический факультет Среднеазиатского университета и в 1941 году получил специальность геофизика. В 1942–1943 гг. преподавал математику и физику в средних школах Ташкента.

В марте 1943 г. был призван в армию, участвовал в боях при форсировании Днепра, в Корсунь-Шевченской, Умань-Христиновской и Яско-Кишиневской операциях, форсировании Дуная, взятии Будапешта, Дьера, Вены. За проявленное в боях личное

мужество был награжден медалями «За боевые заслуги», «За отвагу» и орденом Красной Звезды.

После демобилизации в декабре 1945 г. Михаил Арамаисович поступил в аспирантуру Ташкентского (бывшего Среднеазиатского университета). Одновременно работал в Ташкентской геофизической обсерватории, а с 1947 г. в отделе теоретической геофизики Института математики и механики АН УзССР. Заинтересовавшись в аспирантуре метеорологией, а точнее синоптикой, он стал изучать синоптические процессы над Средней Азией и в декабре 1948 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук на тему «Циклоническая деятельность над Средней Азией», в которой исследовал процессы переваливания циклонов через горные хребты и их раздвоения у широтно-ориентированных хребтов на основе выдвинутой им идеи о масштабах орографических влияний на синоптические процессы.

В 1957 г. он был назначен начальником экспедиции на ледник Федченко, проводившейся по программе Международного геофизического года 1957–

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, заведующий кафедрой, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: avkisllov@mail.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: dasha155@mail.ru

1958 гг., во время которой были организованы научные станции на языке (2800 м) и в фирновой зоне ледника (4900 м).

С 1948 по 1958 год Михаил Арамаисович работал в Институте математики и механики АН Узбекской ССР. Он прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего отделом. Это были годы развития фронтологического метода в задачах синоптической метеорологии и широкого оперативного внедрения анализа карт барической топографии в практику службы погоды. М.А. Петросянц вместе со своими учителями и коллегами (В.А. Бугаевым, В.А. Джорджио, Н.Н. Романовым и другими) занимался исследованием взаимосвязей региональных синоптических процессов в Средней Азии с циркуляцией как в соседних регионах, так и во всем Северном полушарии. Особое внимание М.А. Петросянц уделял учету влияния среднеазиатских горных массивов на циркуляцию воздушных масс. К концу 1950-х гг. ташкентскими синоптиками была создана одна из самых совершенных региональных классификаций атмосферной циркуляции, которая используется в прогнозах погоды по сей день. Из всего многообразия синоптических ситуаций были выделены три основные группы процессов – прорывы циклонов через юг Средней Азии (южнокаспийский, мургабский, верхнеамударьинский циклоны), холодные вторжения северо-западной четверти и волновая деятельность на холодном фронте. Подробно исследованы типичные летние процессы – термическая депрессия над пустынями Средней Азии и летний высотный антициклон над Тибетом, которому принадлежит важнейшая роль в формировании циркуляционного механизма летнего муссона всей Южной Азии [Петросянц, Джорджио, 1950]. Созданная типизация была настолько успешна, что через много лет активно применялась при метеорологическом обслуживании деятельности ограниченного контингента советских войск в Афганистане. Все метеорологическое обслуживание боевых операций (и особенно авиации) осуществлялось с использованием синоптических схем и прогнозических приемов, разработанных учеными ташкентской школы.

На основании полученных результатов коллективом авторов была опубликована монография «Синоптические процессы Средней Азии» [Бугаев с соавт., 1957]. Одним из важнейших результатов стало определение ведущей роли динамики планетарной фронтальной зоны, как основного объекта атмосферы, который, в единстве с региональными особенностями территории (в первую очередь орографией), определяет развитие синоптических процессов. По инициативе Всемирной метеорологической организации (ВМО) в 1962 г. монография была издана на английском языке и разослана во все страны Азии. До сих пор она остается главным пособием по особенностям динамической климатологии Средней Азии.

В Ташкенте Михаил Арамаисович тесно контактировал с известным математиком-статистиком,

академиком Узбекской Академии наук Всеволодом Ивановичем Романовским, предложившим использовать цепи Маркова для анализа временной последовательности упомянутых выше синоптических процессов. Впоследствии его имя было присвоено Институту механики и математики, в котором долгое время проработал М.А. Петросянц.

В конце 1958 г. М.А. Петросянц перешел в систему Гидрометслужбы и был назначен директором Среднеазиатского научно-исследовательского гидрометеорологического института (САНИГМИ), организованного в 1958 г. на базе Ташкентской геофизической обсерватории. Кроме руководства большим научным коллективом, Михаил Арамаисович возглавлял научное направление, посвященное исследованию влияния горных массивов на синоптические процессы. Он организовал комплексную программу научных работ, а именно объединил синоптические исследования с экспедиционными работами, в которых проводился анализ мезо- и микроклиматических процессов. Таким образом, местные погодные условия связывались с крупномасштабной циркуляцией. Для того времени это был совершенно новый подход. В результате была создана фундаментальная классификация орографических воздействий на атмосферу в различных пространственных и временных масштабах, которая имеет универсальный характер и может применяться в любом горном районе [Петросянц, 1968]. Результаты проведенных исследований стали основой для докторской диссертации «Исследования влияния орографии на синоптические процессы и некоторые вопросы циклонической деятельности в Средней Азии», которую М.А. Петросянц защитил в 1965 г.

В начале 1960-х годов советская авиация решила крайне амбициозную для того времени задачу: установление постоянного авиационного сообщения Ташкент – Дели. Проблема состояла в том, чтобы преодолеть все горные системы Тибета и, наконец, Гималаи. При полете над Гималаями необходимо было пересечь струйное течение, где не только велики скорости ветра, но и развивается сильная болтанка. Михаил Арамаисович, будучи крупнейшим специалистом в области влияния орографии на циркуляцию атмосферы, согласился поработать бортовым синоптиком на Ил-18, и зимой 1963 г. провел наблюдения по всему маршруту за режимом ветра, облачностью и турбулентностью. В частности, он отметил, что в зимнее время на высоте 9–10 км постоянно наблюдались два очага сильной турбулентности в струйных течениях западного направления: первый – над хребтами Памиро-Алая, а второй, более сильный, – с южной стороны Гималаев [Петросянц, 1965]. Результаты этих уникальных исследований были использованы в «Руководстве по производству полетов над Центрально-Азиатским горным массивом».

В 1966 году М.А. Петросянца пригласили в Обнинск на должность директора Института экспериментальной метеорологии. В 1969 году ему было присвоено звание профессора.

М.А. Петросянц внес значительный вклад в изучение атмосферных процессов тропической зоны. Работы по изучению тропиков были начаты им в конце 60-х годов в Гидрометцентре СССР. В середине 60-х гг. в рамках ВМО началась разработка Программы исследования глобальных атмосферных процессов (ПИГАП), которую решили начать с исследования циркуляции в тропиках. Первым международным тропическим экспериментом ПИГАП стал Атлантический тропический эксперимент (АТЭП). В порядке подготовки к АТЭП в 1972 г. в тропиках Атлантики была проведена Межведомственная геофизическая экспедиция по программе национального Атлантического эксперимента СССР, получившая название ТРОПЭКС-72 (в ней участвовало шесть научно-исследовательских судов). Возглавить эту экспедицию было поручено М.А. Петросянцу.

В 1974 г. в тропической зоне Атлантического океана был проведен АТЭП, в котором приняли участие сотрудники метеорологических служб, университетов и академий наук из 70 стран; 39 судов под флагами 10 стран и 12 самолетов осуществляли наблюдательную программу. Вклад нашей страны в АТЭП был достаточно весомым. По программе АТЭП была организована Межведомственная экспедиция, названная ТРОПЭКС-74. Она включала 13 научно-исследовательских судов и судов погоды, два самолета-лаборатории, два полярно-орбитальных спутника «Метеор». Эту одну из самых масштабных (до настоящего времени) экспедиций также возглавлял М.А. Петросянц. Проведение АТЭП, несомненно, дало мощный толчок метеорологическим исследованиям в тропиках. Комплексная наблюдательная система, включающая наблюдения с геостационарных и полярно-орбитальных спутников, аэрологическое зондирование с судов в океане, самолетные измерения, метеорологические наблюдения, как стандартные, так и специализированные (аэростатное зондирование, измерения солнечной радиации и радиационное зондирование, пульсационные измерения потоков тепла и влаги, радиолокационные наблюдения за облачностью и измерение количества осадков), и, наконец, океанологические измерения, позволила создать уникальный, не имевший ранее аналогов массив данных. В результате был сделан целый ряд научных открытий. В частности, изучены динамика и энергетика внутритропической зоны конвергенции (ВЗК), структура восточных волн, мезомасштабных погодных систем и облачных скоплений, взаимодействие погодных систем с атмосферным солнечным приливом, получены данные о строении планетарного пограничного слоя в низких широтах, оценены потоки импульса, явного и скрытого тепла в приповерхностном слое, в том числе при развитой и размытой ВЗК, предложены методы параметризации конвекции и оценены вертикальные профили радиационных потоков [ТРОПЭКС-72, 1974; ТРОПЭКС-74, 1976; Тропические муссоны, 1988].

М.А. Петросянцем была предложена новая концепция формирования развитой и размытой ВЗК.

Именно он первым обратил внимание на то, что развитие облачных скоплений в ВЗК определяется крупномасштабным полем вертикальных движений в верхней половине тропосферы. Когда во всей тропосфере наблюдаются упорядоченные восходящие движения, возникают две ячейки циркуляции с восходящими ветвями в ВЗК. Восходящие движения способствуют разрешению влажной неустойчивости атмосферы и усиливают конвекцию – это развитая ВЗК. Если же в верхней тропосфере наблюдаются упорядоченные нисходящие движения, конвекция подавляется (размытая ВЗК). При этом вертикальные ячейки циркуляции в ВЗК, не имеют ничего общего с циркуляционными ячейками Хэдли, они не проявляются на масштабах среднемесячного или сезонного осреднения и являются типичным процессом синоптического масштаба. Именно в них происходят реальные переносы субстанций, они определяют развитие и разрушение облачных скоплений.

Петросянц М.А. одним из первых представил гипотезу о равноправности пассатной и муссонной циркуляции в тропиках. Как известно, глобальная система циркуляции в тропиках представлена пассатами, летним и зимним муссонами и внутритропической зоной конвергенции. По причинам исторического порядка, а также из-за желания объяснить механизм меридионального обмена моментом импульса укоренился взгляд на пассатную циркуляцию как на нормальную, а на муссонную циркуляцию как на крупномасштабное возмущение тропической тропосферы. М.А. Петросянц первым в мировой литературе назвал это представление ошибочным и аргументированно показал, что муссонная циркуляция столь же нормальна, как и пассатная. М.А. Петросянцем вместе с коллегами продемонстрировано, что единой циркуляционной схемы (эквивалентной теоретической ячейке Хэдли) в меридиональной плоскости не существует. М.А. Петросянц предложил ВЗК, образующуюся в области слияния пассатов Северного и Южного полушарий, называть пассатной, а возникшую в области муссонов – муссонной. Пассатная ВЗК образуется над океанами и характеризуется слиянием северо-восточного пассата Северного полушария и юго-восточного пассата Южного полушария. Муссонная ВЗК образуется в области слияния муссонного потока с пассатами. При этом никаких резких границ между пассатной и муссонной ВЗК не существует. В Восточной Атлантике, например, муссонная ВЗК плавно переходит в пассатную [Петросянц, 1987].

Долгое время М.А. Петросянца интересовало утверждение С.П. Хромова о том, что муссонная циркуляция, как в умеренных, так и в тропических широтах, является своеобразным проявлением циклонической деятельности. При этом С.П. Хромов указывал, что разделение муссонов на тропические и внетропические связано лишь с их локализацией, а не с генетическими различиями, т. е. он не видел разницы между циклонической деятельностью, определяющей муссонную циркуляцию во внетропи-

ческих широтах Азии, и циклонической деятельностью, определяющей индийский муссон. М.А. Петросянц в своей известной работе «Развитие представлений С.П. Хромова о муссонах» [Петросянц, 1985] подверг критике эти положения, продемонстрировав, что циклонические образования (муссонные минимумы и муссонные депрессии) относятся к классу тропических циклонов, являются в целом термически симметричными образованиями и не имеют, в отличие от циклонов умеренных широт, генетической связи с атмосферным фронтом. С этими возмущениями связано не более 50% летних муссонных дождей. Остальные осадки выпадают в квазиоднородном крупномасштабном потоке юго-западного муссона, преимущественно на наветренных склонах гор и при отсутствии в барическом поле каких-либо возмущений синоптического масштаба. При этом летние муссонные осадки в Приморском крае России практически полностью связаны с атмосферными фронтами и полярно-фронтальными циклонами.

В 1973 г. М.А. Петросянц по постановлению правительства был назначен директором Гидрометеорологического центра СССР. В этот период все его усилия были направлены на переоснащение центра вычислительной техникой и графическими устройствами, совершенствование линии приема и обработки метеорологической информации в рамках выполнения обязательств метеослужбы СССР по программе Первого глобального эксперимента ПИ-ГАП (ПГЭП) 1978–1979 гг. В Гидрометцентре СССР М.А. Петросянц в первую очередь активно развивал технологию прогнозирования погоды, рассматривая прогноз как непрерывно происходящий процесс. Для этого создавалась постоянно действующая технологическая линия. Она включала в себя глобальную систему сбора данных (состоящую из станционных наблюдений на суше, морских буев, аэрологического зондирования, погодных радиолокаторов, спутникового и самолетного зондирования), которые по каналам связи передавались в специализированные центры обработки гидрометеорологической информации. Далее выполнялся контроль их качества и объективный анализ, в результате которого происходит интерполяция данных в координатные узлы четырехмерного пространства–времени. Каждый временной срез служит начальным полем для численного прогноза метеорологических полей, осуществляемого путем решения системы уравнений термо- и гидромеханики. Первичные рассчитанные прогностические поля обрабатываются системой постпроцессинга, осуществляющего переинтерполяцию на разные координатные сетки и др. В следующем блоке информация превращается в продукт, который выдается экспертам для составления окончательного прогноза условий погоды. Отметим степень автоматизации этой технологии – человек участвует в ее деятельности только на первом (наблюдения на станциях) и последнем (экспертная оценка синоптика и составление прогноза условий погоды) этапах.

В 70-е годы Михаил Арамаисович становится ученым с мировым именем. В годы руководства АТЭП он приобрел международное признание. В Гидрометцентре СССР на заседаниях Ученого совета, возглавляемого М.А. Петросянцем, почитали за честь выступить с научными докладами ученые мирового уровня, такие как Г.И. Марчук, А.М. Обухов, Д. Смагоринский и др.

Отдельно необходимо отметить роль Михаила Арамаисовича Петросянца, как директора Гидрометцентра СССР, в осуществлении метеорологического обеспечения XX летних Олимпийских игр, проводившихся в Москве в 1980 г. Одним из первых важнейших вопросов организации Олимпиады был выбор оптимальных с климатической точки зрения сроков проведения Игр. Согласно предложению М.А. Петросянца оптимальный период проведения Олимпиады-80 (19 июля–3 августа) определялся в предположении нестационарности климата, что для конца 70-х прошлого века являлось совершенно новым научно-методологическим подходом.

Обязанностью М.А. Петросянца были регулярные доклады правительству о погодных условиях в период Олимпиады. Под его руководством осуществлялось специальное метеорологическое обслуживание всех спортивных объектов Олимпиады, включавшее в себя детальные метеорологические наблюдения и специализированные краткосрочные прогнозы для городов, принимавших Олимпиаду.

40 лет тому назад мезомасштабных моделей высокого разрешения, систем наукастинга, наджинга и др. не существовало. Поэтому пионерские прогностические разработки отечественной гидрометеорологической службы, выполненные под руководством М.А. Петросянца, стали необходимыми компонентами в задаче метеообеспечения Олимпиады-80. В частности, были разработаны эмпирические приемы пересчета стандартных синоптических прогнозов погоды в прогнозы элементов ветрового режима непосредственно в Лужниках. Для этого синоптики утром оценивали согласованность за предшествующий день прогнозов скорости и направления ветра с фактическими данными датчиков, специально установленных в разных точках стадиона, и корректировали прогностические данные на текущий день. В условиях жесткого дефицита времени специально для водных видов спорта были разработаны схемы интерпретации прогноза скорости ветра в характеристики волнения на гребном канале в Крылатском. В очередной раз целесообразно отметить быстрое методическое и оперативное решение, найденное М.А. Петросянцем и его коллегами при отсутствии привычных сейчас автоматизированных схем пересчета ветрового форсинга, являющегося результатом интегрирования мезомасштабной или региональной модели, в параметры волнения водной поверхности. Соревнования прошли без сбоев.

Отдельным спецзаданием Гидрометцентра СССР стало обеспечение знаменитого полета Олимпийского Мишки на церемонии закрытия Олимпиады. Подробные прогнозы были составлены как

для всех пробных запусков Мишки, так и для дня закрытия Олимпиады. Непосредственно перед отлетом Мишки со стадиона Лужники 3 августа 1980 г. был осуществлен запуск трех шаров пилотов, позволивших определить траекторию полета олимпийского талисмана.

В 1981 г. М.А. Петросянца пригласили в Московский государственный университет, где он стал заведующим кафедрой метеорологии и климатологии на географическом факультете. Здесь он развернул большую научную, педагогическую и организаторскую работу, опубликовал ряд важных исследований, отличающихся оригинальностью и новизной. Прежде всего к ним относятся работы по тропической тематике, интерес к которой у него возрос после успешного проведения атлантических экспедиций. М.А. Петросянец создал и долгие годы руководил школой тропической метеорологии в Московском университете. В рамках этой школы им разработан и с успехом читался более 20 лет новый учебный курс «Тропическая метеорология»; опубликовано свыше 200 работ, в том числе пять коллективных монографий по тропикам; под его руководством и при его консультациях защищено 10 докторских и более 50 кандидатских диссертаций, большая часть которых связана с тропической и субтропической тематикой.

Продолжая и развивая исследования, начатые в АТЭП, М.А. Петросянцем впервые в России был проведен детальный анализ восточных волн в тропической Атлантике [Петросянец и др., 1983] и показана их тесная связь с процессами в ВЗК и тропическими ураганами Карибского бассейна.

М.А. Петросянец установил, что характер распределения дивергенции и вертикальных движений, а также осадков со всей очевидностью показывает, что передняя часть восточной волны формирует развитую ВЗК, а тыловая часть ложбины и передняя часть гребня – размытую ВЗК. М.А. Петросянец первым показал, что между пассатной волной Рилиа и восточной волной имеются принципиальные различия. В пассатной волне Рилиа облачность и осадки характерны для тыловой части волны, а в восточной волне – для передней части. Пассатная волна Рилиа развивается в сравнительно однородном пассатном потоке, в восточной волне обязательно участвуют северо-восточный пассат Северного полушария и юго-восточный пассат Южного полушария, пересекающий экватор и ставший юго-западным. Поэтому называть все восточные волны синоптического масштаба в тропиках пассатными, как это делается во многих учебниках, недопустимо. Также М.А. Петросянцем было установлено, что передняя часть ложбины в восточном переносе наиболее благоприятна для возникновения тропических депрессий, в том числе и превращающихся в тропические циклоны.

Значительные достижения были получены в области изучения тропического циклогенеза. Петросянец М.А. совместно с Семеновым Е.К. определил индивидуальный потенциал зарождения (ИПЗ)

тропических циклонов, учитывающий относительную завихренность и горизонтальную дивергенцию крупномасштабных потоков [Петросянец, Семенов, 1995]. Его увеличение в среднем на сутки опережает минимум давления, что служит важным прогностическим признаком интенсификации тропической депрессии и ее превращения в тропический шторм. Этот индекс показывает, что для углубления тропической депрессии необходимо существование крупномасштабной конвергенции и циклонической завихренности в нижней тропосфере (поверхность 900 гПа), а также дивергенции и антициклонического вихря в верхней тропосфере (поверхность 200 гПа). Наличие такой системы синоптического масштаба в атмосфере тропиков обеспечивает приток влаги в нижних слоях, резкую активизацию восходящих движений в области циклонического вихря и интенсивную конденсацию с выделением теплоты фазовых переходов, что в конечном итоге ведет к усилению тропического циклона и падению давления в его центре.

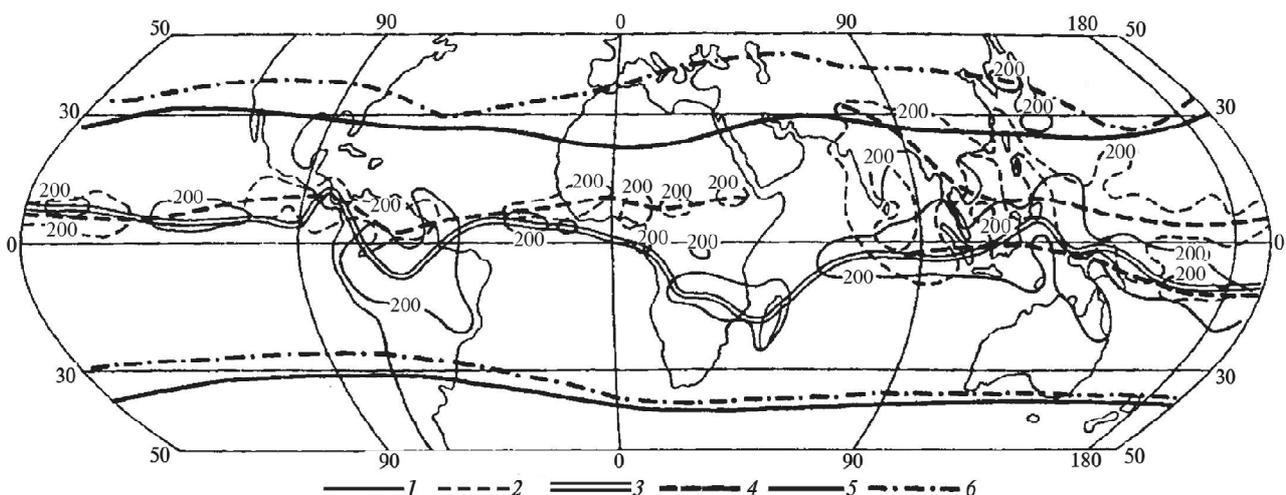
В тропической метеорологии существовала еще одна проблема, имеющая принципиальное значение, оригинальное решение которой было выполнено М.А. Петросянцем. Это проблема определения границ тропической зоны. Строгих границ в атмосфере не существует и поэтому любая линия имеет условный характер, разделяя области преобладания определенных процессов. С этой точки зрения строгие геометрические границы, такие, как тропики Рака и Козерога, или  $30^\circ$  широты, конечно, не отражают различия между циркуляциями умеренных широт и тропиков. Не является точным и определение Э. Пальмена и Ч. Ньютона, проводившим границу через середину субтропических антициклонов, поскольку над Евразией субтропический антициклон отсутствует. Трудно принять и подход Г. Рилиа, разделившего регионы по знаку зональных ветров (западные в умеренных широтах и восточные в тропиках), поскольку не во всех районах тропиков наблюдаются пассатные восточные потоки. М.А. Петросянец предположил, что значительно более обоснованной и естественной будет граница, определяемая как средняя линия между высотой, обращенной к полюсам тропической тропопаузы, и высотой, обращенной к экватору тропопаузы умеренных широт, осредненной для соответствующего месяца и сезона. Действительно, высота соответствующей тропопаузы представляет собой интегральный итог радиационных, конвективных и динамических процессов, развивающихся в тропиках или в умеренных широтах. Перенос тропопаузы при меридиональных движениях (тропической – в умеренные широты, а умеренных широт – в тропики) при осреднении будет приводить к тому, что в первом случае ширина тропической зоны будет увеличиваться, а во втором случае уменьшаться. Это связано с тем, что тропопауза при меридиональных движениях воздушных масс некоторое время сохраняет свои свойства, пока не достигнет новых условий конвективного равновесия в тропосфере и радиационного равновесия в

стратосфере. Осредняя для каждого месяца на каждом меридиане широту локализации тропической тропопаузы и тропопаузы умеренных широт, можно получить границу раздела между тропической и умеренной зонами, т. е. границу тропической зоны. От зимы к лету граница тропической зоны, проведенная по методу Петросянца, смещается к полюсам, причем наибольшее смещение наблюдается в Северном полушарии над материками. В Южном полушарии сезонное смещение границы тропической зоны невелико (рис. 1). Эти результаты были опубликованы в работе «Синоптическая метеорология тропиков» [Петросянец, 1987].

В последнее десятилетие научная деятельность М.А. Петросянца была посвящена изучению крупнейшей климатической осцилляции на межгодовых масштабах – явлению Эль-Ниньо-Южное колебание (ЭНЮК). При этом М.А. Петросянец рассматривал проблему прежде всего в контексте долгосрочного прогнозирования погоды, т. е. возможного воздействия ЭНЮК на аномалии погоды и климата в умеренных широтах. Для количественной характеристики взаимосвязи глобальных воздушных течений с процессами в тропической зоне М.А. Петросянцем (совместно с Д.Ю. Гушиной) был предложен метод описания атмосферных движений с помощью нового индекса циркуляции – циркуляции скорости ветра по кругу широты или контуру центров действия атмосферы [Петросянец, Гушина, 1998]. Предложенный метод представляет, по существу, новый путь исследования взаимодействия океана и атмосферы, основанный на анализе обобщающего индекса циркуляции, характеризующего основные черты глобального распределения циркуляции атмосферы. С помощью нового метода были оценены временная и пространственная изменчивость границы между западным переносом в умеренных

широтах и восточным переносом в тропиках, ширина зоны восточного переноса, определен оптимальный временной масштаб влияния аномалий температуры Тихого океана в районе Эль-Ниньо на циркуляцию атмосферы в тропиках и умеренных широтах. Также было показано, что предложенный индекс тесно связан с аномалиями погоды (температуры и осадков) в умеренных широтах как в центрах действия атмосферы, так и в подвижных циклонах Атлантического и Тихоокеанского секторов. Учитывая тот факт, что средние поля ветра современными моделями часто рассчитываются лучше, чем поля температуры и осадков, возможно использовать данные об аномалиях циркуляции по контурам подвижных циклонов и центров действия атмосферы как предиктор аномалий температуры и осадков в их пределах. Кроме того, было выявлено, что введенный индекс является показателем, удобным для тестирования моделей общей циркуляции атмосферы, так как позволяет, с одной стороны, значительно уменьшить объем исследуемой информации, а с другой стороны, описать основные особенности глобальной циркуляции атмосферы. Ряд важных результатов (по пространственно-временным особенностям метеорологических полей, связи ЭНЮК с другими атмосферными явлениями, и др.), опубликован в коллективной монографии «Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость» [Петросянец с соавт., 2005].

Важным, но, к сожалению, не доведенным до широкой общественности результатом стало развиваемое в последние годы научной деятельности М.А. Петросянца представление о том, что явления, формально относимые к ЭНЮК, на самом деле могут различаться по структуре и генезису. Эти взгляды послужили предтечей современных представлений, согласно которым ЭНЮК разделяются на «восточные ЭНЮК» и «центральные ЭНЮК».



Положение внутритропической зоны конвергенции и границы тропической зоны в январе и июле [Петросянец, 1987]: 1, 2 – изогипта 200 мм в январе и июле соответственно; 3, 4 – положение ВЗК в январе; 5, 6 – граница тропической зоны в январе и июле соответственно

Position of the Inter-Tropical Convergence Zone and the tropical zone boundaries in January and July: 1, 2 – 200 mm isohyet for January and July respectively; 3, 4 – position of the Inter-Tropical Convergence Zone in January and July respectively; 5, 6 – the tropical zone boundary in January and July respectively

Самым же главным делом своей педагогической работы в МГУ М.А. Петросянц считал чтение лекций по основам метеорологии и климатологии для общего потока студентов-географов на 1-м курсе географического факультета МГУ. За последнюю четверть века на его лекциях постигали азы науки более пяти тысяч студентов факультета. К ним следует прибавить еще многих студентов других российских и зарубежных вузов, изучающих метеорологию и климатологию по замечательному учебнику, написанному С.П. Хромовым и М.А. Петросянцем и выдержавшему шесть переизданий [Хромов, Петросянц, 2004]. Именно за этот учебник Михаилу Арамаисовичу была присуждена премия им. Д.А. Анучина.

Большую педагогическую и научную работу М.А. Петросянц сочетал с общественной деятельностью. Он был членом ученого совета географического факультета МГУ и диссертационного совета Гидрометцентра РФ, председателем аспирантской комиссии ученого совета географического факультета МГУ и председателем диссертационного совета МГУ по метеорологии, гидрологии и океанологии. Долгие годы он входил в состав ученого совета по наукам о Земле Высшей Аттестационной Комиссии, с 1995 по 1998 г. – в состав экспертного совета Российского фонда фундаментальных исследований. М.А. Петросянц активно работал в редколлегиях журналов «Известия РАН. Физика атмосферы и океана», «Метеорология и гидрология», «Вестник Московского университета. Сер. 5. География». Будучи председателем гидрометеорологической секции Учебно-методического объединения университетов России, М.А. Петросянц проводил большую работу по совершенствованию высшего образования в стране. Во всех этих организациях

Михаил Арамаисович неизменно выступал в интересах развития российской науки и образования.

М.А. Петросянц много сделал для повышения авторитета российской науки за рубежом. Он активно работал в международных организациях, был членом комиссии Всемирной метеорологической организации, входил в оргкомитет по реализации Программы исследований глобальных атмосферных процессов и в оргкомитеты экспериментов ПИГАП, был членом бюро Координационного национального совета по советскому участию во Всемирной программе исследования климата. Михаил Арамаисович многократно представлял отечественную науку за границей на конференциях. В общей сложности он посетил 26 стран.

Диапазон научных интересов М.А. Петросянца не ограничивался метеорологией. Его, например, интересовала философская сторона творчества персидского поэта и математика Омара Хайяма – он исследовал его знаменитые четверостишия. М.А. Петросянц любил и знал музыку, прекрасно играл на фортепьяно. Михаил Арамаисович очень любил творчество Леонардо да Винчи и Людвиг ван Бетховена.

Более чем полувекровая трудовая деятельность М.А. Петросянца отмечена высшими государственными наградами: орденами Ленина, Октябрьской революции и многочисленными медалями и грамотами. В 1991 г. М.А. Петросянцу было присвоено звание «Заслуженный деятель науки РСФСР».

Михаил Арамаисович Петросянц пользовался всеобщим уважением и любовью как человек высоких моральных качеств, талантливый педагог, крупный ученый, добрый, внимательный и отзывчивый человек. М.А. Петросянц был олицетворением российского ученого-патриота. Мы надеемся, что память о нем сохранится в будущих поколениях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Бугаев В.А., Джорджио В.А., Козик Е.М., Петросянц М.А. и др.*, Синоптические процессы Средней Азии. Ташкент: Изд. АН УССР, 1957. 535 с.

*Петросянц М.А.* Аэровизуальные наблюдения на трассе Ташкент–Дели 11 и 14 декабря 1963 г. // Метеорология и гидрология. 1965. № 7. С. 27–31.

*Петросянц М.А.* Влияние орографии на общую циркуляцию атмосферы // Метеорологические исследования. М.: Наука, 1968. № 16. С. 210–238.

*Петросянц М.А.* Развитие представлений С.П. Хромова о муссонах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1985. № 5. С. 10–16.

*Петросянц М.А.* Синоптическая метеорология тропиков // Достижения в области гидрометеорологии и контроля природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 129–158.

*Петросянц М.А., Гущина Д.Ю.* Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана // Метеорология и гидрология. 1998. № 5. С. 5–24.

*Петросянц М.А., Джорджио В.А.* Летний антициклон над Тибетом // Докл. АН УзССР. 1950. № 8. С. 27–33.

*Петросянц М.А., Семенов Е.К.* Индивидуальный потенциал зарождения тропических циклонов // Изв. РАН. Сер. Физика атмосферы и океана. 1995. Т. 31. № 3. С. 347–355.

*Петросянц М.А., Семенов Е. К., Гущина Д.Ю. и др.* Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость. М.: МАКС-Пресс, 2005. 670 с.

*Петросянц М.А., Фалькович А.И., Широкова-Брюхова Т.Е.* Восточные волны в тропиках // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1983. № 5. С. 73–78.

Тропические муссоны. ПГЭП. Т. 9. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 338 с.

ТРОПЭКС-72. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 737 с.

ТРОПЭКС-74. Т. 1. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 749 с.

*Хромов С.П., Петросянц М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 584 с.

Поступила в редакцию 13.06.2019

После доработки 28.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

A.V. Kislov<sup>1</sup>, D.Yu. Gushchina<sup>2</sup>

**SCIENTIFIC HERITAGE OF MIKHAIL ARAMAIISOVICH PETROSSIANTS  
(ON THE OCCASION OF CENTENARY OF HIS BIRTH)**

This year we celebrate centenary of the birth of Mikhail Aramaisovich Petrossiants - Honored Professor of the Moscow University, who was the prominent Russian meteorologist, founder of the Russian school of tropical meteorology and organizer of meteorological science. M.A. Petrossiants was born in 1919 in Andijan. From his younger days he was interested in geophysics. In 1941 he graduated the Faculty of Physics and Mathematics of the Central Asian University, majoring in geophysics. In March 1943 he joined the Red Army participating in combat from the Dnieper to Vienna and was awarded orders and medals. From 1948 to 1958 working at the Institute of Mathematics and Mechanics of the Academy of Sciences of the Uzbek SSR Mikhail Aramaisovich progressed from junior researcher to the Head of Department. At the end of 1958 he started working in the hydrometeorological service and was appointed the Director of the Central Asian Research Hydrometeorological Institute (SANIGMI). In 1965 he defended the doctoral dissertation: «Investigation of the influence of topography on synoptic processes and cyclonic activity in Central Asia». In 1967 he was appointed Director of the Obninsk Institute of Applied Geophysics. He coordinated the projects on tropical meteorology in the USSR and headed the «TROPEX-72» and «TROPEX-74» national climate experiments, the latter being the USSR national contribution to the International Atlantic Tropical Experiment (ATEP). In 1973–1981 he was the Head of the Hydrometeorological Center of the USSR. During this period, he focused on the modernization of computing machinery and graphics devices and the improvement of meteorological data receipt and processing. From 1981 to 2005 he was the Head of the Department of Meteorology and Climatology of the MSU Faculty of Geography. He made notable contribution to the development of scientific, educational and managerial activities and published a number of important research works of high originality and novelty. His research interests were mainly focused on weather forecast via synoptic and hydrodynamic methods, tropical meteorology and monsoon investigations.

*Key words:* synoptic meteorology, tropical meteorology, M.A. Petrossyants, Lomonosov Moscow State University

## REFERENCES

- Bugaev V.A., Dzhordzhio V.A., Kozik E.M., Petrosyanc M.A. *i dr.*, Sinopticheskie processy Srednej Azii [Synoptical processes in Middle Asia]. Tashkent: Izd.AN USSR, 1957. 535 p. (in Russian)
- Hromov S.P., Petrosyanc M.A. Meteorologiya i klimatologiya [Meteorology and climatology]. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2004. 584 p. (in Russian)
- Petrosyanc M.A. Aerovizual'nye nablyudeniya na trasse Tashkent–Deli 11 i 14 dekabrya 1963 g. [Aerovisual observations on the itinerary Tashkent-Delhi 11 and 14 of December 1963] // Meteorologiya i gidrologiya. 1965. № 7. P. 27–31. (in Russian)
- Petrosyanc M.A. Razvitie predstavlenij S.P. Hromova o mussonah [Development of S.P. Chromov monsoon concepts] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr. 1985. № 5. P. 10–16. (in Russian)
- Petrosyanc M.A. Sinopticheskaya meteorologiya tropikov [Synoptical meteorology of Tropics] // Dostizheniya v oblasti gidrometeorologii i kontrolya prirodnoj sredy. L.: Gidrometeoizdat, 1987. P. 129–158. (in Russian)
- Petrosyanc M.A. Vliyanie orografii na obshchuyu cirkulyaciyu atmosfery [Influence of orography on the large-scale circulation of atmosphere] // Meteorologicheskoe issledovaniya. M.: Nauka, 1968. № 16. P. 210–238. (in Russian)
- Petrosyanc M.A., Dzhordzhio V.A. Letnij anticiklon nad Tibetom [Summer Tibet high] // Dokl. AN UzSSR. 1950. № 8. P. 27–33. (in Russian)
- Petrosyanc M.A., Fal'kovich A.I., Shirokova-Bryuhova T.E. Vostochnye volny v tropikah [Easterly waves in Tropics] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr. 1983. № 5. P. 73–78. (in Russian)
- Petrosyanc M.A., Gushchina D.YU. Krupnomasshtabnoe vzaimodejstvie global'noj cirkulyacii atmosfery s temperaturoj poverhnosti ekvatorial'noj chasti Tihogo okeana [Large-scale interaction of global atmosphere circulation with sea surface temperature of equatorial Pacific] // Meteorologiya i gidrologiya. 1998. № 5. P. 5–24. (in Russian)
- Petrosyanc M.A., Semenov E.K., Gushchina D.YU. *i dr.* Cirkulyaciya atmosfery v tropikah: klimat i izmenchivost' [Atmosphere circulation in Tropics: climate and variability]. M.: MAKSPress, 2005. 670 p. (in Russian)
- Petrosyanc M.A., Semenov E.K. Individual'nyj potencial zarozhdeniya tropicheskikh ciklonov [Individual potential of tropical cyclones] // Izv. RAN. Ser. Fizika atmosfery i okeana. 1995. T. 31. № 3. P. 347–355. (in Russian)
- TROPEKS-72 [TROPEX-72]. L.: Gidrometeoizdat, 1974. 737 p.
- TROPEKS-74 [TROPEX-74]. T. 1. L.: Gidrometeoizdat, 1976. 749 s.
- Tropicheskie mussony [Tropical monsoons]. PGEP. T. 9. L.: Gidrometeoizdat, 1988. 338 p.

Received 13.06.2019

Revised 28.06.2019

Accepted 28.06.2019

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* avkislov@mail.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* dasha155@mail.ru

## ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 556.5:551.4.4.04;36.222.5

Р.С. Чалов<sup>1</sup>

## ГИДРОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ

В статье дается определение понятия «управление русловыми процессами» как совокупности искусственных воздействий на русла рек для ограничения или предотвращения опасных проявлений русловых процессов и их неблагоприятных изменений, учета руслового режима рек и обеспечения при водохозяйственном, воднотранспортном и других видах использования речных ресурсов, эксплуатации рек и приречных территорий, экологической и гидротехнической безопасности. Дается оценка сложности управления русловыми процессами, приводится классификация рек по условиям управления русловыми процессами, определяемым устойчивостью русел, русловым режимом рек, степенью их хозяйственной освоенности. Рассматриваются особенности подходов к управлению русловыми процессами на равнинных и горных, больших и малых реках, реках с врезанным и широкопойменным руслом, песчаным и галечным составом руслообразующих наносов и т. д. Отмечается значение прогнозов русловых деформаций при изменении природной среды и климата, при выполнении водохозяйственных и воднотранспортных мероприятий.

*Ключевые слова:* регулирование русел, управление, устойчивость, антропогенные воздействия, типы русел, русловой режим рек, водохозяйственные мероприятия, воднотранспортные мероприятия

**Введение.** Водохозяйственное и воднотранспортное освоение рек, прокладка через них коммуникаций, строительство инженерных объектов на берегах и в руслах связано с выполнением системы гидротехнических мероприятий, предназначенных для обеспечения функционирования водозаборов и водных путей, защиты населенных пунктов, промышленных объектов, коммуникаций и земель от угрозы разрушения потоком или вывода из эксплуатационного состояния. В совокупности они представляют собой искусственные воздействия на реки, объединяемые общим понятием – «регулирование русловых процессов». Решение многих задач регулирования связано с управлением русловыми процессами, основывающимися на пространственно-временных закономерностях развития и формах проявления русловых процессов, русловом режиме рек как в их естественном состоянии, так и при различных по масштабу антропогенных изменениях их факторов и самих русел. Под *управлением русловыми процессами* понимается искусственное воздействие на русла рек для ограничения или предотвращения опасных проявлений русловых процессов и их неблагоприятных изменений, использование положительных для жизни и деятельности людей тенденций в развитии русел и закрепление их в этом направлении. Оно имеет целью наиболее полное удовлетворение потребностей водопользователей при сохранении рек как природных объектов, минимизации возможных негативных последствий в со-

стоянии русел при вмешательстве в их жизнь. Таким образом, это система организационно-технических и регуляционных мероприятий, направленных на стабилизацию речных русел, повышение их устойчивости и обеспечение гидротехнической и гидроэкологической безопасности при использовании водных, связанных с ними земельных и минеральных ресурсов, эксплуатации рек как водных путей сообщения, прокладке коммуникаций через реки и освоении приречных территорий.

Управление русловыми процессами предполагает одновременное получение экономического и экологического эффектов при проведении гидротехнических работ на реках. При этом оно должно быть комплексным, учитывающим все возможные виды использования рек, опирающимся на естественный русловой режим рек и научно обоснованные прогнозы русловых деформаций. Несоблюдение этих положений неизбежно приводит к неблагоприятным последствиям, созданию аварийной ситуации на инженерных объектах и сооружениях и, как следствие, к экономическому ущербу и экологической, а иногда и социальной напряженности.

Существует обширная, главным образом техническая и нормативная, литература по учету русловых процессов при проектировании судовых ходов, карьеров аллювиальных стройматериалов, мостовых и трубопроводных переходов через реки, водозаборов, водовыпусков и опор ЛЭП. Однако, будучи ведомственными, за исключением воднопу-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор; заведующий научно-исследовательской лабораторией эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, гл. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: rschalov@mail.ru

тейского направления, основывающегося на материалах исследований руслового режима рек и охватывающего всю реку в целом или протяженные ее участки (оно было заложено еще В.М. Лохтиным в конце XIX века и впоследствии развито Н.И. Маккавеевым [Маккавеев, 1949; Проектирование ..., 1964] и в работах ГГИ [Попов, 1965]), в них преобладают створные (точные, местные) подходы. Управление русловыми процессами предполагает учёт пространственно-временных взаимосвязей и соотношений в режиме русловых деформаций на всех структурных уровнях их проявлений в зависимости от сочетания определяющих факторов в конкретных природных и природно-антропогенных условиях. Такой, по существу гидролого-географический подход является абсолютной прерогативой российской школы регулирования русловых процессов, тогда как за рубежом возобладало гидротехническое преобразование речных русел, канализирование рек, приведшие к неблагоприятным гидроэкологическим последствиям и поставившее на повестку дня проблему «природоприближенного» их восстановления (анализ литературы по этому вопросу дан в совместной с немецкими специалистами публикации [Румянцев с соавт., 2001]).

**Объекты и методы исследований.** Данная статья основана на обобщении материалов многолетних исследований русловых процессов при решении прикладных задач, связанных с совершенствованием водных путей, проектированием и обеспечением надёжного функционирования водохозяйственных объектов, переходов через реки и прокладкой вдоль них коммуникаций, предотвращением опасных, вплоть до чрезвычайных, последствий переформирования речных русел и т. д. Благодаря им разрабатывались рекомендации по проектированию мероприятий и строительству инженерных объектов на реках и приречных территориях, опирающиеся на русловую режим конкретных рек, закономерности проявлений русловых процессов в различных природных условиях, с учетом уже существующей антропогенной нагрузки на реки. Объектами натуральных исследований явились многие реки России и сопредельных стран (бывш. СССР), а также некоторые реки дальнего зарубежья. При этом использовались архивные и фондовые материалы проектно-изыскательских и производственных организаций, в первую очередь – крупномасштабные карты русел (лоцманские) и планы русла в пределах перекатных участков, аэро- и космические снимки.

**Обсуждение результатов.** Управление русловыми процессами заключается: 1) в искусственном воздействии на русла, в результате чего процессы приобретают заданную направленность; 2) в учете закономерностей руслоформирующей деятельности рек (русловых процессов), что обеспечивает, с одной стороны, максимально возможное сохранение русел рек как природных объектов (т. е. выполняется требование экологической безопасности), а с другой – достижение поставленной цели с наименьшими затратами; 3) в закреплении формы русла в

оптимальном положении, что позволяет свести к минимуму опасные и неблагоприятные проявления русловых процессов, предотвратить на определенное время возможные их изменения; 4) в выполнении компенсационных мероприятий для предотвращения нежелательных последствий регулирования, для чего необходимо учитывать современные факторы протекания русловых процессов, а также давать прогнозы о возможном развитии русла в условиях искусственного воздействия; 5) в согласовании разнонаправленных воздействий на русло, осуществляемых для решения не связанных между собой задач. В большинстве своем при регулировании русел как форме управления русловыми процессами следует руководствоваться одновременно не менее чем двумя-тремя из этих положений, причем формы управления определяются местным или общим характером проводимых мероприятий, спецификой задач регулирования для различных отраслей экономики, особенностями руслового режима конкретной реки.

Проведение работ по регулированию русел рек, или в целом техногенные воздействия на реки сопровождаются в той или иной мере изменениями их руслового режима, направленности и темпов русловых деформаций, приобретающих новое качество и количественные характеристики, порой влияющих и на качество водных ресурсов. По этой причине решение водохозяйственных и воднотранспортных задач связано не только с необходимостью учета естественных русловых процессов, но и их антропогенно обусловленных трансформаций, степени и характера искусственных воздействий на русло, которые могут иметь прямо противоположные последствия, зачастую неблагоприятные как для самой реки, так и для других водопользователей. Однако измененность руслового режима рек и их русел различается в зависимости от хозяйственной освоенности самих рек, их бассейнов, регионов и их отдельных частей, особенно на больших и крупнейших реках. Соответственно, возникают различные условия управления русловыми процессами, а эффективность выполняемых регуляционных мероприятий при наличии комплекса антропогенных нагрузок на реки, их русла и факторы русловых процессов, определяются тем, насколько учтены и согласованы между собой все происходящие изменения.

Мероприятия и сооружения всех категорий по взаимоотношению с русловыми процессами неодинаковы в пространственном распространении вызываемых ими изменений, степени и формах учета их воздействий на русла и руслового режима рек. Дноуглубительные работы на перекатах и перекатных участках, выполняемые в целях улучшения условий судоходства, требуют знания руслового режима рек, прогнозных оценок его изменений на участках большой протяженности или на всем протяжении реки, где осуществляется судоходство, т. е. относятся к региональным воздействиям [Чалов, 2017]. Такой же характер имеют крупное гидротехническое строительство на реках, изменяющее русловые процес-

сы и их факторы выше и ниже водохранилищ, массовая разработка русловых карьеров аллювиальных стройматериалов, водозаборы в крупных размерах (в магистральные каналы), сплошное обвалование русел или их канализирование [Беркович, 2001]. Для характеристики их воздействий на русловые процессы на первый план выдвигаются прогнозные оценки трансформации русел и вновь возникающих русловых деформаций, не свойственных рекам в естественном состоянии из-за изменения основных факторов – стока воды и наносов, гидравлических характеристик потока, морфологического строения самого русла. На судоходных реках, на которых сток воды и наносов при выполнении путевых работ остаются неизменными, при обосновании мероприятий по улучшению водного пути и обеспечению навигационных характеристик необходимо знание закономерностей сезонных и многолетних переформирований русла (излучин, разветвлений) и руслового рельефа (перекатов, перекатных участков), определение стадии их развития (оптимальной для состояния водного пути), сопряженности развития смежных русловых форм и морфологически однородных участков с учетом периодических и направленных гидроклиматических изменений, определяющих цикличность процессов или тенденции естественных и антропогенно обусловленных трансформаций русла. Это позволяет, с одной стороны, закрепить и поддерживать русло в наиболее благоприятном для судоходства состоянии, а с другой – своевременно выполнять необходимые для этого мероприятия. Поэтому водные пути сообщения на реках оказались фактически единственной отраслью экономики, требующей изучения и прогнозирования естественных и антропогенно измененных русловых процессов по всей длине судоходных рек.

Мостовые и подводные переходы коммуникаций, водозаборы и водовыпуски, инженерные сооружения на берегах, эксплуатационные прорезы на отдельных перекатах, одиночные карьеры стройматериалов оказывают местное воздействие на морфологию, морфометрию русла и его переформирование. Их надежность и устойчивое функционирование зависит от точности местных прогнозов русловых деформаций как естественных, но учитывающих их положение в системе сопряженных в своем развитии русловых форм, так и возникающих вследствие существования самого объекта и обратного его воздействия на русло, в том числе приводящих к изменениям смежных русловых форм и, в обратной связи, сказывающихся на деформациях в створе или на участке расположения инженерного объекта.

В тех случаях, когда на реке выполняется один вид водохозяйственных, воднотранспортных или инженерных мероприятий, возводится одиночный объект (мост, подводный переход трубопровода, водозабор и т. д.) или осуществляется только дноуглубление по трассе водного пути (судового хода), проектирование мероприятий по управлению русловыми процессами ориентируется на потребности од-

ного водопользователя. При наличии двух или большего количества сооружений и мероприятий на участке реки каждое из них по-разному воздействует на русло и, в свою очередь, неодинаково зависит от темпов и направленности русловых деформаций. В этом отношении особое место занимают реки на урбанизированных территориях, где на сравнительно коротких (десятки километров на больших реках) участках концентрируется большое количество различных сооружений, оказывающих местное, но перекрывающее друг друга воздействие на русло, проводится дноуглубление по трассе судового хода, массовая разработка карьеров и т. д. Их одновременное влияние на реку и русловые процессы приводит к непредвиденным и сложно прогнозируемым последствиям [Беркович с соавт., 2000]. Положение усугубляется расположением некоторых городов в нижних бьефах гидроузлов (г. Новосибирск на р. Оби, г. Пермь на р. Каме, г. Волгоград, г. Нижний Новгород, г. Рыбинск на р. Волге), где происходят размывы русла и соответствующие им «посадки» уровней, осложняющие работу водозаборов, шлюзов, водных подходов к объектам промышленной, транспортной и коммунальной инфраструктуры.

Изменение руслового режима под влиянием водохранилищ сказывается на выполнении водохозяйственных и инженерных мероприятий и вне урбанизированных участков рек. Особенно это относится к дноуглубительным работам на судоходных реках, методы и приемы которых приобретают отличительные черты, по сравнению с аналогичными на реках в естественном состоянии [Транспортное ..., 1972].

Управление русловыми процессами должно осуществляться в зависимости от морфодинамического типа русла, руслового режима реки и степени ее хозяйственной освоенности:

1. В экономически развитых районах с развитой сетью коммуникаций, многочисленными водохозяйственными объектами, переходами через реки, инженерными и другими сооружениями на берегах и на урбанизированных территориях – в пределах морфологически однородных участков значительной протяженности, где русловые деформации определяются как природными условиями развития русловых деформаций, а именно пространственно-временными трансформациями русла вследствие саморазвития и сопряженности развития его форм, периодическими сезонными и многолетними колебаниями водности и стока наносов, так и антропогенными воздействиями и обусловленными ими изменениями самого русла, водности и стока наносов.

2. При проектировании нескольких водохозяйственных, транспортных, инженерных и других объектов вне таких территорий и районов необходимо осуществлять управление русловыми процессами в пределах русловых форм, развитие которых непосредственно определяет условия и надежность их функционирования. При этом необходимо учитывать воздействие каждого объекта и переформирований русла на его морфологию, а также на русло-

вые деформации в пределах смежных участков выше по течению. Таким образом, станет возможным определение влияния излучин, разветвлений, перекатов на состояние объекта и заложение в проект превентивных мер для предотвращения или нейтрализации неблагоприятных тенденций их развития; ниже и выше по течению – оценка возможных изменений в состоянии водного пути и других хозяйственных объектов после строительства самого объекта или выполнение мероприятий вследствие трансгрессивного и регрессивного распространения вызванных ими трансформаций.

3. На судоходных реках при решении воднотранспортных задач управление русловыми процессами требуется на всем протяжении водного пути, поскольку его устойчивость, условия выполнения дноуглубительных работ и их эффективность, обеспечение гарантированных габаритов на перекатах полностью зависят от того, насколько проект дноуглубления согласован с русловым режимом реки.

4. При проектировании одиночных объектов на реках (мостовые и подводные переходы, водозаборы, выпуски сточных вод и пр.) – в пределах данной формы русла, но с учетом прогнозных оценок переформирований смежных форм (не менее двух-трех) выше и ниже по течению.

Устойчивость русла, его морфодинамический тип, свободные или ограниченные условия развития русловых деформаций, перекатный или плесовый характер русла, степень и формы антропогенных изменений морфологии русла и руслового режима реки, а также существующие виды техногенных воздействий на них определяют степень сложности каждого морфологически однородного участка и формы русла для выполнения работ и определения состава мероприятий по управлению русловыми процессами. Все реки могут быть разделены на несколько категорий, каждой из которых соответствуют свои схемы управления русловыми процессами, методы и возможности прогнозирования русловых деформаций и переформирований перекатов [Чалов, 2017]:

1. Реки, сохранившие естественный гидрологический и русловой режим:

а) реки, на которых хозяйственная деятельность не сказывается на морфологии и динамике их русел, техногенные механические воздействия отсутствуют (например, на судоходных реках осуществляется только расстановка простейших видов плавучей обстановки), либо сводятся к сооружению возле небольших поселений деревянных мостов, не нарушающих русло, или рыболовецких «заездов» и т. д. Бассейны рек остаются практически не освоенными, соответственно факторы русловых процессов также не меняются. Таких рек мало, но они встречаются в экономически слабо развитых районах Севера ЕТР, Средней и Восточной Сибири, северо-востока России; из относительно крупных рек к ним можно отнести р. Анабар, р. Оленёк, р. Анадырь, притоки Подкаменной Тунгуски;

б) реки, на которых антропогенное вмешательство в русловой режим было минимальным, огра-

ниженным эксплуатационным землечерпанием на отдельных перекатах, одиночными мостовыми и подводными переходами (таковы р. Нижняя Печора, р. Мезень, средняя и верхняя Вычегда, средняя и нижняя Лена, средняя и особенно нижняя Обь, р. Яна, р. Индигирка, р. Колыма). К ним можно отнести и относительно короткие по длине участки рек (р. Лена в районе г. Якутска, р. Печора у г. Печоры) в районах городов, промышленных центров и транспортных узлов.

2. Реки с незарегулированным стоком, сохранившие естественный морфологический облик, но подверженные антропогенным воздействиям и частично изменившие свой русловой режим:

а) реки, на которых были выполнены большие по объемам и масштабам работы по коренному улучшению условий судоходства (р. Северная Двина, нижняя Вычегда, отдельные участки верхней Лены, р. Обь от слияния Бии и Катунь до 150 км ниже г. Барнаула [Водные ..., 1995; Русловые ..., 2001; Русловые ..., 2012], р. Печора от г. Печоры до слияния с р. Усой), что привело к общему повышению их устойчивости, снижению опасности проявления не только русловых, но и связанных с ними других гидрологических процессов (наводнений, русловых заторов);

б) реки, подверженные массовой разработке русловых карьеров стройматериалов (р. Ока, р. Вятка, р. Белая, р. Томь), сказавшейся в существенной «посадке» уровней, в том числе вследствие спровоцированного ею врезания русла;

г) реки с шлюзованными участками для повышения уровней воды в межень (р. Ока, р. Москва, верхняя Сухона).

3. Реки или участки рек в нижних бьефах гидроузлов:

а) одиночных или последних в каскаде гидроузлов (р. Обь от Новосибирского гидроузла до устья р. Томи [Русловые ..., 2001], р. Волга от Волгоградского гидроузла до устья, р. Енисей ниже г. Красноярска), на которых также были выполнены объемные работы по коренному улучшению условий судоходства, осуществляется массовая разработка карьеров, проводятся другие инженерные мероприятия;

б) разрывающие каскады водохранилищ, образующие нижние бьефы гидроузлов, сопрягающихся с зонами переменного подпора от нижерасположенных водохранилищ (р. Волга между Нижегородским гидроузлом и Чебоксарским водохранилищем, р. Кама между Воткинским и Нижнекамским водохранилищами, р. Енисей между Майнским гидроузлом и Красноярским водохранилищем);

в) ниже одиночных гидроузлов (зарегулированных низконапорными гидроузлами (р. Дон ниже Цимлянского водохранилища).

4. Реки выше одиночных и верхних в каскадах водохранилищ, находящиеся в зонах переменного подпора и под влиянием регрессивной аккумуляции наносов (р. Дон выше Цимлянского, р. Обь выше Новосибирского водохранилища).

5. Участки рек на урбанизированных территориях (р. Обь у г. Новосибирска и г. Барнаула, р. Москва в г. Москве и ближнем Подмосковье, р. Ока и р. Волга у г. Нижнего Новгорода, р. Енисей в районе г. Красноярска, р. Дон у г. Ростова-на-Дону, р. Нева в г. Санкт-Петербурге), где русла или утратили свой естественный облик, или находятся под влиянием многочисленных инженерных сооружений и мероприятий, оказывающих неоднозначное пространственное и разнонаправленное воздействие на морфологию и динамику русла.

На реках, на которых в полной мере и в той иной степени произошли антропогенные изменения русловых процессов, условия управления определяются устойчивостью русла (неустойчивое, слабо устойчивое, относительно устойчивое, устойчивое), сезонными и многолетними его переформированиями, геоморфологическим (врезанное или широкопойменное) и морфодинамическим типом (разветвленное на рукава, извилистое меандрирующее, относительно прямолинейное, неразветвленное и их разновидности), величиной стока наносов и соотношением в нем влекомой и взвешенной составляющих, крупностью руслообразующих наносов (песчано-илистые, песчаные, песчано-галечные, галечно-валунные). К регулированию русел и управлению русловыми процессами следует подходить по-разному на горных, полугорных и равнинных реках, отличающихся формой и механизмами транспорта наносов, крупностью руслообразующих наносов и кинематикой потока.

Методы и приемы регулирования русел равнинных рек универсальны для каждого типа русловых процессов, морфодинамического типа русла, условий формирования и морфологии перекатов и перекатных участков. Однако их применение, объемы и время разработки дноуглубительных прорезей, комплексность использования, высота и размеры выправительных (регуляционных) сооружений зависят от устойчивости русла, условий прохождения руслоформирующих расходов воды, стока наносов и соотношения в нем взвешенной и влекомой составляющих, различий в особенностях водного режима, свободных и ограниченных условий развития русловых деформаций, сезонного промерзания или наличия в руслах многолетнемерзлых грунтов, ветроволнового режима (на больших и крупнейших реках). Поэтому для определения состава мероприятий, сроков и объемов их выполнения важным является районирование территорий, по которым протекают реки, а для конкретных рек, в основном больших и крупнейших, – ранжирование их участков по русловому режиму рек и условиям управления русловыми процессами [Чалов с соавт., 2016; Чалов с соавт., 2018].

Специфические проблемы возникают на реках со скальным руслом. Будучи устойчивыми или абсолютно устойчивыми, они отличаются своеобразным режимом транспорта наносов, выступами скал на дне и у берегов вплоть до образования скальных плит, на большом протяжении подстилающих рус-

ло, шивер и порохов. Для большинства водопользователей и возведения инженерных объектов на берегах такие русла затруднений не представляют, но являются серьезным ограничением для судоходства. Их наличие не позволяет осваивать в полной мере в качестве водных путей р. Онегу, многие реки Восточной Сибири, где движение судов возможно только между порогами. Известно, что до строительства плотины и водохранилища ДнепроГЭС днепровские пороги прерывали сквозное судоходство на р. Днепре. То же самое было на Волхове и Свири. На р. Томи у г. Томска разработка русловых карьеров ПГС и врезание русла привели к образованию порога на скальной гряде, через который возможен проход судов только при высокой воде, а на спаде половодья и в межень он представляет собой водослив с малыми глубинами и большими скоростями течения [Беркович с соавт., 1998]. Образование порога и прекращение сквозного водного пути по р. Томи – результат хозяйственной деятельности, ориентированной на одного потребителя речных ресурсов, и превращения реки в объект горнодобывающей промышленности.

Аналогичные проблемы возникают на реках с галечно-валунным руслом. Для данных рек водное сообщение затруднено вследствие возникновения эффекта водослива с широким порогом на перекатах в маловодные фазы водного режима. На этих перекатах, как и на скальных выступах, в межень возникает добавочное понижение («посадка») уровней, особенно при достижении горизонта воды значений ниже проектных [Зайцев, 1989]. В годы с пониженной водностью это явление становится важным фактором, ограничивающим судоходство на верхней и частично средней Лене, на ее притоках – р. Алдане и р. Витиме, на р. Енисее (Казачинский и Осинковский пороги), в нижнем течении р. Катунь, на р. Амуре (Союзный «перекат»).

Практически на всех реках имеются относительно небольшие населенные пункты, отдельные мостовые переходы, на реках с широкопойменным руслом – с подходными дамбами, пересекающими пойму и изменяющими условия её затопления и, следовательно, взаимодействия пойменного и руслового потоков, водозаборы и прочие инженерные сооружения на берегах, оказывающие местное воздействие на русло. Несмотря на локальный характер, их также необходимо учитывать при оценке направленности и темпов русловых деформаций, разработке приемов, методов и конкретных мероприятий по управлению русловыми процессами. На судоходных реках это во многих случаях сопровождается несовпадениями требований различных водопользователей, условий функционирования инженерных объектов, с одной стороны, и водных путей – с другой.

Специфичность антропогенных воздействий на русловые процессы и, соответственно, управления ими, еще более возрастает на урбанизированных участках рек или рек в промышленно освоенных регионах. Она связана с разнонаправленным воздей-

ствием на русла различных объектов, неоднозначности (противоречивости) требований водопользователей, несоответствия их с задачами обеспечения нормальной эксплуатации водных путей, функционирования водозаборов и водовыпусков, водных подходов к населенным пунктам, портам, акваториям предприятий. Наиболее сложные противоречия возникают в нижних бьефах гидроузлов, где располагаются крупные города и промышленные центры. Приоритет в решении возникающих проблем, как правило, отдается гидроэнергетике, осуществляется массовая разработка карьеров песчано-гравийных стройматериалов.

В нижних бьефах гидроузлов, и особенно в каскадах между гидроузлом и незаполненным до проектных отметок нижерасположенным водохранилищем, возникают неблагоприятные условия практически для всех видов водохозяйственной деятельности и управления русловыми процессами из-за несогласованности задач, стоящих перед водопользователями. Русловые процессы здесь нарушены и зависят от режима наполнения и сработки обоих водохранилищ. В летний маловодный период происходит обмеление перекатов на оставшемся в свободном состоянии участке реки, что обеспечивает серьезные осложнения судоходства даже в Единой глубоководной системе Европейской части России (р. Волга–р. Кама–р. Дон) [Фролов, 2000]. В этих условиях управление русловыми процессами определяется тем стоком, который пропускает верхнее водохранилище, и условиями наполнения и сработки нижерасположенного.

Естественные вертикальные русловые деформации характеризуются незначительными темпами (на равнинных реках – доли миллиметра – первые миллиметры в год) и поэтому, как правило, не учитываются при проектировании, т. к. их результаты сказываются далеко за пределами нормативных сроков. Однако, врезание русел в нижних бьефах гидроузлов и аккумуляция наносов выше водохранилищ, скорость и распространение которых во времени по длине реки требуют их обязательного учета при планировании любых мероприятий на реках и прибрежных территориях и разработки мер по предотвращению негативных последствий для уже существующих объектов (водозаборов, которые обсыхают из-за врезания или занесения наносами; водных путей как следствие обмеления русла выше водохранилищ; мостовых и подводных трубопроводных переходов, которые провисают при врезании рек или в прибрежной зоне при активации размыва берегов). Проблемы, возникающие в нижних бьефах гидроузлов, являются общими для всех рек. Осложнения различаются в зависимости от геолого-геоморфологических условий формирования русел. На р. Енисее и р. Ангаре размывы русел спровоцировали как образование галечно-валунной отмостки, так и обнажение на дне скального ложа реки. Размывы русел встречаются также на р. Оби ниже Новосибирского, на р. Дону – Цимлянского, на р. Волге – Нижегородского и Волгоградского гидроузлов, где

русла песчаные, формирующиеся в рыхлых отложениях. Регрессивная аккумуляция наносов проявляется на реках с большим стоком наносов (р. Обь выше Новосибирского, р. Дон выше Цимлянского водохранилищ), но практически незаметна на реках с малым стоком наносов (р. Днепр выше Киевского, р. Кама выше Камского, р. Енисей выше Красноярского и Саяно-Шушенского водохранилищ).

Аналогичные нижним бьефам гидроузлов явления характерны для рек, на которых ведется массовая разработка карьеров ПГС, однако здесь врезание усиливает эффект «посадки» уровней, вызванный самими карьерными выемками. Это – типичный пример односторонней ориентации хозяйственной деятельности на реке (добыча стройматериалов) в ущерб другим водопользователям и отраслям экономики, связанным с рекой. Управление русловыми процессами в этой ситуации должно, с одной стороны, учитывать состоявшиеся изменения в русле, трансформацию и развитие его в новой обстановке и необходимость снижать неблагоприятные последствия самих карьерных разработок. Очевидно, что эти проблемы можно решать при комплексном подходе к использованию речных ресурсов с учетом как специфики потребностей всех водо-, недро- и землепользователей, так и возможных гидро- и геоэкологических последствий, т. е. с позиций управления русловыми процессами и обеспечения экологической безопасности.

В естественных условиях значимые темпы врезания или аккумуляции наносов наблюдаются довольно редко, первые – на реках в горах, вторые – на реках приморских низменностей с большим стоком наносов. На горных реках на эти явления, несмотря на скорости врезания до 1–7 см/год (максимально зафиксированная – 35 см/год) [Панин с соавт., 1990]), долгое время не обращалось внимание из-за слабой освоенности территорий и акцентирования на прочие опасные процессы. Лишь во второй половине XX в. экономическое развитие горных районов столкнулось с рядом крупных аварий, обусловленных врезанием рек (разрушение мостов, подмыв и провисание подводных переходов трубопроводов, обсыхание водозаборов). Это повлекло за собой не только внесение коррективов в проекты, но и необходимость изучения самого явления.

Управление русловыми процессами в условиях интенсивной направленной аккумуляции наносов – самый древний (со 2-го тысячелетия до н. э.) подход к регулированию русел, связанной с защитой от наводнений и размывами берегов на великих китайских реках (р. Хуанхэ, р. Янцзы). С середины XX в. началось регулирование стока воды и наносов каскадами гидроузлов, изменивших уже в XXI в. ситуацию и, соответственно, подход к управлению русловыми процессами (регулирование осуществляется при решении всех вопросов, связанных с эксплуатацией рек и их ресурсов, комплексными научно-исследовательскими и проектными институтами р. Янцзы в г. Ухани и р. Хуанхэ в г. Чжэнчжоу, организованными по бассейновому принципу). В

России, несмотря на сравнительно невысокие температуры, аккумуляция наносов привела к формированию обвалованного русла, подпору малых рек-притоков, подтоплению приречных территорий на нижнем Тереке, на среднем и нижнем Амуре.

Устойчивость русла, его морфодинамический тип (в том числе широкопойменный или врезанный) и руслоформирующие расходы воды – главные естественные условия, определяющие сложность и эффективность управления русловыми процессами. От них зависит состав регуляционных мероприятий, их размеры и объемы. Данные процедуры должны опираться на прогнозные оценки русловых деформаций, в том числе при периодических и направленных естественных (глобальных) и антропогенно обусловленных изменениях водности и стока наносов, учитывать степень влияния существующих и проектируемых сооружений и мероприятий на русло.

На горных реках условия управления русловыми процессами связаны с высокой кинетичностью потоков, значительными скоростями течения, галечно-валунным или валунно-глыбовым составом наносов, специфическими особенностями их транспорта и аккумуляции во врезанном и широкопойменном (во внутригорных котловинах) русле. Помимо врезания рек, затруднения для их освоения создаются прижимами бурного потока к крутым скальным берегам, селевой деятельностью на притоках, обвалами, осыпями, лавинами. В расширениях долин при снижении уклонов русло становится разбросанным, неустойчивым, переформирующимся при прохождении каждого паводка, с активными размывами берегов при постоянном изменении положения фронта размыва. На таких участках происходит аккумуляция наносов, выносимых из ущелий, что еще более усложняет возможности управления русловыми процессами, включающими в себя борьбу с наводнениями (обычно в котловинах располагаются населенные пункты), размывами берегов, обеспечение работы водозаборов, надежность переходов через реку и ее рукава, мелиорацию пойменных земель и т. д. На горных реках Камчатки необходимо учитывать влияние вулканогенного фактора на формирование русел [Ермакова, 2009]. На горных реках Урала, Восточной Сибири, Забайкалья, Камчатки, северо-востока России, задачи управления русловыми процессами связаны с разработкой россыпных месторождений полезных ископаемых, снижением возникшей экологической напряженности, восстановлением или сохранением их рыбохозяйственной значимости [Маккавеев, 2014].

Условия управления русловыми процессами на малых равнинных реках неодинаковы для регионов с уникальными природными условиями, разной освоенностью территории, в пределах которых находятся их бассейны, и антропогенными воздействиями на сами реки. Малые реки юга лесной, лесостепной и степной зон европейской территории России (ЕТР) преобразованы многочисленными прудами различного назначения и во многом утратили

свой естественный облик. На реках, протекающих по староосвоенным в сельскохозяйственном отношении территориям, массовое спрямление русел или разрушение мельничных плотин привело к врезанию рек и избыточному осушению бывших пойменных земель [Чалов с соавт., 2018]. Для условий заиления и деградации малых рек, их полной мелиоративной преобразованности речь может идти не столько об управлении русловыми процессами, сколько о восстановлении рек, применяя при этом принятый в зарубежной (европейской) литературе термин «природоприближенное», т. к. изменения русловых процессов на этих реках приобрели необратимый характер [Румянцев с соавт., 2001].

В то же время русловые процессы на малых реках во многом зависят от местных природных особенностей. В горно-предгорных районах они во многом определяются селевыми явлениями, в условиях резко континентального климата – образованием наледей. В зоне тундры большое влияние на русла рек оказывает мерзлота, определяющая термоэрозионное разрушение берегов. В засушливых южных районах ЕТР реки в летние периоды пересыхают, на севере – перемерзают зимой. В лесной зоне на русла рек большое влияние оказывает карчеход и связанные с ним заломы. Эти и прочие особенности формирования русел должны учитываться при освоении территории и управлении русловыми процессами при проектировании водохозяйственных и защитных (противопаводковых, берегозащитных и других) мероприятий.

Важной составной частью управления русловыми процессами является прогнозирование русловых деформаций. Возможные изменения русловых форм определяют пространственно-временную изменчивость методов и приемов управления русловыми процессами, которые зависят как от стадии развития русловых форм (излучин, разветвлений) и крупных форм руслового рельефа (перекатов), так и от цикла в периодических колебаниях стока воды и наносов. При направленном изменении водности и стока наносов трансформации становится необратимыми. Учет возможных изменений в морфодинамике русла и сроков их осуществления обуславливает специфику подхода к проектированию водохозяйственных или воднотранспортных мероприятий, выбору методов регулирования русла.

#### **Выводы:**

– управление русловыми процессами, основанное на выявленных особенностях рек и опирающееся на прогнозные оценки их развития, учитывающее в комплексе все возможные виды антропогенных воздействий на русла рек и факторы русловых процессов, обеспечивает экономическую эффективность и гидроэкологическую безопасность водохозяйственных и воднотранспортных мероприятий, прокладку через реки коммуникаций, освоение приречных территорий;

– схемы управления русловыми процессами, время, объемы выполнения и совокупность регуляционных мероприятий определяются русловым и

водным режимами рек, устойчивостью русел, стоком, составом и крупностью руслообразующих наносов, морфодинамическим типом русла, а также степенью водохозяйственного и транспортного освоения рек, техногенной преобразованности их русел;

– воднотранспортные, водохозяйственные и другие мероприятия на реке должны проектироваться таким образом, чтобы максимально учитывать тенденции в развитии русловых деформаций, многолетний и сезонный режимы. Сопряженность в перестроениях смежных русловых форм нужно рассматривать с прогнозными оценками их изме-

нений в пределах морфологически однородных участков, принимая во внимание взаимосвязь между ними;

– гидротехнические мероприятия, направленные по своей сути на решение конкретных задач, объективно выполняют природоохранные функции, снижают вероятность возникновения опасных гидрологических ситуаций. При их проектировании опираются на естественный русловый режим рек, направленность деформаций, закономерности руслоформирующей деятельности рек в конкретных природных условиях.

**Благодарности.** Работа выполнена по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева при поддержке РФФИ (проекты № 18-17-00086 – управление русловыми процессами на реках с разветвленным руслом; и 14-17-00155 – обоснование параметров русловых процессов).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Беркович К.М.* Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.

*Беркович К.М., Рулева С.Н., Сурков В.В., Чалов Р.С.* Русловые процессы и антропогенные преобразования русла нижней Томи и их влияние на ландшафты поймы // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во МГУ, 1998. Вып. 11. С. 215–240.

*Беркович К.М., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Экологическое русловедение. М.: ГЕОС, 2000. 332 с.

Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.

*Ермакова А.С.* Русловые процессы на реках Камчатки. Автореф. дис. канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2009. 26 с.

*Зайцев А.А.* Режим уровней и уклонов на валунно-галечных перекатах и скальных выступах в руслах крупных рек // Метеорология и гидрология. 1989. № 12. С. 102–106.

*Маккавеев Н.И.* Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат, 1949. 202 с.

Опасные русловые процессы и среда обитания лососевых рыб на реках Камчатки. М.: ВНИРО, 2014. 240 с.

*Панин А.В., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С.* Катастрофические скорости формирования флювиального рельефа // Геоморфология. 1990. № 2. С. 3–11.

*Попов И.В.* Деформации речных русел и гидротехническое строительство. Л.: Гидрометеиздат, 1965. 328 с.

Проектирование судовых ходов на свободных реках / Труды ЦНИИЭВТ. М.: Транспорт, 1964. Вып. 36. 262 с.

*Румянцев И.С., Чалов Р.С., Нестманн Ф., Кромер Р.* Природоприближенное восстановление водных объектов. М.: МГУП, 2001. 286 с.

Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО «Журнал «РТ», 2012. 492 с.

Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.

Транспортное использование водохранилищ. М.: Транспорт, 1972. 224 с.

*Фролов Р.Д.* Улучшение судоходного состояния Волги в нижнем бьефе Нижегородской ГЭС путем корректировки режима регулирования речного стока каскадом Верхневолжских водохранилищ // Эрозионные и русловые процессы. М.: МГУ, 2000. Вып. 3. С. 190–200.

*Чалов Р.С.* Классификация рек по условиям управления русловыми процессами при решении водохозяйственных и воднотранспортных задач // Вопросы географии. Сб. 145. Гидрологические изменения. М.: Кодекс, 2017. С. 169–182.

*Чалов Р.С., Ботавин Д.В., Варёнов А.Л., Завадский А.С., Тарбеева А.М.* Формирование русел малых рек Приволжской возвышенности в условиях многовекового сельскохозяйственного освоения // География и природные ресурсы. 2018. № 3. С. 86–94.

*Чалов Р.С., Рулёва С.Н., Михайлова Н.М.* Оценка морфодинамической сложности русла большой реки при планировании водохозяйственных мероприятий (на примере р. Оби) // География и природные ресурсы. 2016. № 1. С. 29–37.

*Чалов Р.С., Чалова А.С., Сахаров А.И., Кузьмина Е.М.* Оценка сложности русловых процессов на р. Лена и управления ими для обеспечения нормальных условий судоходства // Речной транспорт (XXI век). 2018. № 3. С. 49–56.

Поступила в редакцию 15.05.2019

После доработки 28.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

R.S. Chalov<sup>1</sup>

#### HYDROLOGICAL AND GEOGRAPHICAL ASPECTS OF CHANNEL PROCESSES MANAGEMENT

The paper gives a definition of «channel processes management» as a complex of human influences on river channels to minimize or prevent hazard occurrences of channel processes and their negative changes, to account river channels regime and to support hydroecological safety in the process of rivers and riverine territories exploitation, water economy and water transport use of river resources. Problems of channel

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor; Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Chief Scientific Researcher, D. Sc. In Geography; e-mail: rachalov@mail.ru

processes management are evaluated, rivers are classified according to the conditions of channel processes management with due account of the channel stability, channel regime and degree of their economic development. Different approaches for channel processes management on plain and mountain rivers, big and small rivers, rivers with incised and wide-floodplain channels, rivers with sand and pebble bed-material load, etc. are described. The importance of predicting the channels deformation due to environment and climate changes and under water economy and water transport activities is emphasized.

*Key words:* channel regulation, management, channel stability, human impact, channel types, river channel regime, water economy activities, water transport activities

*Acknowledgments.* The paper is prepared according to the plan of scientific research of the Department of Land Hydrology and the Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes with financial support of the Russian Science Foundation (projects № 18-17-00086 and 14-17-00155).

## REFERENCES

- Berkovich K.M.* Geograficheskij analiz antropogennykh izmenenij ruslovykh processov [Geographical analysis of anthropogenic changes in channel processes]. M.: GEOS, 2001. 164 p. (in Russian).
- Berkovich K.M., Chalov R.S., Chernov A.V.* Ekologicheskoe ruslovedenie [Ecological channel processes study]. M.: GEOS. 2000. 332 p. (in Russian)
- Berkovich K.M., Ruleva S.N., Surkov V.V., Chalov R.S.* Ruslovyje processy i antropogennye pereformirovaniya rusla nizhnej Tomi i ih vliyanie na landschaftnyj pojmy [Channel processes human caused channel changes of the lower Tom' and their influence on the floodplain landscapes] // Eroziya pochv i ruslovyje processy. Vyp. 11. M.: Izd-vo MGU. 1998. P. 215–240. (in Russian)
- Chalov R.S.* Klassifikaciya rek po usloviyam upravleniya ruslovyimi processami pri reshenii vodohozyajstvennykh i vodnotransportnykh zadach [Classification of rivers to the conditions of channel processes management in hydroeconomic and water transport problems solution] // Voprosy geografii. Sb. 145. Gidrologicheskie issledovaniya. M.: Kodeks. 2017. P. 169–182. (in Russian)
- Chalov R.S., Botavin D.V., Varenov A.L., Zavadskij A.S., Tarbeeva A.M.* Formirovanie rusel malyh rek Privolzhskoj vozvyschennosti v usloviyah mnogovekovogo selskochozyajstvennogo osvoeniya [Formation of small river channels of the Volga upland in conditions of centuries-long agricultural development] // Geografiya i prirodnye resursy. 2018. № 3. P. 84–94. (in Russian)
- Chalov R.S., Chalova A.S., Saharov A.I., Kuz2 mina E.M.* Ocenka slozhnosti ruslovykh processov na r. Lena i upravleniya imi dlya obespecheniya normalnykh uslovij sudohodstva [Evaluation of the channel processes complexity of the Lena River and their management for the safe navigation support] // Rechnoj transport (XXI vek). 2018. № 3. P. 49–56. (in Russian)
- Chalov R.S., Ruleva S.N., Mihailova N.M.* Ocenka morfodinamicheskoj slozhnosti rusla bolschoj reki pri planirovanii vodohozyajstvennykh meropriyatij (na primere r. Obi) [Evaluation of the channel morphology complexity of the big river while water economy activities planning (the Ob' River case study)] // Geografiya i prirodnye resursy. 2016. № 1. P. 29–37. (in Russian)
- Ermakova A.S.* Ruslovyje processy na rekah Kamchatki [Channel processes of the Kamchatka peninsula rivers]. Avto-ref. dis. kand. geogr. nauk. M.: MGU, 2009. 26 p. (in Russian)
- Frolov R.D.* Uluchshenie sudohodnogo sostoyaniya Volgi v nizhnem b2 efe Nizhegorodskoj GES putem korrekcirovki rezhima stoka kaskadom Verhnevolzhskih vodohranilishch [Improvement of navigation of the Volga River downstream the Nijegorodskaya Hydropower Station due to correction of water flow regime regulation with the cascade of water-reservoirs of the Upper Volga] // Eroziionnye i ruslovyje processy. Vyp. 3. M.: MGU. 2000. P. 190–200. (in Russian)
- Makkaveev N.I.* Ruslovyje rezhim rek i trassirovanie prorezey [River bed mode and cuts tracing]. Moscow: Rechizdat, 1949. 202 p. (in Russian)
- Opasnye ruslovyje processy i sreda obitaniya lososevykh ryb na rekah Kamchatki [In-channel processes hazards and salmon habitats at the Kamchatka peninsula]. M.: VNIRO. 2014. 240 p. (in Russian)
- Panin A.V., Sidorchuk A.Yu., Chalov R.S.* Katastroficheskie skorosti formirovaniya flyuvialnogo rel2 efa [Catastrophic temps of the fluvial relief formation] // Geomorfologiya. 1990. № 2. P. 3–11. (in Russian)
- Popov I.V.* Deformacii rechnykh rusel i gidrotehnicheskoe stroitelstvo [Deformations of the riverbeds and hydrotechnical construction]. L.: Gidrometeoizdat, 1965. 328 p. (in Russian)
- Proektirovanie sudovykh hodov na svobodnykh rekah [Designing ship operations on free rivers] // Tr. ZNIEWT. Vyp. 36. 1964. 262 s. (in Russian)
- Rumyancev I.S., Chalov R.S., Kromer R., Nestmann F.* Prirodopriblizhennoe vosstanovlenie i ekspluatacija vodnykh ob'ektov [Close to nature restoration and maintenance of waterbodies]. M.: MGU, 2001. 286 p. (in Russian)
- Ruslovyje processy i wodnye puti na rekah bassejna Severnoj Dviny [Channel processes and navigable waterway of the Severnaya Dvina River basin]. M.: OOO «Zhurnal RT». 2012. 492 p. (in Russian)
- Ruslovyje processy i wodnye puti na rekah Obskogo bassejna [Channel processes and navigable waterway of the Ob' River basin]. Novosibirsk: RIPEL plus, 2001. 300 p. (in Russian)
- Transportnoe ispolzovanie vodohranilishch [Transport water reservoirs utilization]. M.: Transport, 1972. 223 p. (in Russian)
- Vodnye puti bassejna Leny [Waterways of the Lena River basin]. M.: MIKIS, 1995. 600 p. (in Russian)
- Zaicev A.A.* Rezhim urovnej i uklonov na galechno-valunnykh perekatah i skalnykh vystupah v ruslah krupnykh rek [Water level and stream slope regime on the pebble-boulder riffles and bedrock reaches of the large rivers] // Meteorologiya i gidrologiya. 1989. № 12. P. 102–106. (in Russian)

Received 15.05.2019

Revised 28.06.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 504.064.2; 504.453; 504.454; 504.4.054

Н.С. Касимов<sup>1</sup>, М.Ю. Лычагин<sup>2</sup>, С.Р. Чалов<sup>3</sup>, Г.Л. Шинкарева<sup>4</sup>

## ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ АССОЦИАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛАНДШАФТАХ

В работе рассмотрены бассейновые, почвенные и биогеохимические парагенетические ассоциации ландшафтов. Выделены «катионофильные» и «анионофильные» компоненты и подсистемы ландшафтов, специализированные на аккумуляции или обеднении химическими элементами, а также наличии корреляционных связей. Обобщены ландшафтно-геохимические исследования древних кор выветривания, палеогеновых, неогеновых и плейстоценовых континентальных отложений, почвенно-геохимических катен и растений в различных районах Казахстана, Средней Азии, Прикаспия, рек бассейна Байкала.

В аквальных ландшафтах гетеролитного речного бассейна выделяется 3 парагенетических ассоциации. Первая – это в основном катионогенные металлы – Fe, Mn, Pb и некоторые литофильные комплексобразователи (элементы – гидролизаты) – Al, Bi, W, Be, мигрирующие в водах преимущественно во взвешенной форме. Вторая – анионогенные тяжелые металлоиды – Mo, U, Sb, As, а также легкий металлоид В, находящиеся в основном в растворенной форме. К третьей ассоциации относятся халькофильные тяжелые металлы Zn, Cd, Cu, а также Sn, фракционирование которых больше зависит от гидроклиматической изменчивости, погодных условий и сезонных колебаний водного стока и мутности воды, а также ландшафтно-геохимических условий водосборов.

*Ключевые слова:* геохимия ландшафтов, биогеохимия растений, почвы, речные бассейны, аквальные ландшафты, парагенезис элементов

**Введение.** Понятие о парагенетических ассоциациях (парагенезисах) элементов ввел в 1909 г. В.И. Вернадский [1980], имея в виду их совместное концентрирование в горных породах, обусловленное единым процессом. Выявление, анализ и использование парагенетических ассоциаций химических элементов лежит в основе многих геохимических концепций общей, рудной, поисковой и экологической геохимии, биогеохимии и геохимии ландшафтов.

Представление о парагенезисах элементов используется во многих известных геохимических классификациях, основанных на ионной концепции В.М. Гольдшмидта, который выделял литофильные, сидерофильные, халькофильные и атмофильные элементы, связывая это со строением атомов. В геохимических построениях А.Е. Ферсмана, А.А. Саукова, К.А. Власова, В.В. Щербины, А.И. Перельмана, С.Р. Крайнова для объяснения группирования элементов в различных геосистемах и процессах выделяются *катионогенные* щелочные и щелочноземельные элементы, мигрирующие в основном в виде простых катионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и др.), *анионогенные* элементы и *комплексобразователи*, образующие простые ( $\text{Cl}^-$ ) или комплексные анионы ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $[\text{NO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ , возможно  $\text{Y}(\text{CO}_3)_3^{4-}$  и др.).

Наряду с щелочными и щелочноземельными элементами, катионогенные (Kt) свойства проявляют многие тяжелые металлы (Pb, Cd, Cu, Zn...), а анионогенные (An), кроме галогенов и В – тяжелые металлоиды (Mo, U, Sb, As). Способность элементов мигрировать в Kt- или An- формах зависит от окислительно-восстановительных, кислотно-основных и сорбционных свойств биокосных экосистем, что влияет на возможность их поглощения организмами, особенно высшими растениями [Перельман, Касимов, 1999; Баргальи, 2005; и др.]. Поскольку в ландшафтах миграция элементов происходит не только в ионной форме, но и в виде недиссоциированных молекул, в суспензиях, органо-минеральных коллоидах, органических соединениях, представления о катионогенных и анионогенных парагенезисах нужно рассматривать со многими ограничениями как общую концепцию, но подкрепленную экспериментальными данными.

Многолетний опыт исследований парагенезисов Kt- и An-элементов в различных природных геосистемах позволил выделить своеобразные «катионофильные» и «анионофильные» компоненты и подсистемы ландшафтов, специализированные на аккумуляцию, обеднение или наличие корреляционных связей внутри этих двух ассоциаций элементов. Названия их достаточно условны из-за неоднород-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, заведующий кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, академик РАН; *e-mail:* nskasimov@mail.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* lychagin2008@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* srchalov@geog.msu.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* Galina.Shinkareva@rgo.ru

ности элементного состава. К катионофильным можно отнести геосистемы, для которых характерны парагенезисы 18-электронных элементов-комплексобразователей (Zn, Cu, Pb, Cd...), обладающих в определенных геохимических условиях, например, в кислых таежных ландшафтах, катионогенными свойствами, то есть способностью миграции в кислой обстановке. Группирование химических элементов в координатах «генность – кларки» приводится в таблице 1.

**Материалы, методы и объекты исследований.**

Информационной базой анализа геохимических парагенезисов послужило обобщение материалов ландшафтно-геохимических исследований, проведенных в различных районах Казахстана и Средней Азии в 1970–80-х гг. [Касимов, 1988; Перельман, Касимов, 1999], Прикаспия – в 1990-х – начале 2000-х [Касимов с соавт., 2016]. В Казахстане и Средней Азии изучались геохимические особенности древних кор выветривания, палеогеновых, неогеновых и плейстоценовых ископаемых почв и континентальных отложений, почвенно-геохимических катен и растений лесостепных, степных и пустынных ландшафтов, в Прикаспии – эколого-геохимические последствия колебаний уровня моря для прибрежных ландшафтов центрального Дагестана, различных участков азербайджанского и иранского побережья Каспия. Полевые исследования проводились на основе катенарного подхода. При лабораторном анализе проб применялись количественный спектральный и атомно-абсорбционный методы. Обработка полученных данных проводилась с использованием методов математической статистики, в первую очередь корреляционного анализа. Рассчитывались геохимические коэффициенты: кларки концентрации и рассеяния, радиальной и латеральной дифференциации, биологического поглощения и др.

В 2010-х гг. в рамках гидролого-геохимической экспедиции «Селенга-Байкал» и Байкальской экспедиции Русского географического общества [Chalov et al., 2015; Касимов с соавт., 2017; Lychagin et al., 2017; Эколого-географический атлас ..., 2019] были получены обширные данные (n\*10 000 элементоопределений) о содержании растворенных и взвешенных форм нахождения элементов в водных потоках

и речных наносах р. Селенги и ее притоков, которые подтвердили и расширили предложенную ранее концепцию.

Полевые работы на водных объектах проводились в разных гидрологических условиях на более чем 100 створах в пределах Монголии и России. Содержание широкого круга химических элементов в растворенной форме и твердофазном состоянии в составе взвешенных наносов определялось масс-спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) и атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (ICP-AES) во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.М. Федоровского.

Полученные данные сравнивались со среднемировыми показателями: средним содержанием в речных водах [Gaillardet, Viers, Dupre, 2003] и взвешенных наносах [Савенко, 2006], кларками верхней части континентальной земной коры [Rudnick, Gao, 2003]. Гидрогеохимические парагенезисы элементов выделялись на основе группировки элементов по соотношению растворенных и взвешенных форм нахождения.

**Результаты и обсуждение. Геохимические парагенезисы кор выветривания, континентальных отложений и палеопочв Казахстана.**

В верхнемеловое – среднеолигоценное время на денудационных равнинах и возвышенностях Северного, Центрального и Восточного Казахстана, на Южном Урале в условиях влажного и переменновлажного субтропического климата формировались мощные каолиновые коры выветривания, а на сопряженных с ними аккумулятивных равнинах – континентальные почвенно-осадочные каолинит-гематитовые формации [Ерофеев, Цеховский, 1982]. Кислое и кислое глеевое выщелачивание Kt-элементов из автоморфных кор выветривания и почв, их низкие содержания в пролювиальных и пойменно-террасовых отложениях привели к формированию генетически обусловленного Kt-парагенезиса элементов, подвижных в кислой и кислой глеевой ландшафтных обстановках – Mn, Zn, Sr, Pb, Ba и др. и условно Kt-An парагенезиса относительно накапливающихся элементов, включая элементы-гидролизаты – Si, Al, Ti, Zr, Cr, Y [Касимов, 1988].

Таблица 1

**Геохимическая систематика элементов по особенностям водной миграции и распространенности**

Группы элементов** Кларковые ряды*, %	Катионогенные	Элементы-комплексобразователи		Переходные	Анионогенные	
		8-электронные	18-электронные		8-электронные	18-электронные
I. 47,0–1,9	Ca, Na, K	Al, Mg	–	Fe	Si	–
II. 0,45–0,01	Sr, Ba, Rb	Ti, Zr	–	Mn	C, P, S, F, Cl	–
III. 0,01–0,001	Li	Cr <sup>3+</sup> , V, Ga, Y, La, Sc, Nb, Ta	Zn, Cu, Pb, Sn	Ni, Co	Cr <sup>6+</sup> , B, N	–
IV. <0,001	Cs	U, Be	Cd, Ag, Hg, Au, Bi	–	Se, W, Br, J	As, Ge, Mo, Sb

\* По А.П.Виноградову (1962).

\*\* Крайнов, Рыженко, Швец (2004).

Катионофильная специализация процессов кислотного и кислотно-глеевого выщелачивания влажно-субтропических кор выветривания и почв осложняется, как правило, наличием сорбционных геохимических барьеров, на которых в кислой среде в положительно заряженных гидроксидах железа и алюминия, многочисленных железо-марганцевых конкрециях формируется анионогенный парагенезис с накоплением  $\text{PO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_4^{2-}$ ,  $\text{MoO}_4^{2-}$ . Отрицательно заряженными коллоидами гумуса, глинистых минералов и марганца сорбируются в основном  $\text{K}^+$ ,  $\text{Rb}^+$ ,  $\text{Cs}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ , образуя в них катионофильный парагенезис.

После аридизации климата в миоцене в степных и саванновых ландшафтах с озерными и почвенно-пролювиальными отложениями в щелочной, местами сильнощелочной, содовой обстановке стали более активно мигрировать и накапливаться (1,5–2,5 кларков концентрации – КК) в осадках и палеопочвах Ап-элементы и комплексообразователи – Mo, Cr, V, Y, Sc, Zn, Cu, Ag, на фоне относительно низких (0,3–0,4 КК) содержаний Кт-элементов – Sr, Mn, Ba (рис. 1). Такая тенденция характерна для многих неогеновых континентальных аридных красноцветов Казахстана и Средней Азии. Основной парагенезис накапливающихся элементов – Y, V, Mo, Cu, а также Cr, Ti, Ag, Sc указывает на важную роль щелочных и сильнощелочных (содовых) ландшафтно-геохимических условий в мобилизации этой ассоциации элементов и их осаждении в зонах аккумуляции [Перельман, 1989; Перельман, Касимов, 1999].

Особенно хорошо Ап-парагенезис выражен в миоценовых луговых и лугово-солончаковых палеопочвах озерно-аккумулятивных равнин, в которых гумусовые горизонты обогащены элементами содовой миграции – Be, Ag, Y, Cu, Sc, Mo, поступаю-

щими из автономных позиций [Касимов, 1988]. Состав ассоциации элементов, накапливающихся в луговых миоценовых почвах, близок к наблюдаемому в современных солодах Северного Казахстана, что свидетельствует о сходстве условий миграции в миоценовых и современных семиаридных ландшафтах и накоплении элементов на кислых, глеевых и сорбционных почвенно-геохимических барьерах в подчиненных позициях (рис. 1).

**Биогеохимические парагенезисы в растениях.** Элементный состав наземных растений зависит от многих факторов: ландшафтно-геохимических условий, определяющих радиально-латеральные и зонально-провинциальные проявления биологического круговорота, физиологических, систематических и морфологических особенностей растений, свойств химических элементов, в первую очередь, способности образовывать подвижные соединения, доступные для поглощения растениями.

Средний химический состав растений суши, несмотря на значительную дифференциацию данных, связанную с перечисленными и другими факторами, достаточно хорошо известен [Перельман, Касимов, 1999; Добровольский, 2003; Bowen, 1973; Kabata-Pendias, 2011; Markert, Franzle, Wunschmann, 2015; и др.]. Путем расчета кларков концентрации относительно верхней части континентальной коры или других стандартных параметров его со многими допущениями можно принять в качестве фонового диапазона концентрации химических элементов для растений суши.

На региональном и локальном уровнях в конкретных ландшафтно-геохимических условиях содержания элементов в семействах, родах и видах растений отличаются от средних мировых значений в десятки и сотни раз, что создает трудности в их

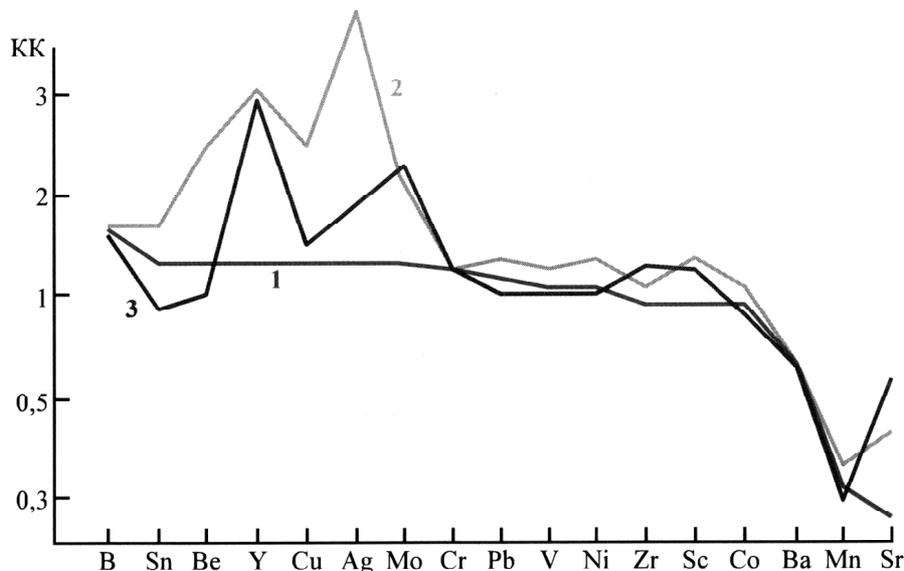


Рис. 1. Анионогенная специализация миоценовых озерно-пролювиальных отложений (1), луговых миоценовых палеопочв (2) и современных солодов (3) Северного Казахстана

Fig. 1. Anionogenic specialization of the Miocene lacustrine-proluvial deposits (1), the Miocene meadow paleosoils (2) and the present-day solod soils (3) of Northern Kazakhstan

интерпретации как факторов при использовании в качестве биогеохимических индикаторов экологического состояния территорий. Поэтому для понимания причин и генезиса концентрации-деконцентрации элементов в растениях становится значимым парагенетический анализ. Он проводится разными способами: с использованием факторного анализа и других статистических методов, хорошие результаты дает применение аддитивных показателей и отношений элементов в биогеохимических системах [Касимов, 1988].

С позиций Кт-Ап парагенетического анализа важное значение имеют условия происхождения растений. Одним из подходов к изучению этой проблемы является разделение растений на гумидокатные и ариданитные [Айвазян, Касимов, 1979; Касимов, 1988]. Центры происхождения первых находятся преимущественно в гумидных областях, где растения (в суббореальной зоне – березовые, осиновые, еловые и др.) накапливают катионогенные элементы, особенно Mn, имеющие в этих условиях наибольшую подвижность. Вторая группа растений (сложноцветные, маревые, злаки) происходит преимущественно из аридных и субаридных регионов и концентрирует относительно подвижные в таких ландшафтах анионогенные элементы.

Для выявления биогеохимической специализации каждой ассоциации используются аддитивные показатели для кларков концентрации в золе растений относительно литосферы, коэффициентов биологического поглощения и др. По соотношению средних суммарных показателей Кт-Ап элементов в одних и тех же пробах растений или пар элементов из этих ассоциаций четко выделяют соответственно катионофильные (гумидокатные) и анионофильные (ариданитные) семейства (роды, виды) растений (рис. 2).

Сходные Кт-Ап парагенезисы элементов установлены в тундровых ландшафтах Большеземельской и Воркутинской тундр, на Ямале [Тентюков, 2016], где древесные породы, кустарники, мхи и лишайники имеют Кт-специализацию, соответствующую региональным преимущественно кислым и кислым глеевым ландшафтно-геохимическим условиям, благоприятным для миграции катионогенных тяжелых металлов. Травянистые растения, как и в степях, отличаются Ап – специализацией.

**Почвенно-геохимические парагенезисы.** Кт-Ап парагенезисы отчетливо выражены в почвенно-геохимических катенах, особенно в ландшафтах с контрастной геохимической обстановкой в автономных и подчиненных позициях (лесостепь, колючая степь и др.), определяющей формирование разнообразных геохимических барьеров на границах между ландшафтами.

Исследования в Северном, Центральном и Восточном Казахстане выявили близкие парагенезисы элементов, мигрирующие в почвенно-геохимических катенах. В лесостепных, степных и сухостепных ландшафтах в автономных черноземах и каштановых почвах мобилизация химических элементов происходит в интервале от слабощелочных до сильнощелочных значений pH, благоприятных, как отмечалось, для поглощения растениями и дальнейшей латеральной миграции преимущественно анионогенных микроэлементов и комплексобразователей (В, Мо, Cr, V, Ti и др.), накапливающихся в почвах подчиненных позиций. Кт-элементы, как правило, в этих условиях слабо перераспределяются в почвенных катенах [Касимов, 1988].

Такая Кт-Ап дифференциация особенно хорошо выражена в мелкосопочных ландшафтах на кислых породах (гранитах, вторичных кварцитах), где на низком литогеохимическом фоне по сравнению с автономными черноземовидными почвами четко выражено накопление более подвижных в слабощелочной среде Nb, Y, Ti, Мо, В и Ni в геохимически подчиненных почвах при слабой подвижности в катене Кт-элементов – Mn, Cu, Pb (рис. 3). При этом

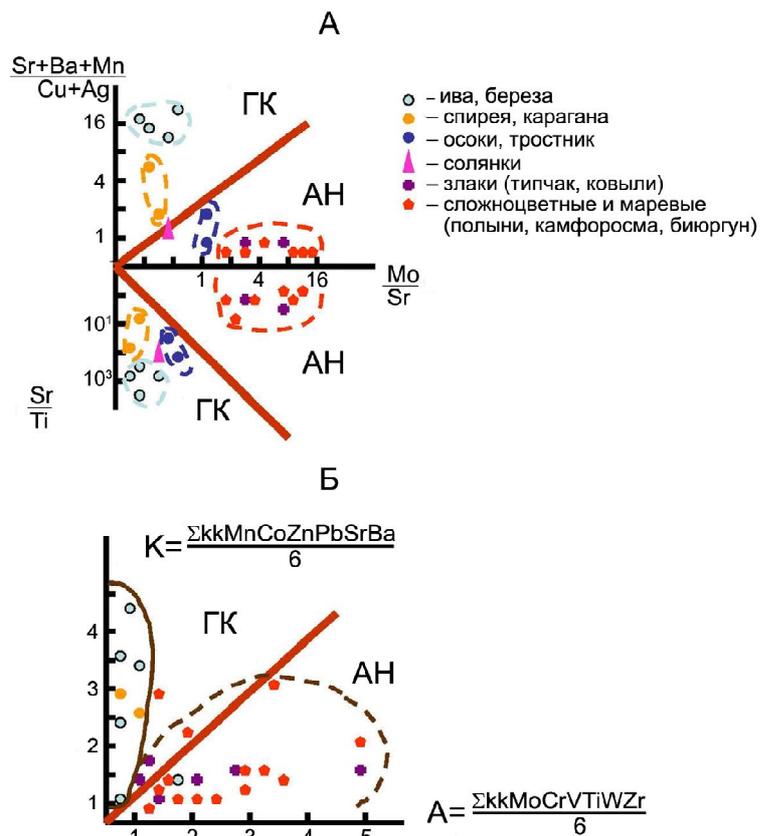


Рис. 2. Гумидокатные (ГК) и ариданитные (АН) виды растений: А – отношение коэффициентов биологического поглощения элементов в Мугоджарях; Б – поля и соотношения К и А в растениях Мугоджар и Центрального Казахстана

Fig. 2. Humid-cationic (ГК) and arid-anionic (АН) plant species: А – ratio of coefficients of biological absorption of elements in the Mugodzhary Mountains; Б – fields and correlations of K and A in the plants of the Mugodzhary Mountains and Central Kazakhstan

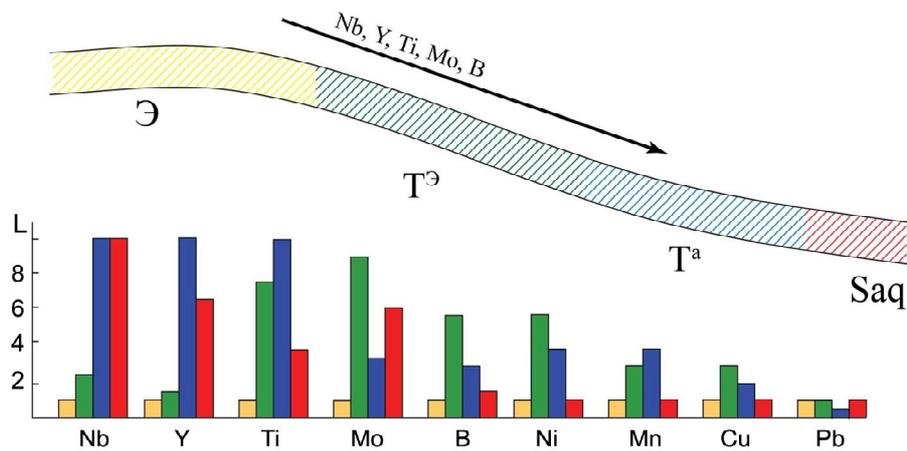


Рис. 3. Коэффициенты латеральной миграции (L) в степной катене Зерендинского массива. Элементарные ландшафты: Э – автономные с малоразвитыми черноземовидными почвами на элювии кварцитов; T<sup>Э</sup> – трансэлювиальные с малоразвитыми черноземами на элюво-делювии кварцитов; T<sup>a</sup> – трансаккумулятивные с малоразвитыми черноземами на маломощном делювии; Saq – супераквальные с пойменными дерновыми глеевыми почвами на аллювио-делювии

Fig. 3. Coefficients of lateral migration (L) in a steppe catena of the Zerenda massif. Elementary landscapes: Э – autonomous with poorly developed chernozem-like soils on quartzite eluvium; T<sup>Э</sup> – trans-eluvial with poorly developed chernozems on quartzite eluvium-deluvium; T<sup>a</sup> – trans-accumulative with poorly developed chernozems on thin deluvium; Saq – super-aqual with floodplain sod gleysoils on alluvium-deluvium

наибольшее накопление В и Мо, хорошо растворимых Ап-элементов, отмечается в трансэлювиальной позиции, а комплексообразователей Nb, Y и Ti – в трансаккумулятивной. Сходные зависимости характерны и для более аридных содово-солончаковых ландшафтов Центрального Казахстана с четкой дифференциацией поведения более подвижных элементов Мо и Cu, образующих содовые комплексы, и Zn и Mn, слабоподвижных в щелочной среде [Касимов, 1988].

**Бассейновые гидрогеохимические парагенезисы.** В речных водах для выделения гидрогеохимических парагенезисов анализировалось соотношение химических элементов в двух основных формах нахождения – растворенной (dissolved) и нерастворенной (particulate), разделяемых в мировой практике с использованием мембранных фильтров с порами диаметром 0,45 мкм. Основными формами нахождения соединений металлов во взвешенной форме в речных водах являются органо-минеральные комплексы, аморфные гидроксиды Fe, Mn и адсорбированные на них и на глинистых частицах металлы [Веницианов, Лепихин, 2002].

подавляющее большинство исследований распределения металлов между взвешенными и растворенными формами до настоящего времени было выполнено для устьевых систем [Balls, 1989; Chiffolleau et al., 1994; Zwolsman, van Eck, 1999]. Они направлены на выявление преобладающего носителя для расчета баланса поступления веществ из речных бассейнов в приемные реки, озера и моря, а также для оценки подвижности элементов. На фоне «консервативных» оценок о резком преобладании в речных водах взвешенной формы миграции большинства химических элементов, существуют и более «умеренные» точки зрения о большей значимо-

сти растворенных форм в водной миграции элементов [Савенко, 2006; Гордеев, 2012], основанные на обобщении обширных данных по рекам мира. На основании гипотезы о средней мутности рек мира 350 мг/л и данных о средних содержаниях растворенных элементов [Gaillardet et al., 2003] в этих работах были впервые получены представления о соотношении взвешенных и растворенных форм. Большинство элементов, за исключением Ba, Ca, Mg, K, Na, Li, Sr, Sc, Ta, U и W, связываются в них исключительно со взвешенной формой транспорта [Viers, Dupré, Gaillardet, 2009]. Помимо очевидной условности принятых средних значений мутности воды, подобные обзоры не учитывают зонально-региональные факторы миграции элементов – литогеохимические, гидроклиматические, в конечном итоге – ландшафтно-геохимические особенности речных бассейнов и колоссальную изменчивость форм их нахождения, определяемую всеми этими факторами. Существенным ограничением упомянутых глобальных обобщений является использование эпизодических (разовых) определений по разным рекам, не учитывающих внутригодовую изменчивость условий формирования стока. Как и мировые кларки речных вод [Gaillardet, Viers, Dupre, 2003], такие данные необходимы, но недостаточны для понимания сложных, еще малоизученных биогидрогеохимических процессов миграции и форм нахождения элементов в бассейнах региональной размерности.

Эколого-гидрогеохимические исследования в бассейне р. Селенги в 2011–2018 гг. [Касимов и др., 2016; Эколого-географический ..., 2019] позволили установить ряд новых закономерностей соотношения форм нахождения химических элементов в речных водах, что для крупного речного бассейна, по-видимому, выполнено впервые. Для оценки соотно-

шения растворенных и взвешенных форм элементов в реках бассейна Селенги применялось группирование преобладающего нахождения элемента в системе взвесь – раствор: 1 группа – >75% во взвеси; 2 – 50–75%; 3 – 25–50%; 4 – <25%, т. е. с нахождением преимущественно в растворенной форме.

Несмотря на многолетнюю и сезонную изменчивость стока воды и наносов, можно выделить три контрастные парагенетические ассоциации (табл. 2). Первая – это в основном катионогенные металлы – Fe, Mn, Pb и некоторые литофильные комплексообразователи (элементы – гидролизаты) – Al, Bi, W, Be, мигрирующие в водах преимущественно во взвешенной форме (1-я и 2-я группы). Вторая – анионогенные тяжелые металлоиды – Mo, U, Sb, As, а также легкий металлоид В, находящиеся в основном в растворенной форме (4-я, иногда 3-я группы). Соотношение форм миграции этих элементов определяется главным образом их химическими свойствами и практически не зависит от гидроклиматических условий. Так, в бассейне Селенги Fe, Mn и Al в речных водах всегда находятся преимущественно во взвешенной, а Mo и U – в растворенной форме. К третьей ассоциации относятся халькофильные тяжелые металлы Zn, Cd, Cu, а также Sn, фракционирование которых больше зависит от гидроклиматической изменчивости, погодных условий и сезонных колебаний водного стока и мутности воды, а также ландшафтно-геохимических условий водосборов. При высоких расходах воды, как в паводок 2016 г. (табл. 2), элементы 3 ассоциации переносятся главным образом во взвешенной форме, при низких – в растворенной. Особенно сильно уменьшается доля взвешенных форм в период зимней межени, когда мутность речных вод становится минимальной. Так, в зимнюю межень 2015 г. в водах Селенги не только для элементов 2 и 3 ассоциации, но и для ряда элементов 1 ассоциации (Pb, Bi, Mn, W) ведущей являлась растворенная форма миграции.

В качестве интегральной характеристики условий фракционирования этих ассоциаций можно рассматривать относительную водность водотока, равную отношению расхода воды  $Q_p$  наблюдаемому в

момент времени  $t$ , к среднегодовому расходу воды в данном створе реки  $Q_0$ . Так, во время высокого паводка 2011 г., обусловленного сильными дождями в монгольской части бассейна ( $Q_t/Q_0 \gg 1$ ), доля взвешенных форм Zn, Cd и Cu в р. Орхон доходила до 80–90%, тогда как в реках Чикой и Хилок ( $Q_t/Q_0 < 1$ ), в российской части, где дождей не было, она не превышала 25%. Наоборот, прохождение паводка в бассейнах рр. Джида и Хараа в июне 2012 г. ( $Q_t/Q_0 > 1$ ) привело к преобладанию взвешенных форм транспорта Zn, Cd, Cu и ряда элементов из первой ассоциации, на остальной части бассейна эти элементы мигрировали преимущественно в растворенной форме. Такая вариабельность связана с многократным увеличением мутности воды (в р. Орхон на пике паводка до 2000 мг/л) и соответствующим снижением крупности взвешенного материала. Тяжелые металлы в основном приурочены к тонкодисперсным фракциям (менее 20 мкм), при этом более 50% содержится во фракциях крупностью менее 10 мкм [Zhang et al., 2001; Tansel, Rafiuddin, 2016].

Дождевые паводки на притоках Селенги, сопровождающиеся ростом мутности воды, приводят к увеличению доли взвешенных форм элементов в главной реке ниже места их впадения [Касимов и др., 2016]. На волне летнего паводка 2011 г. в р. Орхон отмечались экстремально высокие значения мутности воды, на долю взвешенных форм миграции Fe, Mn, Pb приходилось 95–99%, Cu, Zn, Ni, Co – 80–90%, В, U, As – 30–50%, Mo – <10% от суммарного содержания. В р. Селенге ниже места впадения р. Орхон мутность в этот период тоже возрастала, но не столь значительно, поэтому в районе российско-монгольской границы (п. Наушки) доля взвешенных форм катионогенных элементов и комплексообразователей в водах Селенги снижалась до 60–70%, а для большинства анионогенных элементов она не превышала 20%.

Таким образом, анализ соотношения форм миграции показал для металлов существенное значение, а для многих металлоидов преобладание растворенных форм миграции элементов, что на примере крупного речного бассейна расширяет суще-

Таблица 2

Формы тяжелых металлов и металлоидов в бассейне реки Селенги

Сезон	Доля взвешенных форм химического элемента от суммарного содержания взвешенных и растворенных форм, %			
	75–100	50–75	25–50	<25
Паводок 2011	Bi	Fe Co Mn Pb Cd V W	Ni Cu Sn Zn Cr	As B U Mo Sb
Межень 2012	–	Bi Fe Co Mn V	Pb Cr Cu Ni As Zn	Cd Sn W B U Mo
Паводок 2013	Fe Mn Pb Co Bi	Ni Cu V W	Zn Cr Sn As Cd U	B Mo Sb
Паводок 2014	Fe Mn Pb Co Ni	Bi V W Cr	Sn Cd Cu Zn	As Sb U Mo
Межень 2015	Fe Ni	–	Cu Pb Sn	Bi Mn Cd Zn Co Cr V W Sb As Mo U
Паводок 2016	Fe Mn Pb Co Ni Bi Cr V Sn Cd Zn W	Cu	As	Sb U

ствовавшие ранее представления о потоках химических элементов.

Антропогенное геохимическое воздействие определяется специализацией техногенных источников загрязнения, накладывающейся на выявленные основные черты парагенетического фракционирования. Особенно это заметно в районах добычи полезных ископаемых. Так, на рр. Туул и Хараа на десятки км ниже золотых приисков отмечается значительный рост мутности речных вод, что ведет к увеличению доли взвешенных форм миграции тяжелых металлов и металлоидов.

**Заключение.** Таким образом, Kt-An анализ парагенезисов микроэлементов, в основном тяжелых металлов и металлоидов, в различных компонентах и подсистемах ландшафтов: древних корах выветривания и континентальных отложениях, растениях, почвенно-геохимических катенах и речных бассейнах в разных регионах и ландшафтно-геохимических условиях показал существование двух, иногда трех достаточно устойчивых парагенетических ассоциаций химических элементов. Первая – это основные катионогенные подвижные металлы – Sr, Zn, Cu, Cd, мигрирующие в кислых и слабокислых почвенно-геохимических обстановках и речных водах, а также слабоподвижные (кроме биофильного Mn) – Al, Fe, Mn, Bi, Be, Pb, хорошо сорбируемые тонкими гранулометрическими фракциями почв и взвешен-

ными частицами речных потоков, не накапливающиеся в растворенной форме.

Вторая ассоциация состоит из анионогенных элементов, в основном тяжелых – U, Mo, As, Sb, и легких – В металлоидов, а также части элементов-комплексобразователей (гидролизатов) Y, Se, Ti, Yb, для миграции которых, как выяснилось в последнее время, в степных и сухостепных ландшафтах существенное значение имеют достаточно растворимые содово-карбонатные и анионные комплексные соединения элементов ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ,  $\text{AsO}_4^{2-}$  и др.), подвижные в щелочной среде, за счет чего они накапливаются степными растениями, а в речных водах определяют преобладание растворенных форм миграции.

Совершенно очевидно, что такой Kt-An анализ выявил самые общие тенденции формирования парагенетических ассоциаций элементов, мигрирующих и накапливающихся в ландшафтах. Все они характерны, главным образом, для природных (фоновых) ландшафтов, не измененных или слабо измененных под влиянием техногенных факторов, которые определяются уже социально-экономическими и технологическими процессами. Знание природных геохимических парагенезисов элементов, несомненно, является теоретической основой для идентификации техногенных парагенезисов в геохимических аномалиях, формирующихся в различных компонентах окружающей среды.

**Благодарности.** Исследование выполнено в рамках проекта РНФ 19-77-30004. Обобщение данных по рекам бассейна Байкала выполнено в рамках грантов РФФИ 17-29-05027 и РФФИ 17-05-41174-РГО.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Айвазян А.Д., Касимов Н.С. О геохимической специализации растений (на примере Мугоджар) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1979. № 3. С. 42–47.
- Веницианов Е.В., Лепихин А.П. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах / Под ред. А.М. Черняева. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2002. 236 с.
- Вернадский В.И. Проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1980. 320 с.
- Гордеев В.В. Геохимия системы река – море. М.: ИП Матушкина И.И., 2012. 452 с.
- Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Издательский центр «Академия», 2003. 342 с.
- Ерофеев В.С., Цеховский Ю.Г. Парагенетические ассоциации континентальных отложений. М.: Наука. Кн.1 – 1982, 211 с.; кн.2 – 1983. 205 с.
- Касимов Н.С. Геохимия степных и пустынных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1988. 253 с.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экологической геохимии. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 2. С. 7–17.
- Касимов Н.С., Касатенкова М.С., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б. Геохимия лагунно-маршевых и дельтовых ландшафтов Прикаспия. М.: Лига-Вент, 2016. 244 с.
- Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Чалов С.Р., Шинкарева Г.Л., Пашикина М.П., Романченко А.О., Промахова Е.В. Бассейновый анализ потоков вещества в системе Селенга – Байкал // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 3. С. 67–81.
- Перельман А.И. Геохимия. Изд. 2-е. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 2000, 1999. 768 с.
- Тентюков М.П. Экогеохимия районов промышленного освоения Большеземельской тундры и Ямала. Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. доктора г.-м. наук. Томск, 2016. 41 с.
- Савенко В.С. Химический состав взвешенных наносов рек мира. М.: ГЕОС, 2006. 175 с.
- Эколого-географический атлас-монография Селенга-Байкал / Под ред. Н.С. Касимова и др. М.: Географический факультет МГУ, 2019. 288 с.
- Balls P.W. The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal waters: A compilation of field data and comparison with laboratory studies // Netherlands Journal of Sea Research. Vol. 23. Issue 1. February 1989. P. 7–14.
- Bowen H.J.M. Environmental Chemistry of the Elements. New York: Acad. Press, 1979. 333 p.
- Chalov S.R., Jarsjo J., Kasimov N.S. et al. Spatio-temporal variation of sediment transport in the Selenga River Basin, Mongolia and Russia // Environ. Earth Sc: (2015) 73:663. <http://doi.org/10.1007/s12665-014-3106-z>.
- Chiffolleau J.-F., Cossa D., Auger D., Truquet I. Trace metal distribution, partition and fluxes in the Seine estuary (France) in low discharge regime // Mar. Chem. 47(2). 1994. P. 145–158. doi:10.1016/0304-4203(94)90105-8
- Gaillardet J., Viers J., Dupre B. Trace elements in river waters // Treatise on Geochemistry. Vol. 5. Editor: James I. Drever. Executive

Editors: Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. Elsevier, 2003. P. 225–272.

*Kabata-Pendias A., Pendias H.* Trace elements in soils and plants. 4<sup>th</sup> Edition, Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010. 548 p.

*Lychagin M., Chalov S., Kasimov N. et al.* Surface water pathways and fluxes of metals under changing environmental conditions and human interventions in the Selenga River system // *Environ. Earth Sciences*, 2017. 76:1. <http://doi.org/10.1007/s12665-016-6304-z>.

*Market B., Franzle S., Wunschmann S.* Chemical evolution and the biological system of the elements. Heidelberg: Springer, 2015. XVII. 282 p.

*Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. Vol. 3. New-York: Elsevier Science, 2003. P. 1–64.

*Tansel B., Rafiuddin S.* Heavy metal content in relation to particle size and organic content of surficial sediments in Miami River and transport potential // *International Journal of Sediment Research*. 2016. Vol. 31, Issue 4. P. 324–329.

*Viers J., Dupre B., Gaillardet J.* Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database // *Sci. Tot. Envir.*, 2009. Vol. 407. Iss. 2. P. 853–868.

*Zhang W., Yu L., Hutchinson S.M., Xu S., Chena Z., Gao X.* China's Yangtze Estuary: I. Geomorphic influence on heavy metal accumulation in intertidal sediments // *Geomorphology*. Vol. 41. Issues 2–3. 15 November 2001. P. 195–205.

*Zwolsman John J.G., van Eck Gijsbertus T.M.* Geochemistry of major elements and trace metals in suspended matter of the Scheldt estuary, southwest Netherlands // *Marine Chemistry*. Vol. 66. Issues 1–2. July 1999. P. 91–111.

Поступила в редакцию 21.05.2019

После доработки 20.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

**N.S. Kasimov<sup>1</sup>, M.Yu. Lychagin<sup>2</sup>, S.R. Chalov<sup>3</sup>, G.L. Shinkareva<sup>4</sup>**

#### **PARAGENETIC ASSOCIATIONS OF CHEMICAL ELEMENTS IN LANDSCAPES**

The paper discusses the basin, soil and biogeochemical paragenetic associations of landscapes. «Cationophilic» and «anionophilic» components and subsystems of landscapes, specializing in accumulation, depletion or the presence of correlations of chemical elements, are identified. The landscape-geochemical studies of ancient weathering crusts, Paleogene, Neogene and Pleistocene continental deposits, soil-geochemical catenas and plants in various regions of Kazakhstan, Central Asia, the Caspian Sea region and the rivers of the Baikal Lake catchment are synthesized.

There are three paragenetic associations of chemical elements in aquatic landscapes of a heterolithic river basin. The first prevalently includes cationic metals – Fe, Mn, Pb and some lithophilic complexing agents (hydrolyzate elements) – Al, Bi, W, Be, migrating in water mainly in suspended forms. The second includes anionic heavy metalloids – Mo, U, Sb, As, as well as light metalloid B, which are presented mainly in dissolved forms. The third association includes chalcophilic heavy metals Zn, Cd, Cu, and also Sn, the fractionation of which is more dependent on hydroclimatic variability, weather conditions and seasonal variations of water flow and turbidity, as well as on the landscape-geochemical conditions of catchments.

*Key words:* landscape geochemistry, biogeochemistry of plants, soils, river catchments, aquatic landscapes, paragenesis of elements

*Acknowledgements.* The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 19-77-30004). Integration of the information on the rivers of the Baikal Lake catchment was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects № 17-29-05027 and 17-05-41174-RGO).

#### REFERENCES

*Ajvazyan A.D., Kasimov N.S.* O geohimicheskoy specializacii rastenij (na primere Mugodzhar) [On the geochemical specialization of plants (case study of the Mugodzhar Mountains)] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 1979. № 3. P. 42–47. (In Russian)

*Balls P.W.* The partition of trace metals between dissolved and particulate phases in European coastal waters: A compilation of field

data and comparison with laboratory studies // *Netherlands Journal of Sea Research*. Vol. 23. Issue 1. February 1989. P. 7–14.

*Bowen H.J.M.* *Environmental Chemistry of the Elements*. New York: Acad.Press, 1979. 333 p.

*Chalov S.R., Jarsjo J., Kasimov N.S. et al.* Spatio-temporal variation of sediment transport in the Selenga River Basin, Mongolia

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Head of the Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, D.Sc. in Geography, Professor, Academician of the RAS; *e-mail:* nskasimov@mail.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Associate Professor, PhD. in Geography; *e-mail:* lychagin2008@gmail.com

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Associate Professor, PhD. in Geography; *e-mail:* srchalov@geogr.msu.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Researcher, PhD. in Geography; *e-mail:* galina.shinkareva@gmail.ru

- and Russia // *Environ. Earth Sc.* (2015) 73:663. <http://doi.org/10.1007/s12665-014-3106-z>.
- Chiffolleau J.-F., Coss D., Auger D. and Truquet I.* Trace metal distribution, partition and fluxes in the Seine estuary (France) in low discharge regime // *Mar. Chem.* 47(2). 1994. P. 145–158. doi:10.1016/0304-4203(94)90105-8
- Dobrovolskij V.V.* Osnovy biogeohimii [Fundamentals of biogeochemistry]. M.: Izdatel'skiy tsentr «Akademiya», 2003. 342 p. (In Russian)
- Ekologo-geograficheskij atlas-monografija Selenga-Bajkal [Environmental-geographical atlas-monography Selenga River-Baikal Lake] / Pod red. N.S. Kasimov i dr. M.: Geograficheskij fakul'tet MGU, 2019. 288 p. (In Russian)
- Erofeev V.S., Cehovskij Ju.G.* Parageneticheskie asociacii kontinental'nyh otlozhenij [Paragenetic associations of continental deposits]. M.: Nauka. Vol. 1 – 1982, 211 p.; Vol. 2 – 1983, 205 p. (In Russian)
- Gaillardet J., Viers J., Dupre B.* Trace elements in river waters // *Treatise on Geochemistry*. Volume 5. Editor: James I. Drever. Executive Editors: Heinrich D. Holland and Karl K. Turekian. Elsevier, 2003. P. 225–272.
- Gordeev V.V.* Geohimija sistemy reka – more [Geochemistry of river-sea system]. M.: IP Matushkina I.I., 2012. 452 p. (In Russian)
- Kabata-Pendias A., Pendias H.* Trace elements in soils and plants. 4<sup>th</sup> Edition, Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group, 2010. 548 p.
- Kasimov N.S.* Geohimija stepnyh i pustynnyh landshaftov [Geochemistry of steppe and desert landscapes]. M.: Izd-vo MGU, 1988. 253 p. (In Russian)
- Kasimov N.S., Kasatenkova M.S., Tkachenko A.N., Lychagin M.Ju., Kroonenberg S.B.* Geohimija lagunno-marshovyh i del'tovyh landshaftov Prikaspija [Geochemistry of lagoon-marsh and delta landscapes of the Caspian Sea region]. M.: Liga-Vent, 2016. 244 p. (In Russian)
- Kasimov N.S., Lychagin M.Ju., Chalov S.R., Shinkareva G.L., Pashkina M.P., Ro-manchenko A.O., Promahova E.V.* Bassejnovyj analiz potokov veshhestva v sisteme Selenga – Bajkal [Catchment based analysis of matter flows in the Selenga-Baikal system] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 2016. № 3. P. 67–81. (In Russian)
- Kasimov N.S., Vlasov D.V.* Klarki himicheskikh jelementov kak jetalony sravnenija v jekologicheskoj geohimii [Clarks of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 2015. № 2. P. 7–17. (In Russian)
- Lychagin M., Chalov S., Kasimov N. et al.* Surface water pathways and fluxes of met-als under changing environmental conditions and human interventions in the Selenga River system // *Environ. Earth Sciences*, 2017. 76:1. <http://doi.org/10.1007/s12665-016-6304-z>.
- Market B., Franzle S., Wunschmann S.* Chemical evolution and the biological system of the elements. Heidelberg: Springer, 2015. XVII. 282 p.
- Perel'man A.I.* Geohimija [Geochemistry]. Izd. 2-e. M.: Vysshaya Shkola. 1989. 528 p. (In Russian)
- Perel'man A.I., Kasimov N.S.* Geohimija landshafta [Landscape geochemistry]. M.: Astreja 2000, 1999. 768 p. (In Russian)
- Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. Volume 3. New-York: Elsevier Science, 2003. P. 1–64.
- Savenko V.S.* Himicheskij sostav vzveshennyh nanosov rek mira [Chemical composition of suspended sediments of world rivers]. M.: GEOS, 2006, 175 p. (In Russian)
- Tansel B., Rafiuddin S.* Heavy metal content in relation to particle size and organic content of surficial sediments in Miami River and transport potential // *International Journal of Sediment Research*. 2016. Vol. 31, Issue 4. P. 324–329.
- Tentjukov M.P.* Jekogeohimija rajonov promyshlennogo osvoenija Bol'shezemel'skoj tundry i Yamala [Ecogeochemistry of industrial development areas of the Bolshezemelskaya tundra and the Yamal Peninsula]. Avt-t diss. na soisk. uch.st. doktora g.-m. nauk. Tomsk. 2016. 41 p. (In Russian)
- Venicianov E.V., Lepihin A.P.* Fiziko-himicheskie osnovy modelirovanija migracii i transformacii tjazhelyh metallov v prirodnyh vodah [Physical-chemical basics of modeling the migration and transformation of heavy metals in natural waters] / Pod red. A.M. Chernjaev. Ekaterinburg: RosNII VH, 2002. 236 p. (In Russian)
- Vernadskij V.I.* Problemy biogeohimii [Biogeochemistry issues]. M.: Nauka, 1980. 320 p. (In Russian)
- Viers J., Dupre B., Gaillardet J.* Chemical composition of suspended sediments in World Rivers: new insights from a new database // *Sci. Tot. Envir.*, 2009, Vol. 407. Iss. 2. P. 853–868.
- Zhang W., Yu L., Hutchinson S.M., Xu S., Chena Z., Gao X.* China's Yangtze Estuary: I. Geomorphic influence on heavy metal accumulation in intertidal sediments // *Geomorphology*. Vol. 41. Issues 2–3. 15 November 2001. P. 195–205.
- Zwolsman John J.G., van Eck Gijsbertus T.M.* Geochemistry of major elements and trace metals in suspended matter of the Scheldt estuary, southwest Netherlands // *Marine Chemistry*. Vol. 66. Issues 1–2. July 1999. P. 91–111.

Received 21.05.2019

Revised 20.06.2019

Accepted 28.06.2019

## МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.79

Р.Н. Курбанов<sup>1</sup>, Т.А. Янина<sup>2</sup>, Э.С. Мюррей<sup>3</sup>, Д.В. Семиколенных<sup>4</sup>, М.И. Свистунов<sup>5</sup>, Е.И. Штыркова<sup>6</sup>

## ВОЗРАСТ КАРАНГАТСКОЙ ТРАНСГРЕССИИ (ПОЗДНИЙ ПЛЕЙСТОЦЕН) ЧЕРНОГО МОРЯ

Карангатская трансгрессия – значительная вежа в плейстоценовой истории Черного моря, крупная межледниковая трансгрессия с уровнем, превышающим современный на 6–7 м и с максимальной в плейстоцене соленостью. В хронометрической оценке возраста этого события единства среди исследователей в настоящее время нет. В работе представлены результаты датирования методом оптически-стимулированной люминесценции (ОСЛ) карангатских отложений, вскрытых в стратотипическом разрезе Эльтиген на западном берегу Керченского пролива. Разрез является благоприятным объектом для изучения ОСЛ методом, так как слагающие его отложения в генетическом отношении представлены преимущественно оловым (лессовидные субаэральные осадки) и прибрежно-морским материалом, характеризующимся полной засветкой зерен кварца и полевого шпата. Датирование выполнено параллельно как по кварцу, так и по полевоому шпату, хронология получена по трем протоколам (ОСЛ, IR<sub>50</sub>, pIRIR<sub>290</sub>) для каждого образца, что позволяет считать полученные даты надежными. Получены 8 датировок, шесть из них характеризуют морской этап развития территории, две – континентальный. Биостратиграфический анализ малакофауны подтвердил принадлежность вскрытых в разрезе морских отложений карангатской трансгрессии Черного моря. В разрезе отражены две фазы развития карангатской трансгрессии. Ранняя развивалась в интервале 131–120 тыс. лет назад (МИС 5e). Уровень моря поднимался со скоростью около 32 см/тыс. лет; достиг +3,6 м абс. выс. Поздняя фаза трансгрессии протекала в период 120–100 тыс. лет назад (МИС 5d-c). Подъем уровня моря происходил со скоростью 12,5 см/тыс. лет. Максимальных значений ~6,45 м достиг 105–100 тыс. лет (МИС 5c). Учет масштаба неотектонических движений позволит более точно определить максимальную отметку уровня моря. Карангатский бассейн на протяжении его развития характеризовался неоднородными условиями среды: от умеренно соленых (15–17‰) на начальных этапах, до соленых (28–30‰) по мере развития трансгрессии, и вновь до умеренно соленых (17–18‰) при начавшемся снижении уровня. Субаэральная стадия осадконакопления на побережье началась не позднее 72±8 тыс. лет назад. Нижняя из вскрытых разрезом погребенных почв образовалась в интервале 72–68 тыс. лет, очевидно, в эпоху межстадиального потепления внутри валдайской ледниковой эпохи (МИС 4).

*Ключевые слова:* Керченский полуостров, разрез Эльтиген, фазы трансгрессии, ОСЛ датирование, палеогеографические реконструкции

**Введение.** Карангатская трансгрессия – значительная вежа в плейстоценовой истории Черного моря, крупная межледниковая трансгрессия с уровнем, превышающим современный на 6–7 м и с максимальной в плейстоцене соленостью. Ее отложения распространены широко, поэтому палеогеография этого бассейна достаточно полно изучена [Андрусов, 1903, 1904; Архангельский, Страхов, 1938; Невеская, 1965; Федоров, 1963, 1978; Островский с соавт., 1977; Чепалыга, 1997; Чепалыга с соавт., 1989; Попов, 1983; Геология шельфа ..., 1981;

Зубаков с соавт., 1982; Зубаков, 1986, 1987; История геологического развития ..., 1988; Янко, 1989; Янко и др., 1990; Маркова, Михайлеску, 1990; Невеская, Измайлов, 1995; Свиточ с соавт., 1998, 2001; Свиточ, 2009; Динамика ландшафтных ..., 2002; Dodonov et al., 2000; Сорокин, 2011; Янина, 2012; Yanina, 2014 и др.].

Карангатская трансгрессия была двухфазной. В раннюю фазу ее развития – тобечикскую [Невеская, 1965] – в области Черного моря распространились виды, свойственные для него и в наши дни

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* roger.kurbanov@gmail.com

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор; лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, зав. лабораторией, докт. геогр. н.; *e-mail:* paleo@inbox.ru

<sup>3</sup> Орхусский университет, Дания, отдел геонаук, Северная Люминесцентная лаборатория, профессор; *e-mail:* andrew.murray@geo.au.dk

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, студент; *e-mail:* Dasha.Semikolennykh@gmail.com

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, кафедра оптики и спектроскопии, студент; *e-mail:* svistunovmihail@rambler.ru

<sup>6</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра региональной геологии и истории Земли, студент; *e-mail:* lenobl1996@gmail.com

(*Cerastoderma glaucum*, *Abra ovata*, *Paphia* и др.). Поскольку осадки этой трансгрессивной фазы в основном вскрыты бурением и очень редко встречаются в области современной суши, авторы предполагают отрицательные или близкие современным отметки уровня карангатского бассейна в тобечикскую фазу его развития. Палеомагнитные исследования выявили в данных слоях аномальный эпизод Блейк [Dodonov et al., 2000]. Отмечаются находки млекопитающих шкурлатовского комплекса [Динамика ландшафтных ..., 2002].

Вторая фаза трансгрессии характеризуется обогащением ее малакофаунистического состава более соленолобными видами. В максимум трансгрессии наряду с формами, ныне живущими в Черном море, распространились стеногалинные виды, которые в настоящее время не наблюдаются – *Cardium tuberculatum*, *Dosinia lupinus*, *D. exoleta*, *Ensis ensis*, *Barbatia barbata* и др. Наличие данных видов свидетельствует о солености около 30‰ в открытой части карангатского бассейна. Высокая соленость была характерна не только для открытой части моря, но и для южной части Азовского моря, Манычского пролива и Донского лимана [Невеская, 1965]. Карангатская трансгрессия отличалась также тепловодностью, о чем свидетельствует не только таксономический состав малакофауны, но и тепловодные субтропические виды диатомей [Жузе и др., 1980]. Спорово-пыльцевые спектры также указывают на значительное потепление [Коренева, 1982; Вронский, 1976].

Границы моря превышали границы современного Азово-Черноморского бассейна, оно проникало на десятки километров вверх по долинам равнинных рек, залив карангатского моря распространялся на восток до водораздела Восточного и Западного Манычей [Попов, 1983; Янина, 2012; Курбанов и др., 2018]. В нем обитали *Cerastoderma glaucum*, *Paphia senescens*, *Ostrea edulis*, *Loripes lacteus*.

В отношении возраста карангатской трансгрессии (карангатских отложений) существуют различные мнения. Преобладает точка зрения, ведущая начало от трудов Н.И. Андрусова [1904], согласно которой карангатские отложения синхронны тирренским в Средиземном море и относятся к рисс-вюрмскому (земскому, микулинскому) межледниковью, сопоставляемому ныне либо с МИС (морская изотопная стадия) 5e (*Eemiam sensu stricto*, 128–115 тыс. лет назад), либо со всей МИС 5 (*Eemiam sensu lato*, 128–74 тыс. лет назад). Предпринимались неоднократные попытки получения «абсолютного» возраста этой трансгрессии. Большинство полученных торий-урановым методом датировок находится во временном промежутке 129–70 тыс. лет [Арсланов и др., 1975, 1983; Арсланов, 1987; Несмеянов, Измайлов, 1995]. В стратотипическом разрезе (мыс Карангат) карангатские осадки его средней части имеют возраст 80–95 тыс. лет [Несмеянов, Измайлов, 1995]. В лектостратотипе карангата – разрезе Эльтиген (западный берег Кер-

ченского пролива) серия торий-урановых датировок показала возраст максимальной стадии трансгрессии в 140–70 тыс. лет [Арсланов и др., 1975, 1983; Чепалыга, 1997; Динамика ..., 2002]. Однако датировки, полученные по внешней и внутренней фракциям одних и тех же раковин моллюсков, разнятся в значениях до 20 тыс. лет [Никонов и др., 1999]; часто наблюдаются инверсии дат. Встречается довольно большое количество датировок, характеризующих слои с теплолюбивой фауной в интервале 70–35 тыс. лет [Арсланов и др., 1983; Никонов и др., 1999]. Следовательно, уран-ториевые даты нельзя считать устойчивыми.

Серия «молодых» датировок была получена радиоуглеродным методом, что заведомо нельзя принимать во внимание из-за возрастных ограничений метода. ЭПР (электронно-парамагнитный резонанс) методом на северо-восточном берегу Чокракского озера для отложений первой половины трансгрессии получена датировка 121±11 тыс. лет, для второй – 90–70 тыс. лет [Никонов и др., 1999]. Термолюминесцентным методом получены даты около 300 тыс. лет назад, которые их авторы считают валидными [Зубаков и др., 1987]. Таким образом, единства в хронометрической оценке возраста карангатских отложений в настоящее время нет. Задача получения обоснованной хронологии развития карангатской трансгрессии остается актуальной. Ее решение имеет большое значение для понимания причин этого события, его связи с глобальным подъемом уровня Мирового океана, развитием Босфорского пролива и глубокого ингрессионного залива в западной части Манычской депрессии.

Нами выполнено датирование методом оптически-стимулированной люминесценции (ОСЛ) карангатских отложений Черного моря, вскрытых в стратотипическом разрезе Эльтиген на восточном побережье Керченского полуострова (западном берегу Керченского пролива) (рис. 1). ОСЛ датирование этих отложений выполнено впервые. Его результаты позволяют внести ясность в оценку возраста ключевого события плейстоценовой истории Черного моря.

**Материал и методика исследований.** Разрез Эльтиген – один из самых представительных разрезов морского карангата в Черноморской области. Он находится к северу от основания пересыпи, отделяющей Тобечикское озеро от моря, и вскрывает толщу (около 15 м) прибрежно-морских отложений, залегающих на размытой поверхности сарматских глин. На протяжении нескольких километров вдоль берега пролива в разрезе карангатские отложения представляют собой сложно построенные прибрежно-морские, в основном песчано-ракушечные образования, включающие многочисленные раковины моллюсков. Перекрываются они субэдральной лёссовидной толщей, с двумя слабо выраженными почвенными горизонтами. Разрез неоднократно изучался [Андрусов, 1904; Федоров, 1963, 1978; Невеская, 1965; Попов, 1983; Динамика ..., 2002; Dodonov et al., 2000; Свиточ, 2009]; П.В. Федоровым [1963]

он предложен в качестве стратотипа для карангатских отложений.

Нами выполнено фациально-литологическое описание разреза, проведено изучение вскрытых осадков малакофаунистическим и геохронологическим методами. Анализ малакофауны (изучение тафономических особенностей раковинного материала, его систематический и статистический анализ) выполнен с целью биостратиграфического обоснования геологического возраста осадков и понимания палеоэкологических условий их накопления.

Абсолютная хронология получена методом ОСЛ. Люминесцентное датирование нашло в последнее время широкое применение в практике геохронологических исследований четвертичных отложений, методика датирования обоснована в большом количестве работ [Aitken, 1985]. Датирование разновозрастных отложений разреза Эльтиген выполнено в Северной люминесцентной лаборатории Орхусского университета. Отбор образцов выполнялся по стандартной методике в светонепроницаемые пакеты, отдельно отбирался материал для гамма-спектрометрического анализа. Предварительная подготовка проб проводилась в НИ лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена по принятому в Орхусском университете протоколу. Образцы из карангатских отложений представлены в основном песками различной зернистости и сортированности; из перекрывающего их лёссовидного покрова – суглинками и супесями в разной степени опесчаненными. Методом влажного ситования получена фракция зерен размерностью 180–250 микрон. После последовательной обработки раствором перекиси водорода, соляной и плавиковой кислот, выполнено разделение кварца и калиевых полевых шпатов сепарационным методом при помощи тяжелой жидкости (поливольфрамат натрия).

Люминесцентное датирование выполнялось по новейшей методике, которая включает в себя получение хронологии по трем протоколам на основе принципа регенерации единичных аликвот [Murray, Wintle, 2003]. По кварцу (Q) измерение люминесценции проводилось для 18–24 аликвот в результате стимуляции голубым светом при 125°C, с предварительным нагревом до 260°C [Murray, Wintle, 2003]. Для полевых шпатов стимуляция производилась инфракрасным источником, получены измерения по двум протоколам для 50°C (IR<sub>50</sub>) и 290°C (pIRIR<sub>290</sub>) [Thiel et al., 2011]. Ввиду высокой стабильности люминесцентного сигнала в полевых шпатах измерения выполнялись для 6–12 навесок. Все измерения выполнялись на стандартном ТЛ/ОСЛ-ридере Riso (модель DA-20). Для построения кривой насыщения и определения эквивалентной дозы зерна подверглись воздействию излучения бета-источника – изотопа стронция-90. Определение скорости накопления дозы (активности радионуклидов) в образцах выполнено на высокоточном гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором на основе особо чистого германия по методике A.S. Murray et al. [1987].



Рис. 1. Керченский пролив. Местоположение разреза Эльтиген

Fig. 1. The Kerch Strait. Location of the Eltigen section

Получение для каждого образца трех датировок по двум различным минералам позволяет выявить результаты с явным удревнением [Murray et al., 2012]. Как известно, возможная неполная засветка зерен ведет к сохранению в образце энергии, накопленной в предыдущий цикл осадконакопления, и, таким образом, удревнению получаемого в результате датирования возраста. Это явление – один из недостатков люминесцентного датирования и зачастую приводит к появлению инверсий. В последнее время был предложен путь выявления таких удревненных датировок путем параллельного датирования по кварцу и полевому шпату. В связи с тем, что в полевых шпатах может быть накоплено энергия (около 1500 Грей), на порядок превышающая емкость кристаллической решетки кварца (150–200 Грей), в ходе геологического транспорта требуется значительно больше времени для полного обнуления [Murray et al., 2012]. Протокол измерений при 290°C позволяет измерить наиболее стабильный для полевых шпатов сигнал, требующий, однако, значительного времени для обнуления (более суток). Однако сигнал pIRIR<sub>290</sub> не подвержен явлению аномального угасания сигнала в полевых шпатах, который может существенно омолаживать возраст [Buylaert et al., 2012]. Результаты многочисленных измерений показали, что датировка, полученная по pIRIR<sub>290</sub>, не подвержена явлению аномального затухания сигнала и является наиболее надежной, при учете возможного сохранения палеодозы в результате неполной засветки. В то же время измерения при 50°C регистрируют электроны из самых нестабильных ловушек, которые в результате воздействия света высвобождаются быстрее всего (за первые секунды); при этом отмечаются максимально высокие значения аномального затухания сигнала [Thomsen et al., 2008].

Таким образом, датирование по трем протоколам позволяет выполнить сравнение результатов и

осуществить градацию итоговых результатов по степени надежности. Доказано [Murray et al, 2012], что наиболее надежными определениями абсолютного возраста методом ОСЛ являются результаты с соотношением датировок  $Q/pIRIR_{290}$  в диапазоне 0,9–1,2, а также  $Q/IR_{50}$  для значений 0,5–0,7. Несмотря на то, что образцы из прибрежно-морских и лесовидных отложений считаются наиболее подходящими для ОСЛ датирования, нами выполнено более длительное и трудозатратное исследование по кварцу и полевым шпатам ввиду значимости стратотипического разреза карангат для раскрытия особенностей истории развития Черного моря.

#### Результаты исследований и их обсуждение.

В разрезе Эльтиген (рис. 2) в основании (слой 1) вскрываются сизые глины видимой мощностью около 1,5 м; их кровля находится на глубине 12 м. Выше

с резкой эрозионной границей в интервале 12,0–10,8 м, залегают светлые, коричнево-бурые пески с горизонтальной и косой слоистостью (слой 2), уплотненные, с обильным включением гальки и раковин моллюсков. Над ними, до глубины 8,8 м, вскрываются менее плотные пески с преимущественно косой слоистостью и обильными включениями раковин моллюсков (слой 3). В интервале 8,8–5,7 м (слой 4) наблюдаются светло-коричневые плохосортированные пески с обильными включениями фаунистического материала, имеющими упорядоченный характер – выделяются отдельные слои с разной степенью насыщенности раковинами моллюсков. Слой 5 в интервале 5,7–5,2 м представлен косослоистыми палевыми песками с включением детрита раковин моллюсков. Выше в разрезе вскрываются (слой 6) лёссовидные суглинки с двумя-тремя слабо выра-

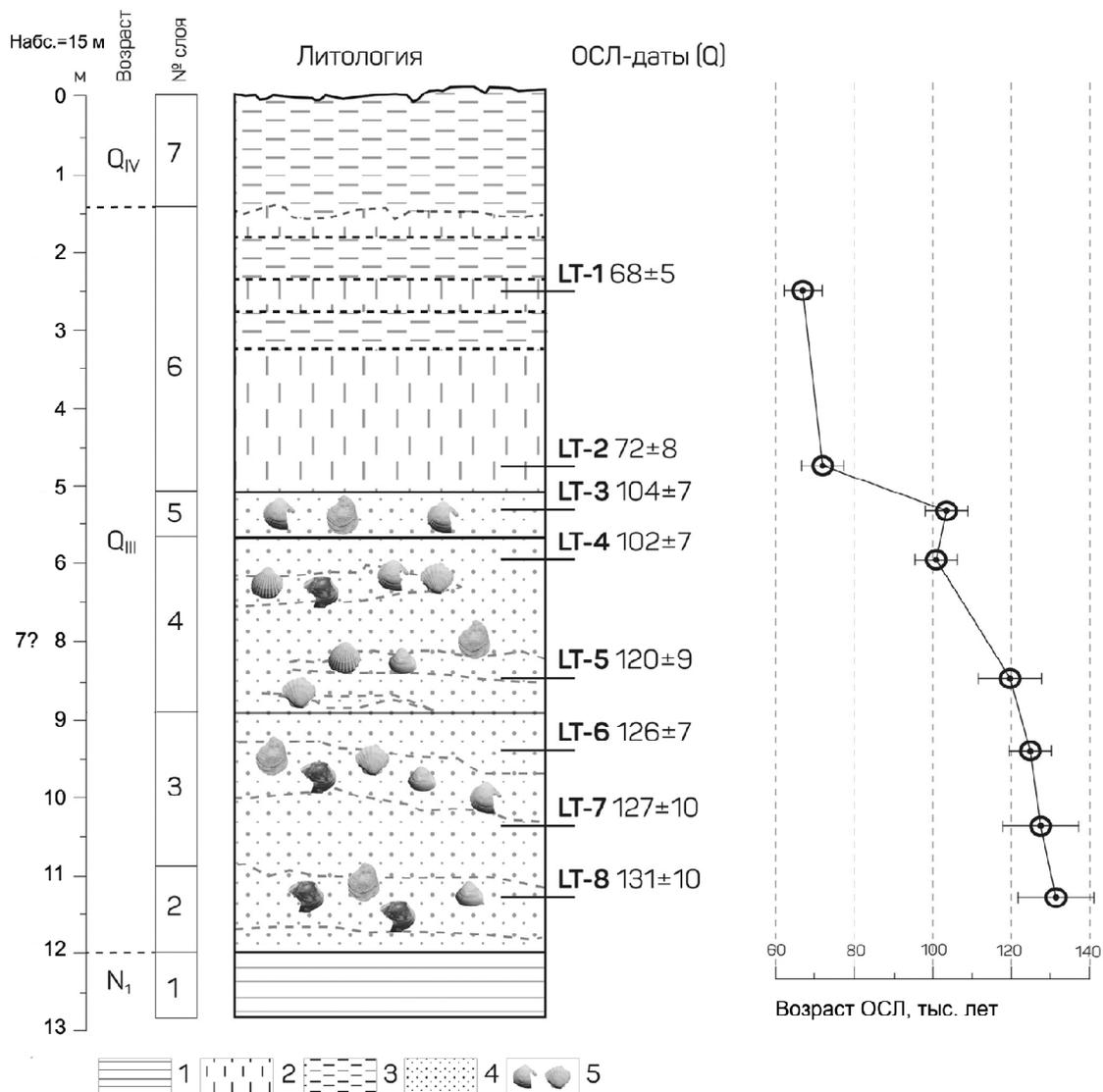


Рис. 2. Строение разреза Эльтиген и результаты ОСЛ датирования; 1 – глина, 2 – суглинок, 3 – супесь, 4 – песок, 5 – раковинный материал

Fig. 2. Structure of the Eltigen section and results of the OSL-dating; 1 – clay, 2 – loam, 3 – sandy loam, 4 – sand, 5 – shell material

женными палеопочвенными горизонтами. С глубины 1,4 м по ним развита (слой 7) современная почва.

Результаты малакофаунистического анализа отложений представлены в таблице 1.

Состав фаунистических группировок, включающий как эвригалинных, так и стеногалинных представителей средиземноморской фауны, свидетельствует о карангатском возрасте отложений. Анализ экологических предпочтений видов (рис. 3) указывает на значительное содержание стеногалинных и умеренно стеногалинных видов в нижней и средней части карангатской толщи и присутствие самого соленолобивого вида (соленость около 30‰) *Cardium tuberculatum* в интервале 7,70–7,75 м. В верхней части толщи наблюдается переход состава фаунистического сообщества от преимущественно стеногалинного к эвригалинному и умеренно эвригалинному.

Такой состав фауны свидетельствует о неоднородности условий среды в бассейне на протяжении его развития. На начальных этапах осадконакопления бассейн был умеренно соленым (15–17‰). По мере развития трансгрессии его соленость повысилась до 28–30‰. Накопление осадков верхней части карангатской толщи происходило в условиях некоторого опреснения моря (до 17–18‰) – очевидно,

его обмеления, вплоть до полного исчезновения из этого района и усиления опресняющего влияния озера-реки Тобечик.

Для определения абсолютного возраста карангатской трансгрессии методом люминесцентного датирования в разрезе была отобрана серия из восьми образцов: шесть из прибрежно-морских отложений (ЛТ 3–8) и два из вышележащей лёссово-почвенной толщи. Для всех образцов измерения выполнялись по трем протоколам.

Люминесцентный сигнал по кварцу измерялся для 24 навесок. Результаты измерений (табл. 2) показали доминирование быстрого компонента во всех образцах. Кривая насыщения строилась по пяти точкам в результате облучения бета-источником фиксированной дозой: 75, 150, 200, 0, 75 Грей для образцов из лёссово-почвенной толщи и 25, 75, 125 Грей для остальных. Дозы по кварцу оказались в пределах 165 Грей. Для полевых шпатов выполнялись измерения для 6–12 навесок (в зависимости от объема полученных зерен) по протоколу, включающему в себя регистрацию люминесцентного отклика при нагреве 50°C (IR<sub>50</sub>) и 290°C (pIRIR<sub>290</sub>). Построение кривой насыщения выполнялось по пяти точкам: 100, 200, 300, 0, 100 Грей.

Для верхних двух образцов дозы оказались значительными (130–163 Грей), при этом в образце

Таблица 1

Малакофаунистический состав отложений разреза Эльтиген\*

Интервал, м	Малакофаунистический состав
6,10–6,20	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
6,50–6,55	<i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Spisula subtruncata</i> , <i>Solen vagina</i> , <i>Ostrea edulis</i>
6,70–6,90	<b><i>Mytilus galloprovincialis</i></b> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i>
7,00–7,20	Детрит, <i>Chione gallina</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <b><i>Ostrea edulis</i></b>
7,20–7,40	Детрит, обломки <i>Abra ovata</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
7,30–7,60	<i>Chione gallina</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <b><i>Abra ovata</i></b> , <b><i>Spisula subtruncata</i></b>
7,70–7,75	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <b><i>Abra ovata</i></b> , <i>Chione gallina</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Cardium tuberculatum</i> , <i>Solen vagina</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
8,00–8,10	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <b><i>Abra ovata</i></b> , <i>Spisula subtruncata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Paphia rugata</i>
8,20–8,25	Детрит, обломки <i>Chlamys glabra</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Paphia discrepans</i> , <i>Cerastoderma glaucum</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i> , <i>Spisula subtruncata</i>
9,00–9,10	<i>Chlamys glabra</i> , <i>Chione gallina</i> , <i>Abra ovata</i>
9,30–9,35	<b><i>Chlamys glabra</i></b> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chione gallina</i>
9,50–9,55	<i>Ostrea edulis</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <b><i>Abra ovata</i></b> , <i>Chione gallina</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>
9,80–9,85	<i>Solen vagina</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Chlamys glabra</i> , <i>Chione gallina</i>
10,00–10,10	<b><i>Chlamys glabra</i></b> , <b><i>Ostrea edulis</i></b> , <i>Abra ovata</i> , <b><i>Chione gallina</i></b> , <i>Spisula subtruncata</i>
11,20–11,25	<b><i>Chlamys glabra</i></b> , <i>Abra ovata</i> , <i>Spisula subtruncata</i> , <i>Ostrea edulis</i> , <i>Chione gallina</i>
11,40–11,45	<b><i>Ostrea edulis</i></b> , <i>Abra ovata</i> , <i>Paphia rugata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>
11,70–11,75	<b><i>Ostrea edulis</i></b> , <i>Chione gallina</i> , <i>Abra ovata</i> , <i>Mytilus galloprovincialis</i>

\* Полу жирным начертанием выделены преобладающие виды.

Интервал, м	Эвригалинные						12–16	17–18	>13	17–18	>28
	<i>Cerastoderma glaucum</i>	<i>Chione gallina</i>	<i>Paphia discrepans</i>	<i>Solen vagina</i>	<i>Abra ovata</i>	<i>Mytilus galloprovincialis</i>	%	%	%	%	%
6,10–6,20											
6,50–6,55											
6,70–6,90											
7,00–7,20											
7,20–7,40											
7,30–7,60											
7,70–7,75											
8,00–8,10											
8,20–8,25											
9,00–9,10											
9,30–9,35											
9,50–9,55											
9,80–9,85											
10,00–10,10											
11,20–11,25											
11,40–11,45											
11,70–11,75											

Рис. 3. Экологический состав карангатской малакофауны разреза Эльтиген\*  
\* Оттенками серого показано относительное количество раковин вида в слое

Fig. 3. Ecological composition of the Karangat malacofauna of the Eltigen section\*  
\* Shades of grey indicate relative amount of shells of a certain species in a layer

№ 170832 из 24 алиquot 4 оказались в состоянии максимального насыщения, что указывает на возможное омоложение итоговой датировки в 72 тыс. лет, а также относительно высокий доверительный интервал в 8 тыс. лет. При этом верхняя датировка по кварцу оказалась весьма надежной ( $68 \pm 5$  тыс. лет) и в значительной степени совпала с датой по полевым шпатам ( $70 \pm 6$  тыс. лет) с учетом доверительных интервалов. Таким образом, соотношение  $pIRIR/Q$  оказалось равным  $1 \pm 0,1$ , что указывает на достаточную длительность засветки материала до момента осадконакопления, что в целом характерно для лёссово-почвенных серий. Близкие к единице соотношения датировок по кварцу и полевым шпатам были получены и для остальных образцов. При этом отмечается высокая стабильность сигнала (отбраковано не более 2–3 алиquot ввиду аномального сигнала, либо признаков нарушения SAR протокола). Расположение доверительных интервалов измерения накопленной дозы в пределах 10% и результаты стандартных тестов (восстановление дозы 1,02–1,05), в совокупности со сходимостью результатов по кварцу и полевым шпатам, указывают на высокую надежность полученной хронологии. В данном разрезе для анализа возраста отложений

по причине высокой сходимости могут быть использованы обе хронологии – как по кварцу, так и по протоколу  $pIRIR_{290}$ , однако в практике люминесцентного датирования принято считать приоритетными результаты по кварцу.

Скорость накопления дозы рассчитана по результатам измерения активности образцов на гамма-спектрометре (табл. 2). Для образцов № 170831–32 отмечаются характерные для лёссовидных отложений высокие содержания  $^{226}Ra$ ,  $^{232}Th$  и  $^{40}K$  со средними значениями около 2 Грей/тыс. лет для кварца и 3 Грей/тыс. лет для полевых шпатов. Показатели активности для прибрежно-морских песков оказались закономерно низкими (меньше 1 Грей/тыс. лет для кварца и около 2 Грей/тыс. лет для полевых шпатов) ввиду хорошей сортированности материала, а также большого содержания карбоната кальция в виде раковин моллюсков и оолитовых зерен (что ведет к значительному снижению содержания радиоактивных нуклидов) [Murray et al, 1987].

Оценка уровня водонасыщения имеет важное значение для расчета итоговых датировок. Так, увеличение водонасыщения на 1% ведет к удревнению возраста на 1%. Для изученных в разрезе отложений оценка этого показателя производилась на ос-

Таблица 2

Результаты гамма-спектрометрического анализа. Содержание радиоактивных элементов в образце и скорость накопления дозы для кварца и полевых шпатов

№	Лабораторный номер	Глубина, см	Слой в разрезе	Водонасыщение, %	<sup>226</sup> Ra, Бк/кг <sup>-1</sup>			<sup>232</sup> Th, Бк/кг <sup>-1</sup>			<sup>40</sup> K, Бк/кг <sup>-1</sup>			Скорость накопления дозы					
														Кварц, Грей в тыс. лет			Полевые шпаты, Грей в тыс. лет		
1	170 831	400	Лёсс	10	29	±	1,1	30	±	0,9	355	±	15	1,99	±	0,09	2,93	±	0,11
2	170 832	480	Лёсс	10	33	±	0,6	35	±	0,7	406	±	11	2,26	±	0,10	3,20	±	0,12
3	170 833	570	Карангат	5	17	±	0,2	15	±	0,2	98	±	2	0,92	±	0,04	1,85	±	0,08
4	170 834	650	Карангат	5	15	±	0,3	9	±	0,3	103	±	5	0,79	±	0,04	1,72	±	0,07
5	170 835	820	Карангат	5	15	±	0,5	6	±	0,5	72	±	6	0,64	±	0,03	1,58	±	0,07
6	170 836	920	Карангат	5	12	±	0,2	7	±	0,1	84	±	1	0,63	±	0,03	1,57	±	0,07
7	170 837	1080	Карангат	5	8	±	0,4	7	±	0,4	37	±	8	0,43	±	0,03	1,37	±	0,07
8	170 838	1180	Карангат	5	28	±	0,5	10	±	0,4	42	±	5	0,78	±	0,04	1,72	±	0,08

нове учета размера частиц (меньшие значения для песков и большие для лёссовидных отложений), длительности воздействия грунтовых вод (чем ближе к уровню моря, тем продолжительнее) и современных климатических условий Крыма. Таким образом, для лёссово-почвенных отложений верхней части разреза принята оценка в 10%, а для прибрежно-морских песков в 5% (табл. 2).

Результаты датирования лёссово-почвенной толщи (см. рис. 2), перекрывающей карангатские отложения, позволяют предположить возраст начала ее формирования около 72±8 тыс. лет назад. Горизонт лёсса в средней части разреза сформировался 68±5 тыс. лет. назад. Таким образом, начало этапа субаэрального осадконакопления в районе разреза Эльтиген отвечает калининской ледниковой эпохе на Восточно-Европейской равнине, эпохе глобального похолодания МИС (морская изотопная стадия) 4. Нижняя из двух установленных в разрезе погребенных почв образовалась в интервале 72–68 тыс. лет, что соответствует короткой фазе потепления в начале эпохи МИС 4 – кетроский межстадиал (?), датированный в ~65 тыс. л. н. [Molodkov, Bolikhovskaya, 2002; Болиховская, 2007].

Образцы из прибрежно-морских отложений (№ 170833–170838) характеризуются высокой стабильностью сигнала и большим количеством принятых аликвот; измеренная доза для кварца оказалась в пределах 50–100 Грей, формируя компактную группу. Отмечаются относительно высокие показатели накопленной дозы для образцов в верхней части морской толщи (80–95 Грей), очевидно, из-за примеси материала из вышележащих отложений, а также в нижней (100 Грей) части разреза. Верхние два образца (№ 170833 и 170834) выделяются более высокими показателями соотношения pIRIR/Q, равным 1,1–1,2, т. е. возраст по полевым шпатам на 10–20% более древний, чем по кварцу. Этот факт свидетельствует о неполной засветке полевых шпатов в момент формирования переходного от прибрежно-

но-морских к лёссовидным отложениям слоя на глубинах 5,7–6,5 м. В связи с этим, на первый взгляд, в хронологии отмечается наличие инверсии в средней части разреза: 104±7 тыс. лет (№ 170833), однако с учетом доверительного интервала возраст формирования отложений на глубине 5,7–6,5 м может быть принят как 100–105 тыс. лет назад.

Таким образом, отложения в интервале глубин 5,7–6,5 м соответствуют моменту выхода территории из-под влияния моря, что, по-видимому, произошло в геологическом отношении достаточно быстро (около 100–105 тыс. лет назад). Возможная активизация эрозионных процессов в этот момент могла быть причиной значительного увеличения поступающего в береговую зону материала и привноса слабозасвеченных зерен полевого шпата.

Для нижней части разреза, представленной типичными прибрежно-морскими косослоистыми песками с многочисленной фауной моллюсков, получено четыре датировки (№ 170835–170838). Они характеризуются полным соответствием возраста по кварцу и по полевым шпатам (табл. 3), что отвечает представлениям о длительной засветке зерен при циклическом перемещении материала в береговой зоне. Возраст формирования этой толщи оценивается нами в 131–120 тыс. лет назад. Подъем уровня моря в этот период происходил, очевидно, с относительно высокой скоростью, в среднем около 32 см/тыс. лет (около 3 см в год). Данный период характеризуется наиболее выраженными межледниковыми условиями (МИС 5e). Пиковая фаза трансгрессии приходится на период 105–100 тыс. лет, скорость подъема уровня моря сократилась до 12,5 см/тыс. лет (около 1 см в год), высота подъема уровня составила ~6,45 м. В климатическом отношении это эпоха верхневожжского (крутицкого) интерстадиала (МИС 5c). Последующее похолодание привело к снижению уровня и началу периода континентального развития территории.

## Результаты ОСЛ-датирования для кварца

№	Номер образца	Лаб. номер	Глубина, см	Слой в разрезе	Измерения по кварцу (Q)						
					Доза, Грей			Возраст, тыс. лет			Кол-во аликвот
1	LT-1	170 831	400	Лёсс	135	±	8	<b>68</b>	±	<b>5</b>	19
2	LT-2	170 832	480	Лёсс	163	±	17	<b>72</b>	±	<b>8</b>	19
3	LT-3	170 833	570	Карангат	95	±	4	<b>104</b>	±	<b>7</b>	24
4	LT-4	170 834	650	Карангат	80	±	4	<b>102</b>	±	<b>7</b>	17
5	LT-5	170 835	820	Карангат	77	±	4	<b>120</b>	±	<b>9</b>	22
6	LT-6	170 836	920	Карангат	79	±	2	<b>126</b>	±	<b>7</b>	19
7	LT-7	170 837	1080	Карангат	54	±	2	<b>127</b>	±	<b>10</b>	22
8	LT-8	170 838	1180	Карангат	102	±	5	<b>131</b>	±	<b>10</b>	20

Следует отметить, что полученные результаты об уровне моря и скоростях осадконакопления в эпоху карангатской трансгрессии Черного моря необходимо рассматривать «с оглядкой» на неотектонические движения в южной части Керченского полуострова, учитывая их направленность и скорость. Имеющиеся материалы свидетельствуют о незначительном опускании территории в позднем плейстоцене [Геология СССР, 1969].

**Выводы:**

– отложения стратотипического разреза черноморского карангата Эльтиген изучены фаунистическим и методом оптически стимулированной люминесценции. Получено восемь датировок, характеризующих разные этапы развития территории: две из них отражают континентальный этап, шесть датировок – морской. Биостратиграфический анализ малакофауны подтвердил принадлежность вскрытых в разрезе морских отложений карангатской трансгрессии Черного моря;

– разрез Эльтиген является хорошо подходящим объектом для изучения методом оптически стимулированной люминесценции, так как отложения, его слагающие, в генетическом отношении представляют собой преимущественно эоловый (лессовидные субаэральные осадки) и прибрежно-морской материал, характеризующийся наиболее полной засветкой зерен кварца и полевого шпата. ОСЛ датирование

выполнено параллельно как по кварцу, так и по полевоому шпату, хронология получена по трем протоколам (ОСЛ, IR<sub>50</sub>, pIRIR<sub>290</sub>) для каждого образца, что позволяет говорить о надежности полученных дат;

– в разрезе отражено две фазы развития карангатской трансгрессии. Ранняя развивалась в интервале 131–120 тыс. лет назад (МИС 5e). Уровень моря поднимался со скоростью около 32 см/тыс. лет; достиг +3,6 м (абс. выс.). Поздняя фаза трансгрессии протекала в период 120–100 тыс. лет назад (МИС 5d-c). Подъем уровня моря происходил со скоростью 12,5 см/тыс. лет. Максимальные значения (~6,45 м) уровня были достигнуты 105–100 тыс. лет назад (МИС 5c). Учет масштаба неотектонических движений позволит более точно определить максимальную отметку уровня моря;

– карангатский бассейн на протяжении его развития характеризовался неоднородными условиями среды: от умеренно соленых (15–17‰) на начальных этапах, до соленых (28–30‰) по мере развития трансгрессии, и вновь до умеренно соленых (17–18‰) при начавшемся снижении уровня;

– субаэральная стадия осадконакопления началась не позднее 72±8 тыс. лет назад. Нижняя из вскрытых разрезом погребенных почв образовалась в интервале 72–68 тыс. лет назад, очевидно, в эпоху межстадиального потепления валдайской ледниковой эпохи (МИС 4).

**Благодарности.** Полевые и малакофаунистические исследования выполнены при финансовой поддержке проекта РФФ № 16-17-10103. ОСЛ датирование проведено за счет гранта РФФИ № 18-05-00296. Авторы выражают благодарность Я.А. Измайлову и В.В. Янко-Хомбах за конструктивное обсуждение материалов.

Таблица 3

**И ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ И ИХ СООТНОШЕНИЯ**

Измерения по полевым шпатам (Fs)												Возрастные соотношения							
Протокол pIRIR <sub>290</sub>						Протокол IR <sub>50</sub>						Кол-во аликвот	pIRIR/Q			IR/Q			Кварцевые зерна засвечены
Доза, Грей			Возраст, тыс. лет			Доза, Грей			Возраст, тыс. лет										
206	±	7	<b>70</b>	±	<b>6</b>	137	±	3	47	±	2	12	1,0	±	0,1	0,7	±	0,1	✓
248	±	7	<b>78</b>	±	<b>6</b>	147	±	10	46	±	3	8	1,1	±	0,1	0,6	±	0,1	✓
218	±	19	<b>118</b>	±	<b>12</b>	105	±	22	56	±	12	5	1,1	±	0,1	0,5	±	0,1	✓
219	±	7	<b>127</b>	±	<b>7</b>	155	±	9	90	±	6	6	1,2	±	0,1	0,9	±	0,1	✓
200	±	8	<b>127</b>	±	<b>8</b>	99	±	5	63	±	4	6	1,1	±	0,1	0,5	±	0,1	✓
200	±	10	<b>128</b>	±	<b>9</b>	113	±	10	72	±	7	6	1,0	±	0,1	0,6	±	0,1	✓
176	±	8	<b>129</b>	±	<b>9</b>	90	±	4	66	±	5	6	1,0	±	0,1	0,5	±	0,1	✓
226	±	15	<b>132</b>	±	<b>11</b>	135	±	8	78	±	6	12	1,0	±	0,1	0,6	±	0,1	✓

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

*Андрусов Н.И.* Геологические исследования на Таманском полуострове // *Материалы для геологии России*. 1903. Т. XXI, № 2. С. 257–283.

*Андрусов Н.И.* О возрасте морских послетретичных террас Керченского полуострова // *Ежегодник по геологии и минерал. России*. Т. 7. Вып. 6. 1904–1905. С. 158–172.

*Арсланов Х.А.* Радиоуглерод: геохимия и геохронология. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1987. 300 с.

*Арсланов Х.А., Балабанов И.П., Гей Н.А. и др.* О возрасте и климатических условиях формирования осадков позднплейстоценовых морских террас побережья Керченского пролива // *Вестник ЛГУ*. 1983. № 12. С. 69–79.

*Арсланов Х.А., Герасимова С.А., Измайлов Я.А.* О возрасте голоценовых и верхнеплейстоценовых отложений черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманского района // *Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода*. 1975. № 44. С. 107–110.

*Архангельский А.Д., Страхов Н.М.* Геологическое строение и история развития Черного моря. М-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 226 с.

*Болховская Н.С.* Пространственно-временные закономерности развития растительности и климата Северной Евразии в неоплейстоцене // *Археология, этнография и антропология Евразии*. 2007. Т. 4. № 32. С. 2–28.

*Вронский В.А.* Маринопалинология южных морей. Ростов на Дону: Изд-во РГУ, 1976. 200 с.

Геология СССР. Том 8. Крым. Часть 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. 576 с.

Геология шельфа Украины. Керченский пролив. Киев: Наукова думка, 1981. 186 с.

Динамика ландшафтных компонентов и внутренних морских бассейнов Северной Евразии за последние 130 000 лет. М.: GEOS, 2002. 232 с.

*Жузе А.П., Коренева Е.В., Мухина В.В.* Палеогеография Черного моря по данным изучения диатомей и спорово-пыльцевого анализа глубоководных отложений // *Геологическая история Черного моря по результатам глубоководного бурения*. М.: Наука, 1980. С. 77–86.

*Зубаков В.А.* Глобальные климатические события плейстоцена. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 288 с.

*Зубаков В.А.* Новые материалы о стратиграфическом положении, объеме и возрасте карангата, эвксино-узулара и чауды // *Антропогенный период*. М.: Наука, 1987. С. 63–75.

*Зубаков В.А., Богаткина Н.В., Писаревский С.А.* Детальное расчленение, стратиграфический объем и возраст карангатского горизонта Причерноморья // *Докл. АН СССР*. Т. 267. 1982. № 2. С. 426–428.

История геологического развития континентальной окраины западной части Черного моря / Ред. П.Н. Куприн. М.: МГУ, 1988. 312 с.

*Коренева Е.В.* Палеоклиматы плейстоцена Причерноморья по палинологическим данным // *Тез. докл. XI конгресса ИНКВА*. М.: ВИНТИ, 1982. Т. 1. 128 с.

*Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей А., Борисова О.К.* Гирканский этап в позднплейстоценовой истории Маньчжурской депрессии // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2018. № 3. С. 77–88.

*Маркова А.К., Михайлеску К.Д.* Новое местонахождение терио- и малакофауны в микулинских отложениях низовьев Дуная // *Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода*. 1990. № 59. С. 94–101.

*Невеская Л.А.* Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология. М.: Изд-во АН СССР, 1965. 392 с.

*Несмеянов С.А., Измайлов Я.А.* Тектонические деформации черноморских террас Кавказского побережья России. М.: ПНИИС, 1995. 237 с.

*Никонов А.А., Васильев Ю.М., Молодьков А.Н., Накамура Т.* Об абсолютном возрасте карангатских отложений в бассейнах Черного и Азовского морей // *Доклады Академии наук*. 1999. Т. 364. № 5. С. 662–664.

*Островский А.Б., Измайлов Я.А., Щеглов А.П. и др.* Новые данные о стратиграфии и геохронологии плейстоценовых морских террас Черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманской области // *Палеогеография и отложения плейстоцена южных морей СССР*. М.: Наука, 1977. С. 61–68.

*Попов Г.И.* Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.

*Свиточ А.А.* Стратотипы карангата Таманского и Керченского полуостровов (сравнительный анализ) // *Доклады Академии наук*, 2009. Т. 424. № 5. С. 669–771.

*Свиточ А.А., Благодатских О.С., Большаков В.А., Янина Т.А.* Новые данные по малакофауне и палеомагнетизму опорных разрезов морского плейстоцена Таманского полуострова // *Доклады Академии наук*, 2001. Т. 376, № 1. С. 110–113.

Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Палеогеографические события плейстоцена Понто-Каспия и Средиземноморья (материалы по реконструкции и корреляции). М.: РАСХН, 1998. 288 с.

Сорокин В.М. Корреляция верхнечетвертичных отложений и палеогеография Черного и Каспийского морей // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2011. Т. 19. № 5. С. 96–112.

Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря // Тр. ГИН АН СССР. Т. 88. М.: Наука, 1963. 157 с.

Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.

Чепалыга А.Л. Детальная событийная стратиграфия плейстоцена Черного моря // Четвертичная геология и палеогеография России. М.: ГЕОС, 1997. С. 196–201.

Чепалыга А.Л., Михайлеску К.Д., Измайлов Я.А. и др. Проблемы стратиграфии и палеогеографии плейстоцена Черного моря // Четвертичный период. Стратиграфия. М.: Наука, 1989. С. 113–121.

Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: био-стратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 264 с.

Янко В.В. Четвертичные фораминиферы Понто-Каспия: Автореф. докт. дисс. Одесса, 1989. 48 с.

Янко В.В., Фролов В.Т., Мотненко И.В. Фораминиферы и литология стратотипического горизонта (антропоген Керченского полуострова) // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1990. Т. 65. Вып. 3. С. 85–97.

Aitken M.J. Thermoluminescence dating. Academic Press, London, 1985. 351 p.

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. № 41. P. 435–451.

Dodonov A.E., Tchepalyga A.L., Mihailescu C.D., Zhou L.P., Markova A.K., Trubikhin V.M., Simakova A.N., Konikov E.G. Last-interglacial records from central Asia to the northern Black Sea shoreline: stratigraphy and correlation // Netherlands Journal of Geosciences. 2000. Vol. 79. № 2–3. P. 303–311.

Molodkov A.N., Bolikhovskaya N.S. Eustatic sea-level and climate changes over the last 600 ka as derived from mollusc-based ESR-chronostratigraphy and pollen evidence in Northern Eurasia // Sedimentary Geology. 2002. № 150. P. 185–201.

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. № 47. P. 688–695.

Murray A.S., Wintle A.G. The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability // Radiation measurements. 2003. № 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. Articles. 1987. Vol. 115. № 2. P. 263–288.

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. № 234. P. 23–31.

Thomsen K.J., Murray A.S., Jain M., Bøtter-Jensen L. Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts // Radiation Measurements. 2008. № 43. P. 1474–1486.

Wintle A.G. Recent developments in optical dating of sediments // Radiation Protection Dosimetry. 1993. № 47. P. 627–635.

Yanina T.A. The Ponto-Caspian region: Environmental consequences of climate change during the late Pleistocene // Quaternary International. 2014. Vol. 345. P. 88–99.

Поступила в редакцию 07.12.2018

После доработки 20.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

R.N. Kurbanov<sup>1</sup>, T.A. Yanina<sup>2</sup>, A.S. Murray<sup>3</sup>,  
D.V. Semikolennykh<sup>4</sup>, M.I. Svistunov<sup>5</sup>, E.I. Shtyrkova<sup>6</sup>

#### THE AGE OF THE KARANGATIAN (LATE PLEISTOCENE) TRANSGRESSION OF THE BLACK SEA

The Karangatian transgression is a significant milestone in the Pleistocene history of the Black Sea. It was a large interglacial transgression reaching 6–7 m above the modern level and the highest salinity during the Pleistocene. At present absolute age of the event is debatable and there is no consensus among the researchers. The paper presents new dating results obtained by the optically-stimulated luminescence (OSL) of the Karangatian deposits represented in the Eltigen stratotype section on the western coast of the Kerch Strait. The section is a favorable object for OSL dating method, since the deposits are represented mainly by aeolian (loess-like subaerial sediments) and coastal-marine sediments, which are characterized by complete bleaching of quartz and feldspar grains. The chronology was obtained for both quartz and

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Recent Deposits and Pleistocene Paleogeography, Senior Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail*: roger.kurbanov@gmail.com

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Professor; Laboratory of Recent Deposits and Pleistocene Paleogeography, Head of the Laboratory, D.Sc. in Geography; *e-mail*: paleo@inbox.ru

<sup>3</sup> Aarhus University, Denmark, Department of Geosciences, Nordic Luminescence Laboratory, Professor; *e-mail*: andrew.murray@geo.au.dk

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, student; *e-mail*: Dasha.Semikolennykh@gmail.com

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Physical Faculty, Department of Optics and Spectroscopy, student; *e-mail*: svistunovmihail@rambler.ru

<sup>6</sup> Lomonosov Moscow State University, Geological Faculty, Department of Regional Geology and History of the Earth, student; *e-mail*: lenobl1996@gmail.com

feldspar using three protocols (OSL, IR<sub>50</sub>, pIRIR<sub>290</sub>) for each sample, which allows for the conclusion of the reliability of resulting datings. Eight luminescence ages were obtained, six of them characterize the marine stage and two – continental stage of the territory evolution. The biostratigraphic analysis of mollusk fauna from marine sediments represented in the section confirmed their attribution to the Karangatian transgression of the Black Sea. The studied section covers two phases of the Karangatian transgression. The early stage was in progress during 131–120 thousand years ago (MIS 5e). The sea level rise was about 32 cm/ka and reached +3,6 m. The second phase of the transgression occurred 120–100 thousand years ago (MIS 5d-s). The rise of the sea level was about 12,5 cm/ka. The maximal sea-level dated 105–100 thousand years (MIS 5c), reaching ~6,45 m. Taking into account the scale of neotectonic movements will allow a more accurate determination of the maximum sea level rise. During the development of the Karangatian basin it was characterized by heterogeneous environmental conditions: from moderately saline (15–17‰) at the initial stages to marine (28–30‰) as the transgression progressed, and again to moderately saline (17–18‰) at the beginning of the sea level decrease. The subaerial stage of sedimentation on the coast began no later than 72±8 thousand years ago. The lower of two buried soils represented in the section was formed in the period of 72–68 thousand years, probably during the inter-stage warming within the Valdai glacial epoch (MIS 4).

**Key words:** Black Sea, Late Pleistocene, Karangatian transgression, Eltigen section, OSL dating, paleogeography

**Acknowledgements.** Field research and the malakofaunistic analytical work were financially supported by the Russian Science Foundation (project № 16-17-10103). OSL dating was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 18-05-00296). Authors are sincerely grateful to Ya. Izmailov and V. Yanko-Hombach for constructive discussion of materials.

## REFERENCES

- Aitken M.J. Thermoluminescence dating. Academic Press, London, 1985. 351 p.
- Andrusov N.I. Geologicheskie issledovaniya na Tamanskom poluostrove [Geological investigations at the Taman Peninsula] // Materialy dlya geologii Rossii. 1903. Vol. 21. № 2. P. 257–283. (in Russian)
- Andrusov N.I. O vozraste morskikh posletretichnykh terras Kerchenskogo poluostrova [On the age of the marine post-Tertiary terraces of the Kerch Peninsula] // Ezhegodnik po geologii i mineral. Rossii. Vol. 7. № 6. 1904–1905. P. 158–172. (in Russian)
- Arkhangel'skij A.D., Strakhov N.M. Geologicheskoe stroenie i istoriya razvitiya Chernogo morya [Geological structure and history of evolution of the Black Sea]. M.-L.: Izd-vo AN SSSR, 1938. 226 p. (in Russian)
- Arslanov Kh.A. Radiouglerod: geohimiya i geohronologiya [Radiocarbon: geochemistry and geochronology]. L.: Izd-vo Leningradskogo universiteta, 1987. 300 p. (in Russian)
- Arslanov Kh.A., Balabanov I.P., Gej N.A. et al. O vozraste i klimaticheskikh usloviyakh formirovaniya osadkov pozdneplejstotsenovykh morskikh terras poberezh'ya Kerchenskogo proliva [On the age and climatic conditions of sediments formation on the Late Pleistocene marine terraces of the Kerch Strait coast] // Vestnik LGU. 1983. № 12. P. 69–79. (in Russian)
- Arslanov Kh.A., Gerasimova S.A., Izmailov Ya.A. O vozraste golocenovykh i verkhneplejstotsenovykh otlozhenij chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i Kerchensko-Tamanskogo rajona [On the age of the Holocene and the Upper Pleistocene deposits of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch and Taman area] // Bulletin of the Commission on Studying the Quaternary Period. 1975. № 44. P. 107–110. (in Russian)
- Bolihovskaya N.S. Prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti razvitiya rastitel'nosti i klimata Severnoi Evrazii v neoplejstotsene [Spatio-temporal patterns of vegetation and climate development in northern Eurasia during the Neo-Pleistocene] // Arheologia, etnografiya i antropologiya Evrazii. 2007. Vol. 4. № 32. P. 2–28. (in Russian)
- Buylaert J.P., Jain M., Murray A.S., Thomsen K.J., Thiel C., Sohbat R. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments // Boreas. 2012. № 41. P. 435–451.
- Chepalyga A.L. Detal'naya sobyit'naya stratigrafiya plejstotsena Chernogo moraya [Detailed event stratigraphy of the Pleistocene for the Black Sea] / Chetvertichnaya geologia i paleogeografiya Rossii. M.: GEOS, 1997. P. 196–201. (in Russian)
- Chepalyga A.L., Mihajlesku K.D., Ismajlov Ya.A. et al. Problemy stratigrafii i paleogeografii plejstotsena Chernogo morya [Problems of the stratigraphy and paleogeography of the Pleistocene of the Black Sea] // Chetvertichnyi period. Stratigrafiya. M.: Nauka, 1989. P. 112–121. (in Russian)
- Dinamika landshaftnykh komponentov i vnutrennih morskikh bassejnov Severnoj Evrazii za poslednie 130 000 let [Dynamics of landscape components and inland marine basins of Northern Eurasia over recent 130 000 years.]. M.: GEOS, 2002. 232 p. (in Russian)
- Dodonov A.E., Tchepalyga A.L., Mihailescu C.D., Zhou L.P., Markova A.K., Trubikhin V.M., Simakova A.N., Konikov E.G. Last-interglacial records from central Asia to the northern Black Sea shoreline: stratigraphy and correlation // Netherlands Journal of Geosciences. 2000. Vol. 79. № 2–3. P. 303–311.
- Istoriya geologicheskogo razvitiya kontinental'noi okrainy zapadnoj chasti Chernogo moraya [The history of geological evolution of the continental margin of the western part of the Black Sea] / Red. P.N. Kuprin. M.: MGU, 1988. 312 p. (in Russian)
- Fedorov P.V. Stratigrafiya chetvertichnykh otlozenij Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoy istorii Chernogo morya [Stratigraphy of Quaternary deposits of the Crimean-Caucasian coast and some questions of the geological history of the Black Sea] // Tr. GIN AN SSSR. M.: Nauka, 1963. 157 p. (in Russian)
- Fedorov P.V. Plejstocen Ponto-Kaspiya [The Ponto-Caspian Pleistocene]. M.: Nauka, 1978. 165 p. (in Russian)
- Geologiya shelfa Ukrainy. Kerchenskij proliv [Geology of the Ukrainian shelf. The Kerch Strait]. Kiev: Naukova dumka, 1981. 186 p. (in Russian)
- Geologiya SSSR. Tom 8. Krym. [Geology of the USSR. Vol. 8. Crimea]. Moscow: Nedra, 1969. 576 p. (in Russian)
- Koreneva E.B. Paleoklimaty plejstotsena Prichernomor'ya po palinologicheskim dannym [Pleistocene paleoclimates of the Black Sea area according to palinological data] // Tez. Dokl. XI kongressa INKVA. M.: VINITI, 1982. Vol. 1. 128 p. (in Russian)

- Kurbanov P.N., Yanina T.A., Murrey A., Borisova O.K.* Girkanskij etap v pozdne-pleistotsenovej istorii Manychskoj depressii [Hyrkanian stage in the Late Pleistocene history of the Manych depression] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr. 2018. № 3. P. 77–88. (in Russian)
- Markova A.K., Mikhailets K.D.* Novoe mestonakhozhdenie terio- i malakofauny v mikulinskikh otlozheniyakh nizov'ev Dunaya [New site of the terio- and malakofauna in Mikulino deposits of the Lower Danube River] // Bulletin Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 1990. № 59. P. 94–101. (in Russian)
- Molodkov A.N., Bolykhovskaya N.S.* Eustatic sea-level and climate changes over the last 600 ka as derived from mollusc-based ESR-chronostratigraphy and pollen evidence in Northern Eurasia // Sedimentary Geology. 2002. № 150. P. 185–201.
- 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. № 47. P. 688–695.
- Murray A.S., Wintle A.G.* The single aliquot regenerative dose protocol: potential for improvements in reliability // Radiation measurements. 2003. № 37(4–5). P. 377–381.
- Murray A.S., Marten R., Johnston A., Martin P.* Analysis for naturally occurring radio-nuclides at environmental concentrations by gamma spectrometry // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Articles. 1987. Vol. 115. № 2. P. 263–288.
- Nesmeyanov S.A., Izmajlov Ya.A.* Tektonicheskie deformatsii chernomorskih terras Kavkazskogo pobereg'ya Rossii [Tectonic deformations of the Black Sea terraces on the Caucasian coast of Russia]. M.: PNIIS, 1995. 237 p. (in Russian)
- Neveskaya L.A.* Pozdnechetvertichnye dvustvorchatye mollyuski Chernogo morya, ikh sistematika i ekologiya [Late Quaternary bivalves of the Black Sea, their systematics and ecology] // Tr. Paleontologicheskogo Instituta Akademii Nauk SSSR. M.: Nauka, 1965. 392 p. (in Russian)
- Nikonov A.A., Vasil'ev U.M., Molod'kov A.N., Nakamura T.* Ob abolutnom vozraste karangatskih otlozenij v bassejnah Chernogo i Azovskogo morya [On the absolute age of the Karangatian deposits in the basins of the Black and Azov seas] // Doklady Akademii nauk. 1999. Vol. 364. № 5. P. 662–664. (in Russian)
- Ostrovskij A.B., Izmajlov Ya.A., Scheglov A.P. et al.* Novye dannye o stratigrafii i geohologii plejstotsenovyh morskikh terras Chernomorskogo pobereg'ya Kavkaza i Kerchensko-Tamanskoi oblasti [New data on the stratigraphy and geochronology of the Pleistocene marine terraces of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch-Taman region] / Paleogeografiya i otlozheniya plejstotsena yuzhnyh morei SSSR. M.: Nauka, 1977. P. 61–68. (in Russian)
- Popov G.I.* Plejstocen Chernomorsko-Kaspijskikh proливov [Pleistocene of the Black Sea-Caspian straits]. M.: Nauka, 1983. 216 p. (in Russian)
- Sorokin V.M.* Korrelatsiya verhnechetvertichnykh otlozenij i paleogeografiya Chernogo i Kaspijskogo morej [Correlation of the Upper Quaternary sediments and paleogeography of the Black and Caspian Seas] // Stratigrafia. Geologicheskaya korrelyatsiya. 2010. Vol. 19. № 5. P. 96–112. (in Russian)
- Svitoch A.A.* Stratotipy karangata Tamanskogo i Kerchenskogo poluostrovov (sravnitel'nyj analiz) [Karangat stratotypes of the Taman and Kerch Peninsula (comparative analysis)] // Doklady Akademii nauk. 2009. Vol. 424. № 5. P. 669–771. (in Russian)
- Svitoch A.A., Blagodat'skikh O.S., Bol'shakov V.A., Yanina T.A.* Novye dannye po malakofaune i paleomagnetizmu opornykh razrezov morskogo plejstotsena Tamanskogo poluostrova [New data on the mollusk fauna and paleomagnetism of the reference sections of the maritime Pleistocene of the Taman Peninsula] // Doklady Akademii nauk. 2001. Vol. 376. № 1. P. 110–113. (in Russian)
- Svitoch A.A., Selivanov A.O., Yanina T.A.* Paleogeograficheskie sobytiya plejstotsena Ponto-Kaspiya i Sredizemnomor'ya (materialy po rekonstrukcii i korrelyatsii) [The Pleistocene paleogeographic events of the Ponto-Caspian and the Mediterranean (materials on reconstruction and correlation)]. M.: RASKHN, 1998. 288 p. (in Russian)
- Thiel C., Buylaert J.P., Murray A., Terhorst B., Hofer I., Tsukamoto S., Frechen M.* Lu-minescence dating of the Stratzing loess profile (Austria) – testing the potential elevated temperature post-IRSL protocol // Quaternary International. 2011. № 234. P. 23–31.
- Thomsen K.J., Murray A.S., Jai M., Botter-Jensen L.* Laboratory fading rates of various luminescence signals from feldspar-rich sediment extracts // Radiation Measurements. 2008. № 43. P. 1474–1486.
- Vronskii V.A.* Marinopalinologiya yuzhnykh morej [Marine palinology of South Seas]. Rostov-on-Don: Izd-vo RGU, 1976. 200 p. (in Russian)
- Wintle A.G.* Recent developments in optical dating of sediments // Radiation Protection Dosimetry. 1993. № 47. P. 627–635.
- Yanina T.A.* Neoplejstocen Ponto-Kaspiya: biostratografiya, paleogeografiya, korrelyatsiya [Neo-Pleistocene of the Ponto-Caspian: biostratigraphy, paleogeography, correlation]. Moscow: MGU, 2012. 264 p. (in Russian)
- Yanina T.A.* The Ponto-Caspian region: Environmental consequences of climate change during the late Pleistocene // Quaternary International. 2014. Vol. 345. P. 88–99.
- Yanko V.V.* Chetvertichnye foraminifery Ponto-Kaspiya [The Quaternary foraminifers of the Ponto-Caspian]: Avtoreferat. doc. diss. Odessa, 1989. 48 p. (in Russian)
- Yanko V.V., Frolov V.T., Motnenko I.V.* Foraminifery i litologiya stratotipicheskogo gorizonta (antropogen Kerchenskogo poluostrova) [Foraminifers and lithology of a stratotypical horizon (the Anthropocene of the Kerch Strait)] // Bull. MOIP. Otd. Geol. 1990. Vol. 65. № 3. P. 85–97. (in Russian)
- Zhuze A.P., Koreneva E.V., Mukhina V.V.* Paleogeografiya Chernogo morya po dannym izucheniya diatomei i sporovopyltsevoogo analiza glubokovodnykh otlozhenij [Paleogeography of the Black Sea according to the results of diatoms and spore and pollen analyses of the deepwater deposits] // Geologicheskaya istoriya Chernogo morya po rezul'tatam glubokovodnogo bureniya. M.: Nauka, 1980. P. 77–86. (in Russian)
- Zubakov V.A.* Globalnye klimaticheskie sobytiya plejstotsena [Global climatic events of the Pleistocene]. L.: Gidrometeoizdat, 1986. 288 p. (in Russian)
- Zubakov V.A.* Novye materialy o stratigraphicheskom polozhenii, ob'eme i vozraste karangata, evksino-uzunlara i chaudi [New materials on stratigraphic position, interval and age of the Karangat, Euxino-Uzunlar and Chauda] // Antropogenoviy period. M.: Nauka, 1987. P. 63–75. (in Russian)
- Zubakov V.A., Bogatkina N.V., Pisarevskii S.A.* Detal'noe raschlenenie, stratigraficheskij ob'em i vozrast karangatskogo gorizonta Prichernomor'ya [Detailed division, stratigraphic volume and age of the Karangat horizon in the Black Sea region] // Dokl. AN SSSR. Vol. 267. № 2. P. 426–428. (in Russian)

Received 07.12.2018

Revised 20.06.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 551.89

Я.С. Овсепян<sup>1</sup>, Н.О. Аверкина<sup>2</sup>, Е.Е. Талденкова<sup>3</sup>, Р.Ф. Шпильхаген<sup>4</sup>, Х.А. Баух<sup>5</sup>, А.В. Тихонова<sup>6</sup>**БЕНТОСНЫЕ ФОРАМИНИФЕРЫ КАК ИНДИКАТОРЫ ПРОНИКНОВЕНИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В АРКТИЧЕСКИЙ БАССЕЙН В КОНЦЕ ПОЗДНЕГО ПЛЕЙСТОЦЕНА – ГОЛОЦЕНЕ**

На примере колонок морских осадков Арктики и Северной Атлантики анализируется распределение раковин вида-индекса атлантического влияния *Cassidulina neoteretis* и некоторых массовых видов бентосных фораминифер на протяжении периода послеледниковья и голоцена. Для изучения были выбраны ключевые районы на пути следования водных масс атлантического происхождения: западный континентальный склон Великобритании, восточная часть пролива Фрама, континентальный склон моря Лаптевых. Наличие вида *C. neoteretis* в разрезах подтверждает поступление трансформированных атлантических вод в подповерхностном слое в Арктику с самого начала эпохи дегляциации. Повсеместное доминирование этого вида в комплексах фораминифер в период дегляциации с конца события Хайнриха 1 (Н1) около 16,5 календарных тысяч лет назад (кал. тыс. л. н.) до 13–12 кал. тыс. л. н. свидетельствует о значительном притоке подповерхностных вод в Арктику с Западно-Шпицбергенским течением в условиях выраженной стратификации вод, вызванной таянием ледниковых щитов. В период с 13–12 до 7 кал. тыс. л. н. отмечается резкое падение относительной численности *C. neoteretis* в исследованных колонках из пролива Фрама и моря Лаптевых, предположительно связанное с развитием глубинной конвекции и сокращением пресноводного влияния в Норвежско-Гренландском бассейне. Рост процентного содержания *C. neoteretis* после 7 кал. тыс. л. н. указывает на некоторое усиление влияния подповерхностных атлантических вод в условиях, соответствующих современному положению уровня моря при постепенном похолодании, усилении ледитости и растущей стратификации вод.

*Ключевые слова:* палеогеография, палеоэкология, микрофауна, Северо-Атлантическое течение, пролив Фрама, море Лаптевых

**Введение.** В Арктике наиболее наглядно проявляется современное изменение климата, выраженное, прежде всего, в потеплении и сокращении площади многолетних морских льдов [Miller et al., 2010; Serreze, Barry, 2011]. Реконструкция климатических событий прошлого помогает понять механизмы глобальных и региональных природных процессов, а также делать прогнозы их развития. Большую роль в высоких широтах играют теплые и соленые водные массы, поступающие в Арктический регион из Атлантики. Вариации Северо-Атлантического течения существенно влияют на климат и масштаб глубинной конвекции в Северной Атлантике [Rahmstorf, 2002; Иванова, 2006]. Поверхностные теплые и соленые воды из Северной Атлантики поступают в восточную часть Норвежско-Гренландского бассейна, где они движутся в составе Норвежского течения. В Гренландском море происходит их охлаждение и погружение: часть вод в результате конвекции идет на формирование Арктической промежуточной водной массы, вовлекаемой в глобальный океанический конвейер. На пути в Северный Ледовитый

океан Норвежское течение разделяется на две ветви: Баренцевоморскую, поворачивающую на восток вдоль побережья Скандинавии, и Западно-Шпицбергенскую, огибающую архипелаг Шпицберген [Timokhov, 1994; Rudels et al., 2004]. В Карском море обе ветви течения соединяются и продолжают движение на восток вдоль континентального склона всего Арктического бассейна. В Северном Ледовитом океане воды атлантического происхождения формируют промежуточный слой на глубинах от 150 до 800 м [Rudels et al., 2004].

Среди бентосных фораминифер (самых распространенных представителей мейобентоса) выделяется вид *Cassidulina neoteretis* [Seidenkrantz, 1995], современное и ископаемое распространение которого в осадках Арктики и Норвежско-Гренландского бассейна позволяет считать его видом-индексом прохладных атлантических вод [Mackensen, Hald, 1988; Хусид, Поляк, 1989; Seidenkrantz, 1995; Wollenburg, Mackensen, 1998; Osterman et al., 1999; Lubinski et al., 2001; Wollenburg et al., 2004; Ślubowska et al., 2005; Иванова, 2006; Rasmussen et al., 2007; Лукашина, 2008;

<sup>1</sup> Геологический институт РАН, лаборатория биостратиграфии и палеогеографии океанов, науч. с., канд. геол.-минер. н., e-mail: yaovsepyan@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, науч. с.; e-mail: natal-y@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: etaldenkova@mail.ru

<sup>4</sup> Гельмгольц Центр по изучению океана в г. Киль (ГЕОМАР), PhD., Киль, Германия; e-mail: rspielhagen@geomar.de

<sup>5</sup> Институт Альфреда Вегенера, PhD., Бремерхаузен, Германия; e-mail: hbauch@geomar.de

<sup>6</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, лаборатория палеоэкологии и биостратиграфии, науч. с.; e-mail: semeonka@gmail.com

Taldenkova et al., 2012; Овсебян с соавт., 2015; Chauhan et al., 2016; Consolaro et al., 2018; Cronin et al., 2019]. В настоящем исследовании рассматривается распределение вида *S. neoteretis* и дополнительно ряда других видов бентосных фораминифер в нескольких колонках, расположенных на континентальном склоне в районах на пути следования атлантических вод от западного побережья Шотландии до моря Лаптевых, что позволит реконструировать некоторые черты позднплейстоцен-голоценовой истории распространения атлантических вод в Арктике.

**Материалы и методы исследования.** Колонка морских осадков АИ-3521 отобрана в рейсе НИС «Академик Иоффе» (2016 г.) на северо-восточном континентальном склоне Шотландии (59°30,009 с. ш., 7°20,062 з. д.), на глубине 1051 м (рис. 1), в зоне влияния восточной ветви Северо-Атлантического течения [Клювиткин с соавт., 2017]. Общая мощность осадков – 415 см. Основу комплекса микрофауны составляют планктонные фораминиферы. По данным процентного содержания полярных планктонных фораминифер вида *Neogloboquadrina pachyderma* sp. выполнено предварительное стратиграфическое подразделение разреза, показавшее, что колонка соответствует по времени голоцену и эпохе дегляциации. Данные по содержанию материала ледового и айсбергового разноса (ice- and iceberg-rafted debris, IRD) размерности >250 мкм также используются для оценки предположительного возраста осадков колонки. Бентосные фораминиферы изучены во фракции >100 мкм в образцах мощностью 1 см, отобранных с интервалом в 10–20 см.

Колонка MSM5/5-723-2, полученная в рейсе НИС «Мария С. Мериан» (2007 г.), расположена на континентальном склоне Шпицбергена, в восточной части пролива Фрама (79°09,66 с. ш., 5°20,27 в. д.) (рис. 1) [Müller et al., 2012; Werner et al., 2016]. Место отбора колонки находится на глубине 1349 м, под Западно-Шпицбергенской ветвью атлантического течения, занимающего горизонт от 25 м до 500–700 м водной толщи [Rasmussen et al., 2007]. Микрофоссилии исследованы в верхних 677 см разреза во фракции >63 мкм, образцы мощностью 1 см проанализированы с высоким разрешением – через каждые 5 см. Для верхних 677 см колонки получено 12 радиоуглеродных датировок методом ускорительной масс-спектрометрии (AMS<sup>14</sup>C). Календарный (кал.тыс.л.н.) возраст основания исследованного интервала составляет 18,5 кал. тыс. л. н. [Müller et al., 2012; Werner et al., 2016; Овсебян с соавт., 2017].

Две колонки изучены с восточного континентального склона моря Лаптевых (рис. 1), из области распространения трансформированных атлантических вод (горизонт 150–800 м). Колонка PS51/118-11 (77°89,23 с.ш., 132°19,86 в.д.) с глубины 122 м, отобранная в рейсе НИС «Поларштерн» (1998 г.), расположена вблизи верхней границы «атлантического» слоя, где возможен заток этих вод вверх по склону за счет реверсивных течений [Ivanov, Golovin, 2007]. Длина разреза составляет 844 см, верхние 80 см полностью разобраны на образцы мощностью 1 см, из нижней части микрофауна изучалась с интервалом в 10–20 см.

Колонка PS2458-4 (78°10,0 с. ш., 133°23,9 в. д.), полученная в рейсе НИС «Поларштерн» (1993 г.),



Рис. 1. Карта с местоположениями изученных колонок. Стрелками показаны течения поверхностных атлантических вод, пунктирными стрелками – распространение подповерхностных трансформированных атлантических вод

Fig. 1. The map with locations of the studied cores. Arrows show the flow of surface Atlantic waters, dashed arrows show the flow of subsurface transformed Atlantic waters

расположена на континентальном склоне на глубине 983 м, что немного ниже границы распространения «атлантического» слоя. Длина разреза – 800 см, пробы мощностью 2 см отобраны непрерывно.

Для сравнения используется изученная ранее авторами колонка PS51/154-11 из западной части моря Лаптевых (77°16,56 с. ш., 120°36,59 в. д.) [Taldenkova et al., 2010, 2012; Овсепян с соавт., 2015; Овсепян, 2016]. Колонка мощностью 700 см отобрана на глубине 270 м в ядре трансформированных атлантических вод [Dmitrenko et al., 2008].

Все три колонки из моря Лаптевых детально датированы AMS<sup>14</sup>C методом. Возраст основания колонки PS51/118-11 составляет ~11 кал. тыс. л. н. [Vauch et al., 2001]. Экстраполированный возраст основания колонок PS2458-4 и PS51/154-11 – 17,6 кал. тыс. л. н. [Spielhagen et al., 2005; Vauch et al., 2001; Taldenkova et al. 2012].

В комплексе микрофоссилий во фракции >63 мкм преобладают бентосные секреторно-известковые фораминиферы, за исключением верхней части колонки PS2458-4 (примерно 1–3 кал. тыс. л. н.), в которой среди редких встреченных фораминифер преобладают агглютинированные формы. Колонки из всех локаций содержат большое количество раковин фораминифер, достаточное для проведения палеоэкологических реконструкций в интервале времени от начала эпохи дегляциации (в изученных датированных колонках это интервал 17,6–18,5 кал. тыс. л. н.) до конца голоцена (0–2 кал. тыс. л. н., в зависимости от сохранности верхних слоев осадков колонки). Содержание вида *C. neoteretis* приводится в процентном соотношении ко всему комплексу бентосных фораминифер.

**Результаты.** В колонке АИ-3521 из Северной Атлантики, для которой на настоящий момент отсутствует возрастная модель, по распределению *C. neoteretis* с опорой на данные по содержанию *N. pachyderma* sin. и IRD выделено 4 интервала: 240–415 см, 160–240 см, 110–160 см и 0–110 см (рис. 2). Комплекс бентосных фораминифер из нижнего интервала довольно однороден, *C. neoteretis* является доминирующим видом (в среднем 60%), вместе с ним встречаются холодноводные арктические фораминиферы *Cassidulina reniforme*, *Stainforthia concava*, *Islandiella norcrossi*. Данный интервал можно скоррелировать с концом ледникового периода – началом дегляциации. В интервале 160–240 см наблюдается резкое снижение доли *C. neoteretis* до 13–20%, его заменяет оппортунистический вид *Elphidium clavatum*, характерный для холодных и опресненных обстановок [Polyak et al., 2002]. Также отмечаются пик *N. pachyderma* sin. среди планктонных фораминифер и обилие IRD. По этим признакам можно предположить, что данный интервал совпадает с событием Хайнриха 1 (Н1) (рис. 2). Выше, в интервале 110–160 см, содержание *C. neoteretis* опять увеличивается до 40–60%, а содержание IRD и относительная численность *N. pachyderma* sin. падают, что, вероятно, отражает потепление эпохи беллинг-аллеред и сокращение

притока талых ледниковых вод в данном регионе. Выше 110 см *C. neoteretis* постепенно пропадает из разреза и заменяется схожим по морфологии видом *Cassidulina laevigata*. Этот вид характерен для данного региона с начала голоцена и до настоящего времени [Mackensen, Hald, 1988], но отмечен и в осадках конца эпохи беллинг-аллеред [Klitgaard-Kristensen et al., 2001].

В колонке MSM5/5-723-2 из пролива Фрама, в целом наблюдается схожее распределение *C. neoteretis* по разрезу (рис. 2). В данном случае на основе возрастной модели можно выделить следующие временные интервалы: дегляциальный, переходный, голоценовый. В нижней части исследованного разреза возрастом 12,3–18,5 кал. тыс. л. н., относящейся к дегляциальной эпохе, *C. neoteretis* преобладает в комплексе бентосных фораминифер (в среднем 70%). Исключение составляет период около 17 кал. тыс. л. н. (событие Хайнриха 1), когда содержание *C. neoteretis* падает до 30%. Короткий переходный период 11,5–12,3 кал. тыс. л. н. соответствует позднему дриасу и началу голоцена, здесь содержание вида *C. neoteretis* сокращается до 10–30%, его постепенно заменяет холодноводный арктический вид *C. reniforme*. В голоцене, в интервале 0,2–11,5 кал. тыс. л. н., содержание *C. neoteretis* сокращается до 3–20%, особенно мало *C. neoteretis* между 11,5 и 9,5 кал. тыс. л. н. После 11,5 и до 7 кал. тыс. л. н. доминирующими в комплексе наряду с *C. reniforme* становятся глубоководные эпифаунные виды *Cibicidoides wuellerstorfi* и *Oridorsalis umbonatus*, большую роль в комплексе играют также виды *Nonion labradoricum* и *Epistominella exsigua*, отражающие увеличение продуктивности.

В ранее изученной колонке PS51/154-11 из западной части моря Лаптевых [Taldenkova et al., 2010, 2012; Овсепян с соавт. 2015; Овсепян, 2016] вид *C. neoteretis* чаще встречается в дегляциальной части разреза в интервале времени 12–15,6 кал. тыс. л. н., где его численность составляет в среднем около 20%, но в некоторых пробах достигает 40–60% (рис. 2). В интервале времени между 12 и 7 кал. тыс. л. н. раковины *C. neoteretis* практически отсутствуют. Верхний пик численности вида (максимум до 10–11%) приурочен к интервалу времени 3–5 кал. тыс. л. н., небольшое увеличение численности отмечено также около 2 кал. тыс. л. н.

В колонках из восточной части моря Лаптевых содержание *C. neoteretis* различается, что обусловлено глубиной отбора колонок. Изначально предполагалось, что в колонке PS51/118-11 с верхнего континентального склона по аналогии с ранее изученной колонкой из западной части моря PS51/154-11 (глубина 270 м) будет найдено множество раковин атлантического вида-индекса [Taldenkova et al., 2012; Овсепян с соавт., 2015]. Однако вид *C. neoteretis* встретился только в верхней, голоценовой части разреза, в интервале 2,7–8,2 кал. тыс. л. н. (рис. 2). Его доля в комплексе фораминифер очень мала и составляет максимум 3% в отдельных пробах.

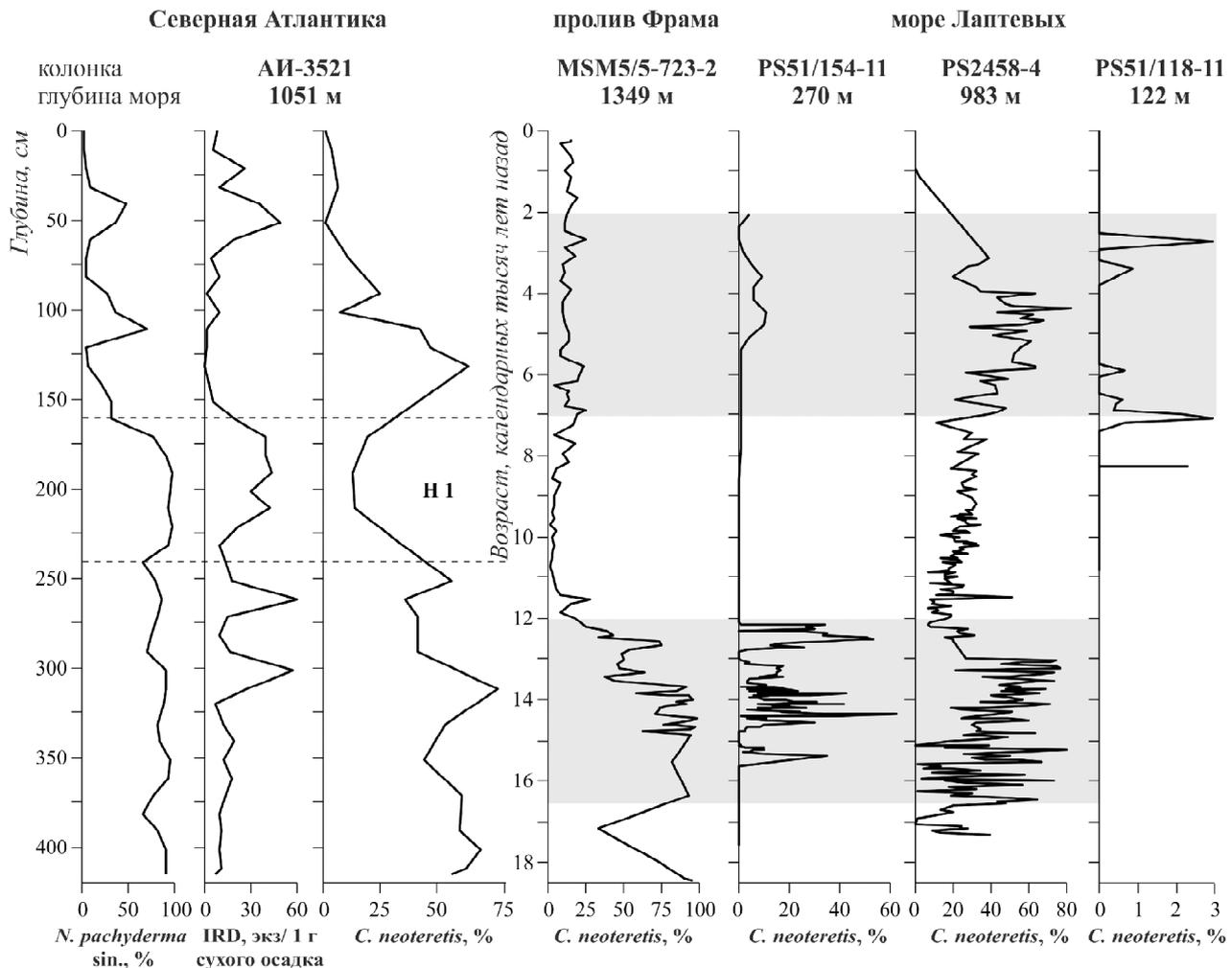


Рис. 2. Распределение процентного содержания вида *Cassidulina neoteretis* в изученных колонках. Серым фоном выделены периоды усиления атлантического влияния: дегляциальный 12(13)–16,5 кал. тыс. л. н. и средне-позднеголоценовый 2–7 кал. тыс. л. н. Для колонки АИ-3521 пунктиром выделен интервал, относящийся к событию Хайнриха 1 (Н1), для подтверждения стратиграфического подразделения приведены графики процентного содержания *Neogloboquadrina pachyderma* sin. и материала ледового и айсбергового разноса (IRD)

Fig. 2. Downcore distribution of the relative abundance of *Cassidulina neoteretis* in the studied cores. Gray shading highlights the intervals of increased Atlantic influence during the deglaciation (12(13)–16,5 cal.ka) and the mid-late Holocene (2–7 cal.ka), correspondingly. For core AI-3521: dotted lines mark the interval of Heinrich 1 (H1), the plots of the relative abundance of *Neogloboquadrina pachyderma* sin. and ice- and iceberg-rafted debris (IRD) distribution are shown to prove the stratigraphic division

В более глубоководной колонке PS2458-4 *C. neoteretis* присутствует практически во всех образцах, начиная с самой нижней части разреза (рис. 2). В интервале 13–16,5 кал. тыс. л. н. *C. neoteretis* составляет в среднем 40–60% от общего комплекса фораминифер. На рубеже 13 кал. тыс. л. н. его содержание резко падает, здесь происходит смена доминантного вида на *C. reniforme*. Выше по разрезу, примерно после 7 и до 3 кал. тыс. л. н., *C. neoteretis* снова достигает прежних высоких значений. В самых молодых осадках возрастом 1–3 кал. тыс. л. н., в которых преобладают агглютинированные фораминиферы, недостаточно материала для статистически достоверного анализа, однако немногочисленные раковины *C. neoteretis* присутствуют в осадках этого интервала.

**Обсуждение результатов.** Современное распределение бентосного вида фораминифер *C. neoteretis*

охватывает Северный Ледовитый океан и Норвежско-Гренландский бассейн. На склонах Норвежской котловины и в проливе Фрама вид встречается на глубинах от 500 до 1600 метров [Mackensen, Hald, 1988; Rasmussen et al., 2007; Лукашина, 2008]. Верхняя граница обитания вида пересекается с диапазоном распространения вод Норвежского течения, достигающих глубин 800 м. *C. neoteretis* также связан с распространением сезонных морских льдов и вызванной ими стратификацией за счет летнего таяния [Rasmussen et al., 2007]. Южнее 70° с. ш. его замещает сходный по морфологии вид *C. laevigata* [Mackensen, Hald, 1988]. В поверхностных осадках Северной Атлантики южнее Фареро-Шетландского желоба раковины живых представителей *C. neoteretis* не были обнаружены [Mackensen, Hald, 1988]. В Северном Ледовитом океане *C. neoteretis* распространен вдоль континентального склона и

характерен для глубин 200–1500 м [Wollenburg, Mackensen, 1998; Wollenburg et al., 2004; Osterman et al., 1999; Husum et al., 2015; Chauhan et al., 2016; Cronin et al., 2019]. Вид встречается также в трогах Баренцева и Карского морей и связан с промежуточным слоем атлантического происхождения (150–800 м) [Хусид, Поляк, 1989; Steinsund, 1994; Lubinski et al., 2001; Иванова, 2006; Ślubowska et al., 2005]. В целом, экологические предпочтения вида можно сформулировать следующим образом – это инфузорный вид, обитающий в придонных обстановках с постоянной соленостью и температурой на континентальном склоне субарктических и арктических районов в местах распространения прохладных атлантических вод как на поверхности, так и под слоем полярных опресненных вод с сезонным ледовым покровом [Rasmussen et al., 2007; Chauhan et al., 2016]. При этом до сих пор нет объяснения, каким именно образом атлантические воды контролируют распределение этого вида, но очевидно, что его высокая численность является свидетельством длительного присутствия атлантических вод в конкретном исследуемом районе [Osterman et al., 1999]. В рассматриваемых нами колонках, находящихся на пути следования атлантических вод из Северной Атлантики через пролив Фрама до моря Лаптевых, отмечено много сходных черт в вариациях численности вида *C. neoteretis* в различные периоды времени с начала дегляциации (рис. 2), что, на наш взгляд, указывает на существенное влияние атлантических вод на распределение этого вида.

В самой нижней части колонки из Северной Атлантики АИ 3521, предположительно относящейся к концу ледникового периода, отмечено преобладание *C. neoteretis* в комплексе фораминифер, что соотносится с другими колонками из этого региона, когда холодные атлантические воды занимали всю толщу вод на континентальном слоне [Mackensen, Hald, 1988; Rasmussen et al., 2007; Лукашина, 2008].

В наиболее длинных по временному охвату датированных колонках из пролива Фрама и восточной части моря Лаптевых (PS2458) отмечено высокое содержание *C. neoteretis* в самом начале дегляциации до 16,5 кал. тыс. л. н. Эти колонки находятся на достаточно больших глубинах более 900 м. В то же время в одновозрастных осадках колонки PS51/154 из западной части моря Лаптевых с современной глубины моря 270 м (около 170–150 м в эпоху ранней дегляциации) *C. neoteretis* встречена единично в прослое возрастом 17,1–17,2 кал. тыс. л. н., тогда как все остальные осадки этой колонки в интервале от 17,6 до 16 кал. тыс. л. н. не содержат бентосных фораминифер, что наряду с наличием большого количества аутигенных конкреций свидетельствует об анаэробных условиях на дне, вероятно, вызванных стратификацией за счет притока талых вод [Taldenkova et al., 2010]. Эта колонка находилась выше верхней границы распространения атлантических вод, и они только эпизодически поднимались вверх по склону с апвеллингами, вызванными ветрами, дующими с холодной суши

[Taldenkova et al., 2010]. В целом, присутствие *C. neoteretis* в колонках с континентального склона моря Лаптевых, начиная с 17,6 кал. тыс. л. н., свидетельствует о проникновении атлантических вод в Арктику далеко на восток вдоль континентальной окраины Евразии уже во время ранней дегляциации. Это подтверждают и находки тепловодных планктонных фораминифер в разрезах обеих колонок в интервале времени между 17 и 17,6 кал. тыс. л. н., которые не встречаются в более молодых осадках [Taldenkova et al., 2010, 2012; Овсепян с соавт., 2015]. Вероятно, для столь дальнего проникновения относительно теплых атлантических вод условия были обусловлены сильной стратификацией вод в Норвежско-Гренландском бассейне после начала таяния европейских ледников 19 кал. тыс. л. н., что обеспечивало погружение атлантических вод под слой опресненных поверхностных вод в пределах умеренных широт, существенно южнее, чем в настоящее время. Некоторое уменьшение процентного содержания *C. neoteretis* во время события Хайнриха 1 около 17 кал. тыс. л. н., отмеченное в исследованных колонках в Северной Атлантике, проливе Фрама и в море Лаптевых, могло быть связано с особенно сильным опреснением. В данный период *C. neoteretis* замещается другими видами, такими как *E. clavatum* в колонке АИ3521, или разнообразными агглютинирующими фораминиферами в колонке PS2458.

Процентное содержание *C. neoteretis* было самым высоким во всех исследованных колонках в период с конца события Хайнриха 1 около 16,5 кал. тыс. л. н. до 12–13 кал. тыс. л. н. (рис. 2). В глубоководных колонках из Сев. Атлантики, пролива Фрама и в восточной части моря Лаптевых содержание этого вида составляло в среднем 50–60%, а в более мелководной колонке из западной части моря Лаптевых – 20–30%. Это свидетельствует о значительном притоке подповерхностных атлантических вод в Арктику с Западно-Шпицбергенским течением в условиях по-прежнему сильно выраженной стратификации вод, вызванной таянием ледниковых щитов. Баренцевоморской ветви атлантического течения во время ранней дегляциации не существовало из-за пониженного уровня моря и ледникового щита на шельфе, поэтому весь поток подповерхностных атлантических вод был связан с северной ветвью течения [Lubinski et al., 2001; Rasmussen et al., 2007]. Баренцевоморская ветвь развивалась постепенно вслед за таянием остатков ледникового щита; так, в осадках юго-западной части Баренцева моря *C. neoteretis* появляется впервые около 14 кал. тыс. л. н. [Чистякова с соавт., 2010].

Начиная с позднего дриаса, 12–13 кал. тыс. л. н. и в течение раннего голоцена (примерно до 7 кал. тыс. л. н.) процентное содержание *C. neoteretis* во всех исследованных датированных колонках резко уменьшилось, а в колонке с западного континентального склона моря Лаптевых этот вид практически отсутствует в осадках возрастом 8–12 кал. тыс. л. н.

(рис. 2). В колонке из Северной Атлантики *C. neoteretis* постепенно замещается более тепловодным видом *C. laevigata*. Таким образом, можно предположить, что в период голоценового оптимума приток подповерхностных атлантических вод в Арктику сократился. По всей видимости, это не совсем верное утверждение, правильнее сказать, что кардинальным образом изменились природные условия. Приток талых вод прекратился, и атлантические воды появились на поверхности. В результате в районе пролива Фрама началось развитие активной глубинной конвекции, при которой часть вод направляется на формирование северо-атлантической глубинной водной массы – важнейшего компонента океанического конвейера [Иванова, 2006]. О начале этого процесса свидетельствует появление в колонке из пролива Фрама глубоководных видов, эпифаунного *C. wuellerstorfi* и поверхностно-инфаунного *O. umbonatus*, связанных с поступлением холодных вод, богатых кислородом, на дно. Эти виды, наряду с *C. reniforme*, который предпочитает более холодные придонные обстановки, чем *C. neoteretis*, доминировали в составе комплекса в раннем голоцене, в период от 11,5 до 6 кал. тыс. л. н. Вероятно, развитие активной глубинной конвекции в условиях отсутствия стратификации и сезонного ледового покрова в проливе Фрама в фазу высокой инсоляции раннего голоцена в определенной мере действительно сократило приток подповерхностных атлантических вод с северной, фрамовской, ветвью в море Лаптевых. Наряду с этим был период активного влияния теплых поверхностных атлантических вод в районе Шпицбергена, о чем, например, свидетельствует продвижение на север ряда бореальных видов моллюсков [Salvigsen et al., 1992]. Одновременно в раннем голоцене возрастает поступление атлантических вод с баренцевоморской ветвью. В колонке из юго-западной части Баренцева моря процентное содержание *C. neoteretis* максимально (50–60%) в период между 11,7 и 7,8 кал. тыс. л. н. [Чистякова с соавт., 2010]. Отсутствие *C. neoteretis* в осадках колонок из северных трогов Баренцева моря в период между началом голоцена и примерно 8 кал. тыс. л. н. наряду с характерным изотопным составом карбоната раковин фораминифер свидетельствуют о доминировании баренцевоморских атлантических вод и существенном сокращении влияния фрамовской ветви [Lubinski et al., 2001].

После примерно 7 кал. тыс. л. н. относительная численность *C. neoteretis* в колонках из моря Лаптевых возрастает, в особенности это касается наиболее глубоководной колонки PS2458 (рис. 2). Незначительно увеличивается содержание этого вида и в колонке из пролива Фрама (рис. 2), а также в северных трогах Баренцева моря [Lubinski et al., 2001]. Одновременно значительно уменьшается роль глубоководных видов в исследованной колонке из пролива Фрама. В совокупности, это указывает на усиление притока атлантических вод с фрамовской ветвью и ослабление масштабов глубинной конвекции. После 7 кал. тыс. л. н. отмечается увеличение

размеров сезонного ледового покрова в проливе Фрама [Müller et al., 2012], что способствовало развитию стратификации вод за счет их летнего таяния. Уровень моря был близок к современным значениям, и шельфы евразийских морей были практически полностью затоплены. В среднем и позднем голоцене активное ледообразование в этих морях и обильный речной сток приводили к растущему экспорту пресных вод и льдов с Трансполярным дрейфом и Восточно-Гренландским течением в западную часть пролива Фрама, что могло явиться причиной усиления противотока подповерхностных атлантических вод с фрамовской ветвью [Mysak, 2001].

#### Выводы:

- обзор микропалеонтологического материала по ряду колонок, расположенных на пути распространения атлантических вод с фрамовской ветвью от Северной Атлантики через пролив Фрама в море Лаптевых, с привлечением литературных данных показал общую тенденцию распределения раковин бентосного вида фораминифер *Cassidulina neoteretis* в позднплейстоцен-голоценовых отложениях;

- в Арктике вид *C. neoteretis* в настоящее время обитает на глубинах от 200 до 1500 м и связан как с распространением сезонного ледового покрова и опресненных поверхностных арктических вод, так и с более теплыми подповерхностными водными массами атлантического происхождения. Наличие вида *C. neoteretis* в исследованных разрезах подтверждает факт поступления трансформированных атлантических вод в подповерхностном слое в Арктику с самого начала эпохи дегляциации;

- повсеместное доминирование этого вида в комплексах фораминифер в период дегляциации с конца события Хайнриха 1 около 16,5 кал. тыс. л. н. до 13–12 кал. тыс. л. н. свидетельствует о значительном притоке подповерхностных вод в Арктику с Западно-Шпицбергенским течением в условиях выраженной стратификации вод, вызванной таянием ледниковых щитов. До 14 кал. тыс. л. н. это был единственный путь поступления атлантических вод в Арктику, т. к. баренцевоморская ветвь еще не существовала;

- в период с 13–12 до 7 кал. тыс. л. н. отмечается резкое падение относительной численности *C. neoteretis* в исследованных колонках из пролива Фрама и моря Лаптевых, предположительно связанное с развитием глубинной конвекции и сокращением пресноводного влияния в Норвежско-Гренландском бассейне;

- рост процентного содержания *C. neoteretis* после 7 кал. тыс. л. н. указывает на некоторое усиление влияния подповерхностных атлантических вод в условиях, соответствующих современному положению уровня моря при постепенном похолодании, усилении ледовитости и растущей стратификации вод;

- судя по численности *C. neoteretis* в голоценовых осадках трех колонок из моря Лаптевых, наиболее благоприятные условия для этого вида в Арктике создаются не в ядре атлантических вод на глубинах 200–350 м, а непосредственно под слоем атлантических вод.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность А.Г. Матулю и А.П. Лисицыну за предоставленный материал. Исследования Овсепяна Я.С. и Аверкиной Н.О. выполнены за счет РФФИ (проект № 18-35-00362 мол\_а). Исследования Талденковой Е.Е. поддержаны субсидией Минобрнауки по проекту «Изменчивость Арктической Трансполярной системы» (CATS) (уникальный идентификатор проекта – RFMEFI61617X0076), исследования Шпильхагена Р.Ф. и Бауха Х.А. – Министерством образования и науки Германии по проекту CATS (№ 03F0776). Работа Тихоновой А.В. проводилась по теме № 0149-2019-0007 Госзадания ИО РАН.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Иванова Е.В. Глобальная термохалинная палеоциркуляция. М.: Научный мир, 2006. 314 с.
- Клювиткин А.А., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Новичкова Е.А., Савичев А.С., Козина Н.В., Стародымова Д.П., Тихонова А.В., Амбросимов А.К., Будько Д.Ф., Исаченко С.М., Булохов А.В. Геологические исследования Северной Атлантики в 51-м рейсе «Академик Иоффе» // Океанология. 2017. Т. 5. № 3. С. 514–516.
- Лукашина Н.П. Палеоокеанология Северной Атлантики в позднем мезозое и кайнозое и возникновение современной термохалинной океанской циркуляции по данным изучения фораминифер. М.: Научный мир, 2008. 288 с.
- Овсепян Я.С. Позднечетвертичные фораминиферы моря Лаптевых и реконструкции изменения среды на основе палеоэкологического анализа. Дисс. на соиск. уч. степ. канд. геол.-минерал. н. М.: 2016. 240 с.
- Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е., Баух Х.А., Кандиано Е.С. Реконструкция событий позднего плейстоцена–голоцена на континентальном склоне моря Лаптевых по комплексам бентосных и планктонных фораминифер // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2015. Т. 23. № 6. С. 964–112.
- Овсепян Я.С., Талденкова Е.Е., Чистякова Н.О., Степанова А.Ю., Шпильхаген Р.Ф. Позднечетвертичные реконструкции палеоклимата в проливе Фрама в контексте проникновения атлантических вод в Арктику // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ИО РАН, 2017. Т. 2. С. 87–90.
- Хусид Т.А., Поляк Л.В. Биогеография бентосных фораминифер Арктики // Неоген-четвертичная палеоокеанология по микропалеонтологическим данным. М.: Наука, 1989. С. 42–50.
- Чистякова Н.О., Иванова Е.В., Русебробаккен Б., Овсепян Е.А., Овсепян Я.С. Реконструкция послеледниковых обстановок в юго-западной части Баренцева моря по комплексам фораминифер // Океанология. 2010. Т. 50. №4. С. 608–617.
- Bauch H.A., Müeller-Lupp T., Taldenkova E., Spielhagen R.F., Kassens H., Grootes P.M., Thiede J., Heinemeier J., Petryashov V.V. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // Global Planet. Change. 2001. Vol. 31. P. 125–139.
- Chauhan T., Rasmussen T.L., Noormets R. Palaeoceanography of the Barents Sea continental margin, north of Nordaustlandet, Svalbard, during the last 74 ka // Boreas. 2016. Vol. 45. P. 76–99.
- Consolaro C., Rasmussen T.L., Panieri G. Palaeoceanographic and environmental changes in the eastern Fram Strait during the last 14 000 years based on benthic and planktonic foraminifera // Mar. Micropal. 2018. Vol. 139. P. 84–101.
- Cronin T.M., Seidenstein J., Keller K., McDougall K., Ruefer A., Gemery L. The benthic foraminifera *Cassidulina* from the Arctic Ocean: application to paleoceanography and biostratigraphy // Micropalaeontology. 2019. Vol. 65. № 2. P. 105–125.
- Dmitrenko I.A., Polyakov I.V., Kirillov S.A., Timokhov L.A., Frolov I.E., Sokolov V.T., Simmons H.L., Ivanov V.V., Walsh D. Toward a warmer Arctic Ocean: Spreading of an early 21st century Atlantic Water warm anomaly along the Eurasian Basin margin // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. C05023.
- Husum K., Hald M., Stein R., Weischnur M. Recent benthic foraminifera in the Arctic Ocean and Kara Sea continental margin // Arktos. 2015. doi: 10.1007/s41063-015-0005-9
- Ivanov V.V., Golovin P.N. Observations and modeling of dense water cascading from the northwestern Laptev Sea shelf // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112. C09003.
- Klitgaard-Kristensen D., Sejrup H.P., Hafliðason H. The last 18 kyr fluctuations in Norwegian Sea surface conditions and implications for the magnitude of climatic change: Evidence from the North Sea // Paleoceanography. 2001. Vol. 16. № 5. P. 455–467.
- Lubinski D.J., Polyak L.A., Forman S.L. Freshwater and Atlantic water inflows to the deep northern Barents and Kara seas since ca 13 14C ka: foraminifera and stable isotopes // Quat. Sci. Rev. 2001. Vol. 20. P. 1851–1879.
- Mackensen A., Hald M. *Cassidulina teretis* Tappan and *C. laevigata* d'Orbigny: their modern and late quaternary distribution in northern seas // J. Foraminiferal Res. 1988. Vol. 18. № 6. P. 16–24.
- Miller G.H., Alley R.B., Brigham-Grette J., Fitzpatrick J.J., Polyak L., Serreze M.C., White J. Arctic amplification: can the past constrain the future? // Quat. Sci. Rev. 2010. Vol. 29. P. 1779–1790.
- Müller J., Werner K., Stein R., Fahl K., Moros M., Jansen E. Holocene cooling culminates in sea ice oscillations in Fram Strait // Quat. Sci. Rev. 2012. Vol. 47. P. 1–14.
- Mysak L.A. Patterns of Arctic circulation // Science. 2001. Vol. 293. P. 1269–1270.
- Osterman L.E., Poore R.Z., Foley K.M. Distribution of benthic foraminifera (>125 mm) in the surface sediments of the Arctic Ocean // USGS Bulletin. 1999. Vol. 2164. doi: 10.3133/b2164
- Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B.E., Lubinski D.A. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced arctic marine environment // J. of Foraminiferal Res. 2002. Vol. 32. № 3. P. 252–273.
- Rahmstorf S. Ocean circulation and climate during the past 120000 Years // Nature. 2002. Vol. 419. P. 207–214.
- Rasmussen T.L., Thomsen E., Šlubowska M.A., Jessen S., Solheim A., Koz N. Paleoceanographic evolution of the SW Svalbard margin (76°N) since 20,000 14C yr BP // Quaternary Research. 2007. Vol. 67. P. 100–114.
- Rudels B., Jones E.P., Schauer U., Eriksson P. Atlantic sources of the Arctic Ocean surface and halocline waters // Polar Research. 2004. Vol. 23. P. 181–208.
- Salvigsen O., Forman S.L., Miller G.H. Thermophilous molluscs on Svalbard during the Holocene and their paleoclimatic implications // Polar Research. 1992. Vol. 11. P. 1–10.
- Seidenkrantz M.-S. *Cassidulina teretis* Tappan and *Cassidulina neoteretis* new species (Foraminifera): stratigraphic markers for deep sea and outer shelf areas // J. Micropalaeontology. 1995. Vol. 14. P. 145–157.
- Serreze M.C., Barry R.G. Processes and impacts of Arctic amplification: a research synthesis // Global Planet. Change. 2011. Vol. 77. P. 85–96.
- Šlubowska M.A., Koz N., Rasmussen T.L., Klitgaard-Kristensen D. Changes in the flow of Atlantic water into the Arctic Ocean since the last deglaciation: Evidence from the northern Svalbard continental margin, 80°N // Paleoceanography. 2005. Vol. 20. PA4014.
- Spielhagen R.F., Erlenkeuser H., Siebert C. History of freshwater runoff across the Laptev Sea (Arctic) during the last deglaciation // Global Planet. Change. 2005. Vol. 48. P. 187–207.

*Steinsund P.I.* Benthic foraminifera in the surface sediments of the Barents, Kara Seas: modern and late Quaternary applications // Dissertation. University of Tromsø. 1994.

*Taldenkova E., Bauch H.A., Gottschalk J., Nikolaev S., Rostovtseva Yu., Pogodina I., Ovsepyan Ya., Kandiano E.* History of ice-rafting and water mass evolution at the northern Siberian continental margin (Laptev Sea) during Late Glacial and Holocene times // *Quat. Sci. Rev.* 2010. Vol. 29. P. 3919–3935.

*Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A., Ovsepyan Ya., Pogodina I., Klyuvitkina T., Nikolaev S.* Benthic community changes at the North Siberian margin in response to Atlantic water mass variability since last deglacial times // *Mar. Micropal.* 2012. Vol. 96–97. P. 13–28.

*Timokhov L.A.* Regional characteristics of the Laptev and the East Siberian seas: climate, topography, ice phases, thermohaline

regime, circulation // *Berichte zur Polarforschung.* 1994. Vol. 144. P. 15–31.

*Werner K., Müller J., Husum K., Spielhagen R., Kandiano E., Polyak L.* Holocene sea subsurface and surface water masses in the Fram Strait – Comparisons of temperature and sea-ice reconstructions // *Quat. Sci. Rev.* 2016. Vol. 147. P. 194–209.

*Wollenburg J., Mackensen A.* Living benthic foraminifera from the central Arctic Ocean: faunal composition, standing stock and diversity // *Mar. Micropal.* 1998. Vol. 34. № 3–4. P. 153–185.

*Wollenburg J.E., Knies J., Mackensen A.* High-resolution paleoproductivity fluctuations during the past 24 kyr as indicated by benthic foraminifera in the marginal Arctic Ocean // *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 2004. Vol. 204. P. 209–238.

Поступила в редакцию 26.03.2018

После доработки 28.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

**Ya.S. Ovsepyan<sup>1</sup>, N.O. Averkina<sup>2</sup>, E.E. Taldenkova<sup>3</sup>,  
R.F. Spielhagen<sup>4</sup>, H.A. Bauch<sup>5</sup>, A.V. Tikhonova<sup>6</sup>**

**BENTHIC FORAMINIFERS AS INDICATORS  
OF ATLANTIC WATER INFLUENCE IN THE ARCTIC DURING  
THE LATE PLEISTOCENE AND THE HOLOCENE**

The distribution of the tests of Atlantic water index species *Cassidulina neoteretis* and several other common benthic foraminiferal species in the Postglacial and Holocene sediments is analysed in marine sediment cores recovered in the Arctic and North Atlantic. The following key regions located on the pathway of Atlantic waters were selected: the western continental slope of the Great Britain, the eastern Fram Strait and the Laptev Sea continental slope. The occurrence of *C. neoteretis* in the studied sections gives evidence for the inflow of subsurface Atlantic waters to the Arctic since the onset of deglaciation period. The similar pattern of the predominance of *C. neoteretis* in the cores during the early deglaciation since the end of the Heinrich 1 event about 16,5 cal.ka until 13–12 cal.ka gives evidence for a strong inflow of subsurface Atlantic waters with the Fram Strait Branch under meltwater induced stratified conditions. During the time period between 13–12 to 7 cal.ka the relative abundance of *C. neoteretis* decreases in the cores from the Fram Strait and the Laptev Sea, probably in relation to the onset of deep convection and the reduction of freshwater influence in the Nordic seas. The growing representation of *C. neoteretis* after 7 cal.ka manifests an increase in the subsurface Atlantic water influence under modern-like sea-level position, growing climate cooling trend, sea-ice cover expansion and enhanced water stratification.

*Key words:* paleogeography, paleoecology, microfauna, North Atlantic Current, Fram Strait, Laptev Sea

**Acknowledgements.** Authors acknowledge A.G. Matul and A.P. Lisitzin for provided material. This research was supported by: RFBR, project 18-35-00362 mol\_a (Ovsepyan, Averkina); the Russian-German project CATS, funded by the Ministry of Science of the Russian Federation (RFMEFI61617X0076) (Taldenkova) and the German Ministry of Education and Research (03F0776) (Spielhagen, Bauch); the State Contract of Shirshov Institute of Oceanology 0149-2019-0007 (Tikhonova).

<sup>1</sup> Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of ocean biostratigraphy and paleogeography, Scientific Researcher, PhD in Geology and Mineralogy; *e-mail:* yaovsepyan@yandex.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Pleistocene paleogeography, Scientific Researcher; *e-mail:* natal-y@mail.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Pleistocene paleogeography, Leading Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail:* etaldenkova@mail.ru

<sup>4</sup> Helmholtz Center for Ocean Research in Kiel (GEOMAR), PhD., Kiel, Germany, PhD in Geology; *e-mail:* rspielhagen@geomar.de

<sup>5</sup> Alfred Wegener Institute (AWI), PhD., Bremerhaven, Germany, PhD in Geology; *e-mail:* hbauch@geomar.de

<sup>6</sup> Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of paleoecology and biostratigraphy, Scientific Researcher; *e-mail:* semeonka@gmail.com

## REFERENCES

- Bauch H.A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E., Spielhagen R.F., Kassens H., Grootes P.M., Thiede J., Heinemeier J., Petryashov V.V. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // *Global Planet. Change*. 2001. Vol. 31. P. 125–139.
- Chauhan T., Rasmussen T.L., Noormets R. Palaeoceanography of the Barents Sea continental margin, north of Nordaustlandet, Svalbard, during the last 74 ka // *Boreas*. 2016. Vol. 45. P. 76–99.
- Chistyakova N.O., Ivanova E.V., Risebrobakken B., Ovsepyan E.A., Ovsepyan Ya.S. Rekonstruktsiya poslednikovykh obstanovok v yugo-zapadnoi chasti Barentseva morya po kompleksam foraminifer [Reconstruction of postglacial environments in the southwestern Barents Sea based on foraminifera assemblages] // *Okeanologiya*. 2010. Vol. 50. № 4. P. 608–617. (in Russian)
- Consolaro C., Rasmussen T.L., Panieri G. Palaeoceanographic and environmental changes in the eastern Fram Strait during the last 14 000 years based on benthic and planktonic foraminifera // *Mar. Micropal.* 2018. Vol. 139. P. 84–101.
- Cronin T.M., Seidenstein J., Keller K., McDougall K., Ruefer A., Gemery L. The benthic foraminifera *Cassidulina* from the Arctic Ocean: application to paleoceanography and biostratigraphy // *Micropalaeontology*. 2019. Vol. 65. № 2. P. 105–125.
- Dmitrenko I.A., Polyakov I.V., Kirillov S.A., Timokhov L.A., Frolov I.E., Sokolov V.T., Simmons H.L., Ivanov V.V., Walsh D. Toward a warmer Arctic Ocean: Spreading of an early 21<sup>st</sup> century Atlantic Water warm anomaly along the Eurasian Basin margin // *J. Geophys. Res.* 2008. Vol. 113. C05023.
- Husum K., Hald M., Stein R., Weijschnur M. Recent benthic foraminifera in the Arctic Ocean and Kara Sea continental margin // *Arktos*. 2015. DOI 10.1007/s41063-015-0005-9.
- Ivanov V.V., Golovin P.N. Observations and modeling of dense water cascading from the northwestern Laptev Sea shelf // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. C09003.
- Ivanova E.V. Global'naya termokhalinnaya paleotsirkulyatsiya [The Global Thermohaline Paleocirculation] M.: Nauchnyi mir, 2006. 314 p. (in Russian)
- Klitgaard-Kristensen D., Sejrup H.P., Haflidason H. The last 18 kyr fluctuations in Norwegian Sea surface conditions and implications for the magnitude of climatic change: Evidence from the North Sea // *Paleoceanography*. 2001. Vol. 16. № 5. P. 455–467.
- Khusid T.A., Polyak L.V. Biogeografiya bentosnykh foraminifer Arktiki [Biogeography of benthic foraminifera in the Arctic] // Neogen-chetvertichnaya paleoceanologiya po mikropaleontologicheskim dannym M.: Nauka, 1989. P. 42–50. (in Russian)
- Kljuvitkin A.A., Politova N.V., Novigatskii A.N., Novichkova E.A., Savvichev A.S., Kozina N.V., Starodymova D.P., Tikhonova A.V., Ambrosimov A.K., Bud'ko D.F., Isachenko S.M., Bulokhov A.V. Geologicheskie issledovaniya Severnoi Atlantiki v 51-m reise «Akademik Ioffe» [Geological investigation of the Northern Atlantic in the 51<sup>st</sup> «Academic Ioffe» cruise] // *Okeanologiya*. 2017. Vol. 5. № 3. P. 514–516. (in Russian)
- Lubinski D.J., Polyak L.A., Forman S.L. Freshwater and Atlantic water inflows to the deep northern Barents and Kara seas since ca 13 14C ka: foraminifera and stable isotopes // *Quat. Sci. Rev.* 2001. Vol. 20. P. 1851–1879.
- Lukashina N.P. Paleoceanologiya Severnoi Atlantiki v pozdnem mezozoe i kainozoe i vozniknovenie sovremennoi termogalinnoi okeanskoi tsirkulyatsii po dannym izucheniya foraminifer [Paleoceanology of the Northern Atlantic in the Late Mesozoic and Cenozoic and the initiation of modern thermohaline ocean circulation according to foraminifera data] M.: Nauchnyi mir, 2008. 288 p. (in Russian)
- Mackensen A., Hald M. *Cassidulina teretis* Tappan and *C. laevigata* d'Orbigny: their modern and late quaternary distribution in northern seas // *J. Foraminiferal Res.* 1988. Vol. 18. № 6. P. 16–24.
- Miller G.H., Alley R.B., Brigham-Grette J., Fitzpatrick J.J., Polyak L., Serreze M.C., White J. Arctic amplification: can the past constrain the future? // *Quat. Sci. Rev.* 2010. Vol. 29. P. 1779–1790.
- Müller J., Werner K., Stein R., Fahl K., Moros M., Jansen E. Holocene cooling culminates in sea ice oscillations in Fram Strait // *Quat. Sci. Rev.* 2012. Vol. 47. P. 1–14.
- Mysak L.A. Patterns of Arctic circulation // *Science*. 2001. Vol. 293. P. 1269–1270.
- Osterman L.E., Poore R.Z., Foley K.M. Distribution of benthic foraminifers (>125 mm) in the surface sediments of the Arctic Ocean // *USGS Bulletin*. 1999. Vol. 2164. <https://doi.org/10.3133/b2164>
- Ovsepyan Ya.S. Pozdnechetvertichnye foraminifery morya Laptevyyh i rekonstruktsii izmeneniya sredy na osnove paleoekologicheskogo analiza [Late Quaternary foraminifera of the Laptev Sea and environmental reconstructions based on palaeoecology proxy] Diss. na soisk. uch. step. k.g.-m.n. M.: 2016. 240 p. (in Russian)
- Ovsepyan Ya.S., Taldenkova E.E., Bauch H.A., Kandiano E.S. Rekonstruktsiya sobytii pozdnego pleistotsena–golotsena na kontinental'nom sklone morya Laptevyyh po kompleksam bentosnykh i planktonnykh foraminifer [Reconstruction of the Late Pleistocene events on the continental slope of the Laptev Sea: evidence from benthic and planktic foraminifera assemblages] // *Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyatsiya*. 2015. Vol. 23. № 6. P. 964–112. (in Russian)
- Ovsepyan Ya.S., Taldenkova E.E., Chistyakova N.O., Stepanova A.Yu., Shpielhagen R.F. Pozdnechetvertichnye rekonstruktsii paleoklimata v prolive Frama v kontekste proniknoveniya atlanticheskikh vod v Arktiku [Late Quaternary paleoclimate reconstructions in the Fram Strait region in relation to Atlantic water inflow to the Arctic] // *Geologiya morei i okeanov: Materialy XXII Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii (Shkoly) po morskoi geologii*. M.: IO RAN, 2017. Vol. II. P. 87–90. (in Russian)
- Polyak L., Korsun S., Febo L., Stanovoy V., Khusid T., Hald M., Paulsen B.E., Lubinski D.A. Benthic foraminiferal assemblages from the southern Kara Sea, a river-influenced arctic marine environment // *J. of Foraminiferal Res.* 2002. Vol. 32. № 3. P. 252–273.
- Rahmstorf S. Ocean circulation and climate during the past 120 000 Years // *Nature*. 2002. Vol. 419. P. 207–214.
- Rasmussen T.L., Thomsen E., Hlubowska M.A., Jessen S., Solheim A., Koz N. Paleocceanographic evolution of the SW Svalbard margin (76°N) since 20 000 14C yr BP // *Quaternary Research*. 2007. Vol. 67. P. 100–114.
- Rudels B., Jones E.P., Schauer U., Eriksson P. Atlantic sources of the Arctic Ocean surface and halocline waters // *Polar Research*. 2004. Vol. 23. P. 181–208.
- Salvigsen O., Forman S. L., Miller G. H. Thermophilous molluscs on Svalbard during the Holocene and their paleoclimatic implications // *Polar Res.* 1992. Vol. 11. P. 1–10.
- Seidenkrantz M.-S. *Cassidulina teretis* Tappan and *Cassidulina neoteretis* new species (Foraminifera): stratigraphic markers for deep sea and outer shelf areas // *J. Micropalaeontology*. 1995. Vol. 14. P. 145–157.
- Serreze M.C., Barry R.G. Processes and impacts of Arctic amplification: a research synthesis // *Global Planet. Change*. 2011. Vol. 77. P. 85–96.
- Slubowska M.A., Koz N., Rasmussen T.L., Klitgaard-Kristensen D. Changes in the flow of Atlantic water into the Arctic Ocean since the last deglaciation: Evidence from the northern Svalbard continental margin, 80°N // *Palaeoceanography*. 2005. Vol. 20. PA4014.
- Spielhagen R.F., Erlenkeuser H., Siebert C. History of freshwater runoff across the Laptev Sea (Arctic) during the last deglaciation // *Global Planet. Change*. 2005. Vol. 48. P. 187–207.
- Steinsund P.I. Benthic foraminifera in the surface sediments of the Barents, Kara Seas: modern and late Quaternary applications // *Dissertation*. University of Tromsø. 1994.
- Taldenkova E., Bauch H.A., Gottschalk J., Nikolaev S., Rostovtseva Yu., Pogodina I., Ovsepyan Ya., Kandiano E. History of ice-rafting and water mass evolution at the northern Siberian continental margin (Laptev Sea) during Late Glacial and Holocene times // *Quat. Sci. Rev.* 2010. Vol. 29. P. 3919–3935.

*Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A., Ovsepyan Ya., Pogodina I., Klyuvitkina T., Nikolaev S.* Benthic community changes at the North Siberian margin in response to Atlantic water mass variability since last deglacial times // *Mar. Micropal.* 2012. Vol. 96–97. P. 13–28.

*Timokhov L.A.* Regional characteristics of the Laptev and the East Siberian seas: climate, topography, ice phases, thermohaline regime, circulation // *Berichte zur Polarforschung.* 1994. Vol. 144. P. 15–31.

*Werner K., Müller J., Husum K., Spielhagen R., Kandiano E., Polyak L.* Holocene sea subsurface and surface water masses in the

Fram Strait – Comparisons of temperature and sea-ice reconstructions // *Quat. Sci. Rev.* 2016. Vol. 147. P. 194–209.

*Wollenburg J., Mackensen A.* Living benthic foraminifers from the central Arctic Ocean: faunal composition, standing stock and diversity // *Mar. Micropal.* 1998. Vol. 34. № 3–4. P. 153–185.

*Wollenburg J.E., Knies J., Mackensen A.* High-resolution paleoproductivity fluctuations during the past 24 kyr as indicated by benthic foraminifera in the marginal Arctic Ocean // *Palaeogeogr. Palaeoclim. Palaeoecol.* 2004. Vol. 204. P. 209–238.

Received 26.03.2018

Revised 28.06.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 551.515:551.509

А.А. Шестакова<sup>1</sup>, П.А. Торпов<sup>2,3</sup>

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ОСАДКОВ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА ДЛЯ ЮЖНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Экстремальные осадки на иранском побережье Каспийского моря чаще всего наблюдаются в холодное время года и являются результатом синтеза синоптических процессов и мезомасштабных эффектов, возникающих под влиянием крупного водоема и орографических факторов. Численное моделирование случаев наиболее интенсивных осадков в этом густонаселенном районе важно в аспекте усовершенствования методов прогноза этих явлений. С другой стороны, поднимается ряд вопросов о физических механизмах формирования экстремальных осадков: роли планетарного пограничного слоя, озерного эффекта, орографии. В работе проведено численное моделирование восьми эпизодов экстремальных осадков за период 2005–2016 гг. с помощью численной мезомасштабной модели WRF-ARW; проведена детальная верификация модели по данным наблюдений. Показано, что модель воспроизводит максимум осадков в прибрежных районах, что соответствует действительности. Однако при сравнении со стационарными данными значения ошибки моделирования осадков могут быть очень велики. Эксперименты с различными параметризациями физических процессов показали наибольшую чувствительность моделируемых осадков к параметризации планетарного пограничного слоя атмосферы. Также выявлена связь интенсивности осадков на иранском побережье Каспийского моря с интегральным влагосодержанием столба атмосферы и с температурой поверхности в южной части водоема.

*Ключевые слова:* численные эксперименты, модель WRF-ARW, Иран, осадки в горах

**Введение.** Экстремальные осадки в большинстве районов Земли определяются сочетанием конкретного синоптического процесса с набором местных физико-географических особенностей, среди которых первостепенную роль играет орография и эффект крупного водоема. Роль орографии обычно сводится к динамическому усилению вертикальных движений воздуха, в то время как роль «озерного эффекта» заключается в увеличении потоков тепла и влаги от поверхности водоема, которые, с одной стороны, увеличивают плавучесть атмосферы, а с другой – ее влагосодержание.

Изучение физических механизмов экстремальных осадков на иранском побережье Каспийского моря интересно в связи с ярко выраженным сочетанием вышеозначенных факторов. Активный циклогенез на средиземноморской и иранской ветвях полярного фронта [Бугаев с соавт., 1957; Ghasemi, Khalili, 2008; Molanejad et al., 2015] реализуется на фоне возможных аномалий температуры поверхности южной части акватории Каспийского моря, а также при наличии высоких горных хребтов Эльбурс [Molanejad et al., 2015; Khoshakhlagh et al., 2016; Ghafarian et al., 2018].

Ситуации, приводящие к экстремальным осадкам на южном побережье Каспийского моря, представляют несомненный практический интерес в аспекте усовершенствования их численного прогноза. Из-за сравнительно малых пространственно-временных масштабов региональные атмосферные процессы гористых побережий изучены пока недостаточ-

но и, как правило, плохо воспроизводятся глобальными моделями прогноза погоды. Существенно более успешные результаты моделирования демонстрируют мезомасштабные гидродинамические модели.

Моделированию циркуляции над крупными озерами и ее взаимодействия с рельефом с помощью мезомасштабных моделей атмосферы, а также совместных моделей атмосферы и озера посвящено большое количество работ [Hjelmfelt, 1990; Theeuwes et al., 2010; Anyah et al., 2006]. С помощью численных моделей удастся оценить чувствительность экстремальных осадков к температуре поверхности озера, параметризациям «подсеточных» физических процессов, рельефу местности, наличию температурной инверсии, шероховатости поверхности и др. Например, проведенные для озера Мичиган эксперименты показали, что разница температур между сушей и озером имеет большое значение при моделировании этих явлений [Hjelmfelt, 1990]. А при моделировании осадков над озером Эри с помощью модели WRF-ARW было продемонстрировано, что в эксперименте с более низкой температурой поверхности озера модель существенно занижает осадки по сравнению с контрольным экспериментом [Theeuwes et al., 2010]. В работе Е.Р. Meredith [2015] анализируются физические механизмы формирования экстремальных осадков в Краснодарском крае, вызвавших, в частности, катастрофическое наводнение в Крымске 6 июля 2012 г. Показана определяющая роль температуры поверхности Черного моря.

<sup>1</sup> Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: shestakova.aa.92@gmail.com

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: tormet@inbox.ru

<sup>3</sup> Институт географии РАН, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: tormet@inbox.ru

Основной целью данной работы является оценка качества моделирования экстремальных осадков на иранском побережье Каспийского моря с помощью мезомасштабной модели WRF-ARW с учетом многообразия крупномасштабных и мезомасштабных факторов, на фоне которых развивается то или иное событие. Модель верифицируется по натурным данным (станционные и спутниковые наблюдения), проводятся эксперименты на чувствительность результатов к изменению параметризаций физических процессов. Данная работа является первым этапом исследования экстремальных осадков на юге Каспийского моря и выявления роли крупномасштабной циркуляции, «озерного эффекта» и вклада орографии в их формирование.

**Материалы и методы исследований. Данные наблюдений.** В работе анализируются данные 24 метеорологических станций национальной сети Ирана на побережье Каспийского моря, а также на северных и южных склонах хребта Эльбурс за период 2005–2016 гг. За этот период было выявлено восемь случаев экстремальных осадков: 25 февраля 2007 г., 3 декабря 2007 г., 15–16 декабря 2008 г., 26–27 января 2010 г., 10–12 января 2011 г., 3 февраля 2011 г., 8–9 января 2015 г. и 8 февраля 2016 г. В качестве критерия экстремальности были использованы рекомендации, опубликованные в Наставлениях ... [2009], согласно которым жидкие осадки попадают под критерий опасного явления погоды в том случае, если их суточная сумма превышает 50 мм хотя бы на одной метеостанции в пределах региона, по которому выполняется анализ (прогноз) метеорологических условий. Рассматривается зимний период, поскольку, во-первых, наиболее интенсивные осадки, связанные с полярно-фронтальным циклогенезом, выпадают в этом районе преимущественно в холодное полугодие [Molanejad et al., 2015; Ghasemi, Khalili, 2008], а, во-вторых, в этот период наиболее ярко проявляется «озерный эффект» [Khoshakhlagh et al., 2016]. В данных случаях осадки на прибрежных станциях выпадали преимущественно в виде дождя, в горах – в основном в виде мокрого снега и снега.

Для анализа синоптической ситуации используются данные приземных и аэрологических наблюдений, которые визуализируются в системе ГИС

Метео, разработанной сотрудниками НПЦ «Мэп Мейкер» [<https://mapmakers.ru/index.html#section-contact>]. Дополнительно для анализа полей облачности привлекаются данные спутника Terra/MODIS (изображения в видимом диапазоне) с пространственным разрешением 5 км, доступные на сайте <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>.

**Численные эксперименты.** Модель WRF-ARW хорошо зарекомендовала себя в качестве средства физически обоснованного воспроизведения опасных явлений погоды, в том числе конвективных осадков [Павлюков с соавт., 2017; Knebl and Yang, 2008; Theeuwes et al., 2010; Schumacher and Johnson, 2008; Yu, 2013]. В работе М. Азади с соавторами [2013] показано, что модель WRF-ARW успешно прогнозирует осадки на территории Ирана в холодное время года. Преимущество данной модели особенно ярко проявляется в районах с большим количеством осадков (т. е. в случае Ирана на побережье Каспийского моря) [Азади с соавт., 2013] и при моделировании сильных осадков [Азади с соавт., 2013; Вельтишев с соавт., 2011].

Несмотря на многочисленность экспериментов, испытывающих чувствительность моделируемых осадков к различным параметризациям физических процессов, стандартный набор параметризаций, наилучшим образом описывающий процесс, отсутствует. Так, например, различные исследователи приходят к выводу, что значительная чувствительность модели проявляется в отношении параметризаций пограничного слоя [Jankov et al., 2015], кучевых облаков [Knebl, Yang 2008; Jankov et al., 2015], микрофизики облаков и подстилающей поверхности [Yu, 2013].

На основе анализа литературы было выбрано несколько наборов параметризаций (кучевых облаков, пограничного слоя и микрофизики облаков), которые представлены в табл. 1. Всего было проведено пять тестовых экспериментов для случая сильных осадков 8 февраля 2016 г. Моделирование остальных эпизодов экстремальных осадков проводилось с использованием версии модели WRF-ARW 3.4.1 и набора параметризаций, подобранного по результатам сравнения тестовых экспериментов с данными наблюдений. Для интегрирования использовалось 3 вложенных сетки с разрешением 30, 10 и

Таблица 1

**Параметры численных экспериментов с различными параметризациями конвективных облаков, пограничного слоя и микрофизики облаков. Обозначения сокращений указаны в сносках**

№	Конвекция (во внутренней расчетной области (Рис. 1))	Пограничный слой	Микрофизика облаков
1	Kain-Fritsch	MYNN <sup>2</sup>	Lin
2	Нет <sup>1</sup>	MYNN	Lin
3	Нет <sup>1</sup>	YSU <sup>3</sup>	Lin
4	Нет <sup>1</sup>	MYNN	Thompson
5	Нет <sup>1</sup>	MYNN	WSM <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Не параметризуется, разрешается явно; <sup>2</sup> схема Melor-Yamada-Niino-Nakanishi уровня 2,5; <sup>3</sup> схема университета Йонсей;

<sup>4</sup> схема WRF Single-Moment 6-class

3,3 км (рис. 1). Количество вертикальных уровней – 40, время адаптации модели к начальным данным полагалось равным 6 ч. В работе [Knebl, Yang, 2008] показано, что выбор параметризации солнечной радиации не влияет на качество моделирования осадков, в данной работе используется схема **RRTMG** (Rapid Radiative Transfer Model) для длинноволновой радиации и схема Духиа для коротковолновой радиации. В качестве начальных и граничных условий использовались поля анализа **FNL** (final analysis) модели **GFS** (Global Forecast System) с временным разрешением 6 часов и пространственным разрешением 1°.

**Методы оценки качества моделирования осадков.** Значительная пространственная неоднородность поля осадков существенно усложняет методику сравнения результатов моделирования с натурными данными (см. обзор методов оценки прогноза осадков в работе Ю.Б. Павлюкова с соавторами [2017]). В данной публикации сравнение сеточных модельных данных с наблюдениями осуществлялось с помощью двух подходов. Первый методически напоминает один из наиболее простых алгоритмов кластерного анализа, известный как «метод ближайшего соседа». Для каждой метеорологической станции рассматривается ближайший модельный узел и окружающие его точки в радиусе 8 км. Среди них выбирается значение осадков, максимально совпадающее с наблюдаемым. Второй метод основан на сравнении данных моделирования и наблюдений, осредненных по западной и восточной частям иранского побережья (белые квадраты на рис. 2). Рассматривается отклонение модельных значений суточных сумм осадков ( $x$ ) от наблюдений ( $y$ )  $bias = x - y$ , абсолютная ошибка моделирования

$MAE = [x - y]$ , относительное отклонение

$RE = \left(\frac{bias}{y}\right) * 100\%$  и относительная ошибка

$RAE = \left(\frac{MAE}{y}\right) * 100\%$ , осредненные по всем стан-

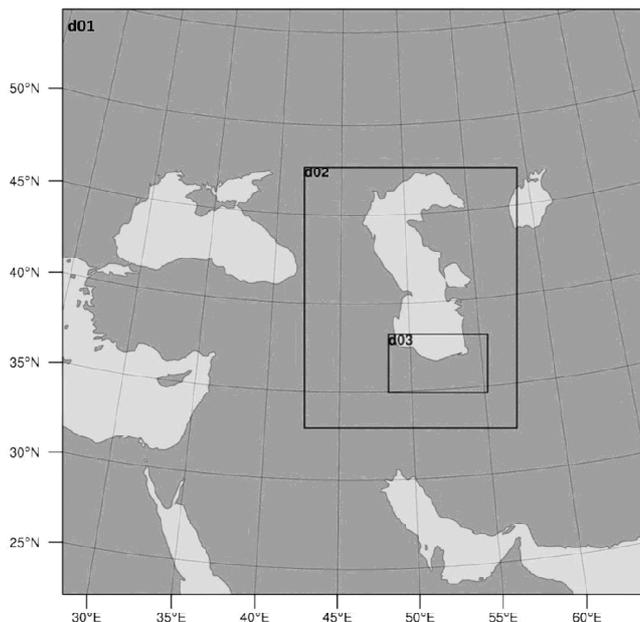


Рис.1 Карта-схема расчетных областей модели WRF-ARW d01, d02 и d03

Fig. 1. Schematic map of computation regions d01, d02 and d03 for the WRF-ARW model

циям при использовании первого метода и по подобластям для второго метода.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Результаты сравнения тестовых экспериментов с данными наблюдений представлены в табл. 2. Наименьшее систематическое отклонение модельных суточных сумм осадков от наблюдаемых в окрестностях станций отмечается для эксперимента 2 (модель завышает значения на станциях в среднем на 2,6 мм/сут, относительное отклонение составляет 9%); самое низкое значение абсолютной ошибки моделирования было зафиксировано для экспериментов 2, 4 и 5 (8–9 мм/сут). При сравнении средних значений в подобластях оказывается, что модель завышает осадки (почти в 2 раза по сравне-

Таблица 2

Средние ошибки моделирования осадков при сравнении в точках станций (и их окрестности) и при сравнении средних значений в подобластях (см. пояснения в тексте) для разных экспериментов (их номера указаны в первом столбце)

№	В окрестностях станций			Отклонение bias, мм (RE, %)	
	Среднее отклонение bias (мм)	Абсолютная ошибка MAE (мм)	Относительное отклонение RE, %	Запад	Восток
1	4,6	9,7	17	1,7 (5)	9,6 (41)
2	2,6	8,9	9	0,8 (2)	9,4 (40)
3	7,0	11,1	26	10,6 (32)	13,4 (57)
4	5,1	8,4	19	1,1 (3)	11,3 (48)
5	3,1	8,0	11	2,4 (7)	10,8 (46)

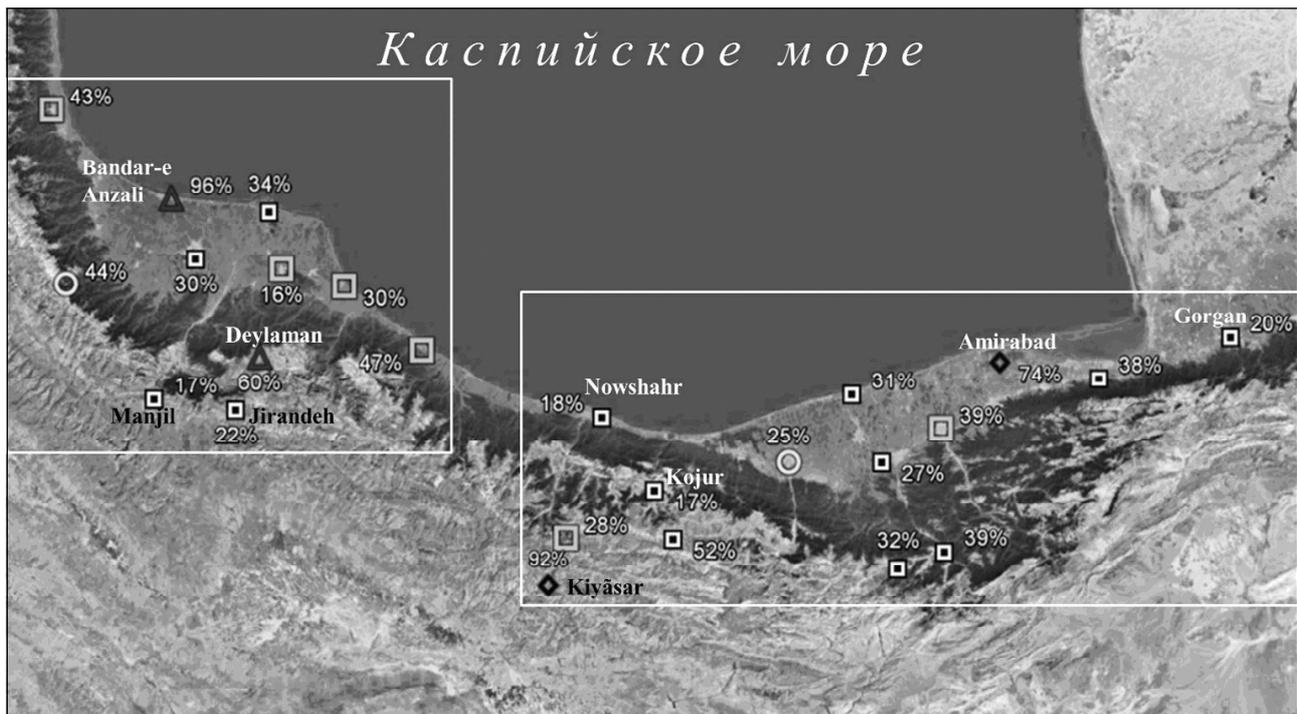


Рис. 2. Карта-схема средних по всем эпизодам ошибок моделирования суточных сумм осадков на станциях (названия некоторых станций подписаны): значки обозначают положение станций и значение относительного отклонения RE (отношение среднего отклонения к величине осадков) (заполненный квадрат –  $|RE| < 10\%$ , пустой квадрат –  $-50\% < RE < -10\%$ , ромб  $RE < -50\%$ , круг  $10\% < RE < 50\%$ , треугольник  $RE > 50\%$ ), цифрами указано значение относительной ошибки RAE (отношение абсолютной ошибки к величине осадков, в %)

Fig. 2. Schematic map of averaged errors of daily precipitation sums modeling for the stations (several names of the stations are given). Symbols show the location of the stations and the values of relative deviation RE (ratio of the average deviation to the sum of precipitation): filled square –  $|RE| < 10\%$ , empty square –  $-50\% < RE < -10\%$ , rhomb  $RE < -50\%$ , circle  $10\% < RE < 50\%$ , triangle  $RE > 50\%$ . Numbers indicate the values of relative error RAE (ratio of the absolute error to the sum of precipitation, %)

нию с наблюдениями) преимущественно в восточной части побережья (табл. 2). В западной подобласти ошибки относительно невелики (среднее относительное отклонение не превышает 7%), за исключением эксперимента 3, в котором используется схема параметризации пограничного слоя университета Йонсей (табл. 1).

Полученные оценки позволяют однозначно исключить из рассмотрения эксперимент 3, а из оставшихся наилучшее соответствие с данными наблюдений по большинству параметров демонстрирует эксперимент 2. Набор параметризаций эксперимента 2 будет использован для моделирования прочих случаев экстремальных осадков в исследуемом регионе. Схожий с экспериментом 2 набор параметризаций успешно использовался ранее при моделировании осадков в Иране [Азади с соавт., 2013].

Результаты сравнения экспериментов показали, что выбор параметризации микрофизики облаков, а также параметризация или явное разрешение конвекции во внутренней области меньше влияют на результаты моделирования осадков в данных экспериментах, чем выбор параметризации пограничного слоя. Использование схемы YSU приводит к существенному завышению количества осадков по сравнению со схемой MYNN. Такой же результат был получен, например, при моделировании сильных осадков на побережье Австралии [Gilmore et al.,

2016]. Существенное различие двух тестируемых схем пограничного слоя заключается в том, что MYNN является локальной схемой (значение метеорологической величины на каждом вертикальном уровне определяется значениями на соседних уровнях, а значит влияние крупных турбулентных вихрей на перемешивание в пограничном слое не учитывается), а YSU – нелокальной (т. е. дополнительно учитывается влияние не только соседних, но и других вертикальных уровней в пограничном слое на значение метеорологической величины на каждом уровне). Это различие обуславливает более интенсивное перемешивание и более глубокий пограничный слой в схеме YSU по сравнению со схемой MYNN, что в свою очередь приводит к занижению влажности и завышению температуры у земли нелокальной схемой [Cohen et al., 2015; Hu et al., 2010]. Кроме того, перепад температуры в нижней тропосфере (0–3 км) оказывается большим при использовании схемы YSU по сравнению со схемой Мелора-Ямады [Cohen et al., 2015], поэтому YSU переоценивает величину конвективной доступной потенциальной энергии (CAPE) в перемешанном слое сильнее, чем локальные схемы. Для рассматриваемого эпизода в эксперименте с параметризацией YSU перепад температуры в нижнем слое (мощностью в 1,5 км) превышает таковой при использовании схемы MYNN на 2–3 градуса, величина пара-

метра CAPE, соответственно, повышается на 60–80 Дж/кг (что составляет около 50%, см. табл. 5). Очевидно, что именно эта особенность схемы YSU и приводит к значительному завышению количества осадков в эксперименте 3.

**Анализ результатов моделирования нескольких эпизодов экстремальных осадков.** Статистические оценки результатов моделирования всех отобранных эпизодов сильных осадков с подобранной конфигурацией модели представлены в табл. 3. Значения ошибок для разных эпизодов меняются в широких пределах; систематическое отклонение может быть как положительным, так и отрицательным. В трети случаев относительное отклонение RE в среднем не превышает 10% от измеренного значения, однако может достигать 30–40% в отдельные дни (27.10.2010, 11.01.2011). Средняя абсолютная ошибка в среднем больше 5 мм и составляет от 30 до 60% от измеренной величины.

Также ошибки существенно изменяются для различных станций. На рис. 2 показана карта станций со средними по всем эпизодам значениями RE и RAE. Видно, что на некоторых станциях (Горган, Жирандех, Манджил, Кожур, Ноусхахр) как RE, так и RAE малы ( $|RE| < 10\%$ ,  $RAE < 25\%$ ), а на станциях Диламан, Бандар-эль-Энзели, Амирабад, Кияхар – велики (на первых двух станциях модель значительно завышает осадки, на последних двух – занижает). При этом хорошее качество моделирования осадков в западной подобласти по сравнению с восточной, как это наблюдалось для тестового эксперимента 8 февраля 2016, характерно только для половины эпизодов. Для трех рассматриваемых дат результаты моделирования оказались лучше в восточной подобласти, а для других четырех – одинаковыми в обеих подобластях.

С целью выявления пространственного распределения средних ошибок моделирования все станции были разбиты на три категории – горные, равнинные и прибрежные, причем вторая и третья категория станций пересекаются между собой.

Результаты моделирования для этих категорий представлены в табл. 4. Среднее количество осадков максимально на прибрежных и равнинных станциях, на горных станциях осадков выпадает примерно в 3 раза меньше. Однако относительные отклонения и ошибки моделирования для разных категорий различаются мало. Чуть большее систематическое отклонение наблюдается для прибрежных станций, а RAE на 10% меньше на равнинных станциях. Таким образом, проведенный анализ ошибок моделирования осадков показывает, что четкая закономерность в распределении ошибок отсутствует.

Для выявления причин различия величины ошибок моделирования осадков от эпизода к эпизоду был проведен дополнительный анализ крупномасштабных и мезомасштабных характеристик атмосферы, на фоне которых развивалось каждое событие. По результатам моделирования в области d02, охватывающей Каспийский регион, анализировались такие параметры, как общее влагосодержание столба атмосферы над Каспийским морем и прилегающими территориями (TPW, кг/м<sup>2</sup> или мм), поток скрытого тепла (LE, Вт/м<sup>2</sup>), температура поверхности моря (ТПО, °С), разница между температурой поверхности моря и воздуха на высоте 2 м ( $\Delta T$ , °С) и доступная конвективная потенциальная энергия в слое с максимальной неустойчивостью (CAPE, Дж/кг) над южной частью Каспийского моря. Для каждого эпизода находилось максимальное значение этих параметров в указанных областях (табл. 5).

Синоптический анализ всех рассматриваемых случаев показал, что экстремальные осадки в исследуемом районе могут наблюдаться при различных крупномасштабных процессах – от перемещения активного циклона над Ираном до обострения атмосферных фронтов при холодном вторжении по периферии антициклона с центром над европейской территорией России (ЕТР) и Восточной Европой или даже на фоне центра высокого давления непосредственно над Каспийским морем. Следует отметить, что модель хорошо воспроизводит поле облачности

Таблица 3

Средние по всем станциям значения суточных сумм осадков, максимальной суточной суммы осадков и средние значения ошибок моделирования для всех эпизодов сильных осадков

	Средняя суточная сумма $\bar{Y}$ , мм	Максимальная суточная сумма $Y_{max}$ мм	Отклонение bias, мм	Абсолютная ошибка MAE, мм	Относительное отклонение RE, %	Относительная ошибка RAE, %
25.02.2007	21,3	53	-0,1	6,4	-1	30
03.12.2007	23,9	89	0,5	8,4	2	35
15.12.2008	18,6	98	2,1	11,4	11	61
16.12.2008	14,1	75	-3,6	5,4	-26	38
26.01.2010	25,1	67	3,5	9,2	14	37
27.01.2010	14,8	28	-6,2	7	-42	47
10.01.2011	34,1	108	-9,3	12,1	-27	35
11.01.2011	18,6	57	-6,5	10,1	-35	54
12.01.2011	13,7	79	-2,3	6,4	-17	47
03.02.2011	32,6	92	-6,2	8,7	-19	27
08.01.2015	21	84	1,9	9,2	9	44
09.01.2015	18,2	71	-3,9	9,9	-22	54

Таблица 4

**Осредненные по всем эпизодам суточные суммы осадков и ошибки моделирования для разных категорий станций**

Категория станций	Горные	Равнинные	Прибрежные
Суточная сумма $u$ , мм	9,0	29,4	32,7
Отклонение bias, мм	-1,0	-3,5	-5,5
Абсолютная ошибка MAE, мм	4,5	11,4	15,3
Относительное отклонение RE, %	-11	-12	-17
Относительная ошибка RAE, %	49	39	47

Таблица 5

**Среднее относительное отклонение и относительная ошибка, а также параметры TPW, LE, ТПО,  $\Delta T$  и CAPE над южной частью Каспийского моря по результатам моделирования для всех рассматриваемых эпизодов**

	RE, %	RAE, %	TPW, мм	LE, Вт/м <sup>2</sup>	ТПО, °С	$\Delta T$ , °С	CAPE, Дж/кг
25.02.2007	-1	30	20	350	13	10	0
03.12.2007	2	35	22	300	18	6	110
15.12.2008	11	61	17	450	17	14	200
16.12.2008	-26	38	14	400	17	14	200
26.01.2010	14	37	20	350	15	8	100
27.01.2010	-42	47	11	400	15	15	110
10.01.2011	-27	35	18	350	17	11	80
11.01.2011	-35	54	15	300	17	14	130
12.01.2011	-17	47	13	300	17	13	110
03.02.2011	-19	27	17	300	15	11	90
08.01.2015	9	44	20	400	15	7	250
09.01.2015	-22	54	13	350	15	12	100
08.02.2016	9	32,6	22	350	14	8	120

при сравнении со спутниковыми данными (рис. 3), в том числе плотную фронтальную облачность, чаще всего наблюдаемую над югом Каспийского моря, и конвективные ячейки, гряды конвективных облаков, характерные для холодных вторжений над теплым водоемом [Вельтищев, Степаненко, 2007]. К сожалению, связи между ошибкой моделирования (ее величиной и знаком) и синоптической ситуацией выявлено не было, так же как и с такими параметрами, как поток скрытого тепла и CAPE.

Однако была выявлена статистически значимая линейная зависимость (с коэффициентом детерминации 0,6) относительного отклонения модельных осадков от влагосодержания воздуха. При низком влагосодержании воздуха модель занижает количество осадков по сравнению с наблюдениями, а при высоком влагосодержании ошибка близка к нулю, либо происходит слабое завышение количества осадков (до 14%). Также происходит незначительное завышение осадков моделью при небольшой разнице температуры воды и воздуха, а при большом  $\Delta T$  модель занижает количество осадков (коэффициент детерминации этой связи составляет 0,5, рис. 4). Причина обнаруженных связей требует дополнительного исследования, обнаружить ее пока не удалось.

Таким образом, выделяется группа эпизодов с небольшим положительным отклонением моделируемых осадков и относительной ошибкой около

40% – 26 января 2010 г., 8 января 2015 г. и 8 февраля 2016 г., которая характеризуется очень высоким влагосодержанием столба атмосферы, относительно небольшой величиной скачка температуры вода-воздух и ТПО 14–15 градусов.

**Выводы:**

– численное моделирование восьми эпизодов экстремальных осадков на иранском побережье Каспийского моря с помощью модели WRF-ARW выявило способность данной модели воспроизводить экстремальные осадки. Значения абсолютных ошибок достаточно велики, что характерно при моделировании такого сложного и пространственно неоднородного явления, как осадки (тем более в условиях сложного рельефа). Количественные оценки результатов моделирования суточных сумм осадков сильно отличаются для разных эпизодов, среднее относительное отклонение меняется от -42% до 14% (в абсолютных показателях от -9 до 3,5 мм). Для некоторых эпизодов абсолютная ошибка и отклонение малы. Сравнение со спутниковыми снимками показало, что модель хорошо воспроизводит поля облачности, в том числе гряды кучевых облаков над озером и более мощную облачность на атмосферных фронтах;

– максимальное количество осадков в среднем выпадает на прибрежных станциях, минимальное – в горах. Такое пространственное распределение осадков воспроизводится моделью, ошибка моде-

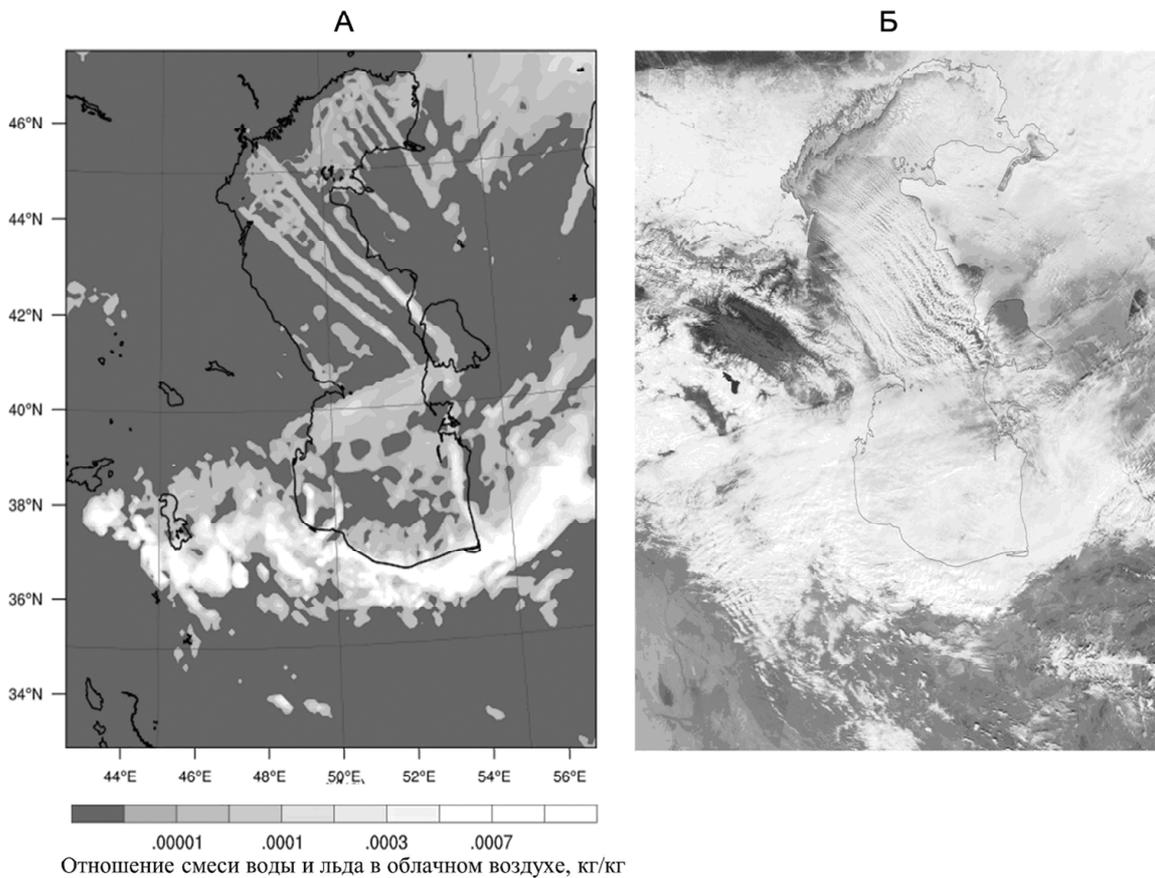


Рис. 3. А – карта отношения смеси воды и льда в облачном воздухе (сумма по всему столбу атмосферы) в 6 ч ВСВ 25 февраля 2007 г. по результатам моделирования в области d02, Б – снимок облачности Terra/Modis в видимом диапазоне для того же района, сделанный около 7 ч ВСВ того же числа

Fig. 3. А – map of water-ice ratio in cloudy air (for the whole atmospheric column) at 6 a.m. UTC, February 25, 2007, on the results of modeling for d02 region; Б – Terra/Modis visible-range image of clouds for the same region taken at about 7 a.m. UTC the same date

лирования примерно равна для горных и равнинных районов;

– тестовые эксперименты с различными параметризациями подсегочных процессов показали, что наибольшая чувствительность моделируемых экстремальных осадков проявляется к параметризации пограничного слоя. Использование нелокальной схемы YSU приводит к переоценке перемешивания в пограничном слое, что ведет к завышению величины перепада температуры в нижней тропосфере и величины CAPE, что в конечном итоге приводит к серьезному завышению количества осадков. Выбор остальных параметризаций физических процессов (конвекции, микрофизики облаков) меньше влияет на результат моделирования;

– знак и величина отклонения модельных осадков от наблюдаемых в среднем для всех станций зависят от величины перепада температуры между поверхностью Каспийского моря и воздухом на высоте 2 м в южной части акватории, а также от влагосодержания столба атмосферы над регионом.

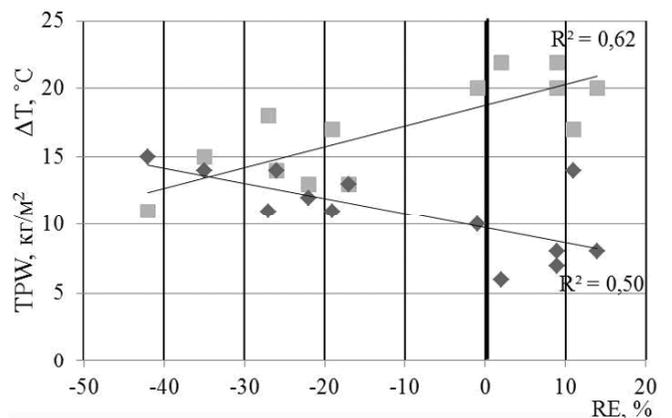


Рис. 4. Диаграмма рассеяния относительного отклонения RE модельных осадков от наблюдений и общего влагосодержания TPW (квадраты) и перепада температуры  $\Delta T$  (ромбы). Также показаны регрессионные прямые и коэффициент детерминации

Fig. 4. Dispersion diagram for the relative deviation RE of simulated precipitation from observations and the total water amount TPW (squares) and the temperature amplitude  $\Delta T$  (rhombs). Regression lines and coefficient of determination are also shown

**Благодарности.** Авторы благодарят проф. Кислова А.В. и проф. Семенова Е.К. за полезные обсуждения результатов и помощь в проведении синоптического анализа. Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект «Иран\_а» № 17-55-560017.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азади М., Тагизаде Э., Мемариан М.Х., Дмитриева-Араго Л.Р.* Сравнение результатов прогноза осадков на основе мезомасштабных моделей на территории Ирана в холодный период года // *Метеорология и гидрология*. 2013. № 9. С. 31–42.
- Бугаев В.А., Джорджио В.А., Козик Е.М., Петросяц М.А. и др.* Синоптические процессы Средней Азии. Ташкент: Издательство АН УзССР, 1957. 477 с.
- Вельтицев Н.Ф., Жупанов В.Д., Павлюков Ю.Б.* Краткосрочный прогноз сильных осадков и ветра с помощью разрешающих конвекцию моделей WRF // *Метеорология и гидрология*. 2011. № 1. С. 5–18.
- Вельтицев Н.Ф., Степаненко В.М.* Мезометеорологические процессы. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 126 с.
- Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения / Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Обнинск: ИГ СОЦИН. 2009. 62 с.
- Павлюков Ю.Б., Зарипов Р.Б., Лукьянов А.Н., Шестакова А.А., Шумилин А.А., Травов А.В.* Оценка информативности радиолокационных данных при анализе состояния атмосферы в Московском регионе // *Метеорология и гидрология*. 2017. № 6. С. 5–21.
- Anyah R.O., Semazzi F.H.M. and Xie L.* Simulated physical mechanisms associated with climate variability over lake Victoria basin in East Africa // *Mon. Weath. Rev.* 2006. Vol. 134. P. 3588–3609.
- Cohen A.E., Cavallo S.M., Coniglio M.C., Brooks H.E.* A review of planetary boundary layer parameterization schemes and their sensitivity in simulating southeastern US cold season severe weather environments // *Weather and forecasting*. 2015. Vol. 30. № 3. P. 591–612.
- Ghafarian P., Pegahfar N., Owlad E.* Multiscale analysis of lake effect snow over the southwest coast of the Caspian Sea (31 January–5 February 2014) // *Weather*. 2018. Vol. 73. № 1. P. 9–14.
- Ghasemi A.R., Khalili D.* The association between regional and global atmospheric patterns and winter precipitation in Iran // *Atmospheric Research*. 2008. Vol. 88. № 2. P. 116–133.
- Gilmore J.B., Evans J.P., Sherwood S.C., Ekström M., Ji F.* Extreme precipitation in WRF during the Newcastle East Coast Low of 2007 // *Theoretical and applied climatology*. 2016. Vol. 125. № 3–4. P. 809–827.
- Hjelmfelt M.* Numerical study of the influence of environmental conditions on lake-effect snowstorms over lake Michigan // *Mon. Weath. Rev.* 1990. Vol. 118. P. 138–150.
- Hu X.M., Nielsen-Gammon J.W., Zhang F.* Evaluation of three planetary boundary layer schemes in the WRF model // *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 2010. Vol. 49. № 9. P. 1831–1844.
- Jankov I., Gallus Jr.W.A., Segal M., Shaw B., Koch S.E.* The impact of different WRF model physical parameterizations and their interactions on warm season MCS rainfall // *Weather and forecasting*. 2005. Vol. 20. № 6. P. 1048–1060.
- Khoshakhlagh F., Farid M.N., Negah S., Momenpour F., Hadinezhad S.S., Asadi O.E.* Lake effect snow phenomenon and its role on heavy snowfall in the southwest of the Caspian sea // *Geographic Space*. 2016. Vol. 16. № 53. P. 41–45.
- Knebl M.R. and Yang Z.-L.* Assessing the capability of a regional-scale weather model to simulate extreme precipitation patterns and flooding in central Texas // *Weather and Forecasting*. 2008. Vol. 23. P. 1102–1126.
- Meredith E.P., Semenov V.A., Maraun D. et al.* Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme // *Nature Geoscience*. 2015. Vol. 8. № 8. P. 615–629.
- Molanejad M., Soltani M., Ranjbar SaadatAbadi A., Babu C.A., Sohrabi M., Martin M.V.* Climatology of Cyclones and Their Tracking over Southern Coasts of Caspian Sea // *International Journal of Environmental Research*. 2015. Vol. 9. № 1. P. 117–132.
- Schumacher R.S., Johnson R.H.* Mesoscale processes contributing to extreme rainfall in a midlatitude warm-season flash flood // *Mon. Weath. Rev.* 2008. Vol. 136. P. 3964–3986.
- Theeuwes N.E., Steeneveld G.J., Krikken F., Holtsl A.A.M.* Mesoscale modeling of lake effect snow over Lake Erie – sensitivity to convection, microphysics and the water temperature // *Adv. Sci. Res.* 2010. Vol. 4. P. 15–22.
- Yu E.T.* High-resolution seasonal snowfall simulation over Northeast China // *Chinese Science Bulletin*. 2013. Vol. 58. № 12. P. 1412–1419.

Поступила в редакцию 12.07.2018  
 После доработки 20.06.2019  
 Принята к публикации 28.06.2019

**A.A. Shestakova<sup>1</sup>, P.A. Toropov<sup>2,3</sup>**

**SIMULATION OF EXTREME WINTER PRECIPITATION  
 ON THE SOUTHERN COAST  
 OF THE CASPIAN SEA**

Extreme precipitation on the Iranian coast of the Caspian Sea is most often observed during the cold season and results from the combination of synoptic processes and mesoscale effects arising under the influence of a large body of water and topography factors. Numerical simulation of the most intense precipitation events in the densely populated area is important for improving the methods of precipitation forecast. On the other hand, a number of questions arise about the physical mechanisms of extreme precipitation, i.e. the role of the planetary boundary layer, the lake effect, the topography. We carried out numerical modeling of eight episodes of extreme precipitation for the period of 2005–2016 using the WRF-ARW numerical mesoscale model; a detailed verification of the model by observational data was performed. It is shown that the model successfully reproduces maximum precipitation in the coastal areas. However, the precipitation modeling errors could be very high when comparing with the station

<sup>1</sup> A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences, Engineer; *e-mail*: hestakova.aa.92@gmail.com

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Associate Professor; PhD in geography; *e-mail*: tormet@inbox.ru

<sup>3</sup> Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Leading Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail*: tormet@inbox.ru

data. Experiments with various parametrization of physical processes have shown the greatest sensitivity of the simulated precipitation to the parametrization of the atmospheric planetary boundary layer. The relationship between the intensity of precipitation on the Iranian coast of the Caspian Sea and the integral moisture content of the atmospheric column and the sea surface temperature in the southern part of the lake was also revealed.

*Key words:* numerical experiments, WRF-ARW model, Iran, mountain precipitation

*Acknowledgements.* The authors are grateful to Prof. A.V. Kislov and Prof. E.K. Semenov for the stimulating discussion of the results and the assistance in the synoptic analysis. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project Iran\_a 17-55-560017)

## REFERENCES

- Anyah R.O., Semazzi F.H.M., Xie L.* Simulated physical mechanisms associated with climate variability over lake Victoria basin in East Africa // *Mon. Weath. Rev.* 2006. Vol. 134. P. 3588–3609.
- Azadi M., Taghizadeh E., Memarian M.H., Dmitrieva-Arrago L.R.* Comparing the results of precipitation forecast based on mesoscale models on the territory of Iran during the cold season. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2013. Vol. 38. Issue 9. P. 605–613.
- Bugaev V.A., Dzhordzhio V.A., Kozik E.M., Petrosyants M.A. et al.* Sinopticheskie protsessy v Sredney Azii [Synoptical processes in the Central Asia] / Tashkent, Izd-vo AN UzSSR, 1957. 477 p. (in Russian)
- Cohen A.E., Cavallo S.M., Coniglio M.C., Brooks H.E.* A review of planetary boundary layer parameterization schemes and their sensitivity in simulating southeastern US cold season severe weather environments // *Weather and forecasting.* 2015. Vol. 30. № 3. P. 591–612.
- Ghafarian P., Pegahfar N., Owlad E.* Multiscale analysis of lake effect snow over the southwest coast of the Caspian Sea (31 January–5 February 2014) // *Weather.* 2018. Vol. 73. № 1. P. 9–14.
- Ghasemi A.R. and Khalili D.* The association between regional and global atmospheric patterns and winter precipitation in Iran // *Atmospheric Research.* 2008. Vol. 88. № 2. P. 116–133.
- Gilmore J.B., Evans J.P., Sherwood S.C., Ekström M., Ji F.* Extreme precipitation in WRF during the Newcastle East Coast Low of 2007 // *Theoretical and applied climatology.* 2016. Vol. 125. № 3–4. P. 809–827.
- Hjelmfelt M.* Numerical study of the influence of environmental conditions on lake-effect snowstorms over lake Michigan // *Mon. Weath. Rev.* 1990. Vol. 118. P. 138–150.
- Hu X.M., Nielsen-Gammon J.W., Zhang F.* Evaluation of three planetary boundary layer schemes in the WRF model // *Journal of Applied Meteorology and Climatology.* 2010. Vol. 49. № 9. P. 1831–1844.
- Jankov I., Gallus Jr.W.A., Segal M., Shaw B., Koch S.E.* The impact of different WRF model physical parameterizations and their interactions on warm season MCS rainfall // *Weather and forecasting.* 2005. Vol. 20. № 6. P. 1048–1060.
- Khoshakhlagh F., Farid M.N., Negah S., Momenpour F., Hadinezhad S.S., Asadi O.E.* Lake effect snow phenomenon and its role on heavy snowfall in the southwest of the Caspian sea // *Geographic Space.* 2016. Vol. 16. № 53. P. 41–45.
- Knebl M.R., Yang Z.-L.* Assessing the capability of a regional-scale weather model to simulate extreme precipitation patterns and flooding in central Texas // *Weather and Forecasting.* 2008. Vol. 23. P. 1102–1126.
- Meredith E.P., Semenov V.A., Maraun D. et al.* Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme // *Nature Geoscience.* 2015. Vol. 8. № 8. P. 615–629.
- Molanejad M., Soltani M., Ranjbar SaadatAbadi A., Babu C.A., Sohrabi M., Martin M.V.* Climatology of Cyclones and Their Tracking over Southern Coasts of Caspian Sea // *International Journal of Environmental Research.* 2015. Vol. 9. № 1. P. 117–132.
- Nastavlenie po kratkosrochnym prognozam pogodyi obshchego naznacheniya* [Manual on the general purpose short-term weather forecasts] / *Federalnaya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushey sredy (Rosgidromet), Obninsk, IG-SOTsIN,* 2009. 62 p. (in Russian)
- Pavlyukov Y.B., Zaripov R.B., Luk'yanov A.N., Shestakova A.A., Shumilin A.A., Travov A.V.* The impact of radar data assimilation on atmosphere state analysis in the Moscow region // *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2017. Vol. 42. P. 357–368.
- Schumacher R.S., Johnson R.H.* Mesoscale processes contributing to extreme rainfall in a midlatitude warm-season flash flood // *Mon. Weath. Rev.* 2008. Vol. 136. P. 3964–3986.
- Theeuwes N.E., Steeneveld G.J., Krikken F., Holisl A.A.M.* Mesoscale modeling of lake effect snow over Lake Erie – sensitivity to convection, microphysics and the water temperature // *Adv. Sci. Res.* 2010. Vol. 4. P. 15–22.
- Vel'tishchev N.F., Zhupanov V.D., Pavlyukov Y.B.* Short-range forecast of heavy precipitation and strong wind using the convection-allowing WRF models // *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2011. Vol. 36. Issue 1. P. 1–10.
- Vel'tishchev N.F., Stepanenko V.M.* Mezometeorologicheskie protsessy [Mesometeorological processes]. M.: Geograficheskiy fakultet MGU, 2007. 126 p. (in Russian)
- Yu E.T.* High-resolution seasonal snowfall simulation over Northeast China // *Chinese Science Bulletin.* 2013. Vol. 58. № 12. P. 1412–1419.

Received 12.07.2018

Revised 20.06.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 551.555

С.Б. Крашенинникова<sup>1</sup>, М.А. Крашенинникова<sup>2</sup>

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЧИВОСТИ СКОРОСТИ ВЕТРА В ПРИЧЕРНОМОРСКОМ РЕГИОНЕ РОССИИ НА ОСНОВЕ ВЫБРАННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЕКТА CMIP5

На основе сравнительного анализа с данными на метеостанциях выявлены три модели *GFDL-CM3*, *IPSL-CM5B-LR* и *MPI-ESM-MR* проекта *CMIP5*, которые лучше всего воспроизводят внутригодовые и межгодовые характеристики, а также долговременные тенденции изменения скорости ветра в причерноморском регионе России. Выбранные модели хорошо воспроизводят средние значения скорости ветра (3–5 м/с) и ее внутригодовой цикл, свойственный для этого региона – с максимумом зимой (5±0,5 м/с) и минимумом летом (3±0,5 м/с). По данным модели *GFDL-CM3* показано снижение скорости ветра к середине XXI века (2046–2055 гг.) на 3–5% по сравнению с периодом 2006–2015 гг., которое составило <0,3 м/с.

*Ключевые слова:* прогноз, Черное море, метеостанции п-ва Крым, внутригодовые характеристики, межгодовые характеристики, долговременные тренды, скорость ветра

**Введение.** Причерноморская область России является одним из наиболее перспективных регионов для курортно-рекреационного использования. Здесь развиваются промышленность и сельское хозяйство. В прибрежной зоне Черного моря расположены крупные торговые, пассажирские и рыбные порты, туристические базы и пляжи, поэтому оценка ветровой обстановки и ее долгосрочное прогнозирование необходимы для обеспечения стабильного функционирования перечисленных объектов. Сезонная изменчивость приводного ветра является основной причиной формирования годового хода общей циклонической циркуляции в Черном море, также ветер является определяющим фактором ее осредненной циркуляции. Это подтверждает актуальность дальнейших исследований ветровых характеристик в внутригодовом и межгодовом приближении.

Исследованию региональных изменений параметров ветра посвящены многие работы, в частности, по Черноморскому региону России [Воскресенская с соавт., 2016; Гидрометеорология и гидрохимия, 1991; Гнатюк с соавт., 2015; Костяной с соавт., 2014; Иванов с соавт., 2011; Репетин с соавт., 2008; и др.], также существуют региональные проекции климата в рамках проекта *CORDEX* [Jacob et al., 2014; Önoel et al., 2014] и 5-й Оценочный доклад МГЭИК об изменениях климата [Intergovernmental ..., 2014]. В данных публикациях упоминается, что уменьшение скорости ветра наблюдается со второй половины XX века. Среднегодовые и среднемесячные ее значения, по данным гидрометеорологических станций южного побережья России за десятилетие 1971–1980 гг., снизились по сравнению с 1936–1965 гг. [Гидрометеорология и гидрохимия, 1991]. Похожая тенденция отмечена для северо-восточной части Черного моря в работе Иванова с соавторами [2011]. Линейные тренды скорости ветра на метеостанциях г. Симферополя, г. Евпатории, г. Керчь, г. Фео-

досия за период 1950–2015 гг. также отрицательны [Воскресенская с соавт., 2016]. Понижение скорости ветра отмечается во все сезоны [Репетин с соавт., 2008]. В период с 1979–2011 гг. тренд скорости ветра над всей акваторией Черного моря оказался положительным вследствие усиления ветра в 1995–2005 гг. и составил 0,02 м/с в год [Костяной с соавт., 2014].

Численное моделирование является одним из основных инструментов для изучения изменения климата и климатообразующих факторов [Ефимов с соавт., 2011; Moss et al., 2010; Taylor et al., 2012 и др.]. К настоящему времени в рамках проекта *CMIP5* разработаны различные глобальные климатические модели. С их помощью воспроизведены изменения климата планеты в XX и XXI столетиях с учетом различных вариантов антропогенной нагрузки на окружающую среду [Moss et al., 2010; Taylor et al., 2012]. Они используются для прогнозирования изменений глобального климата планеты. Таким образом, численное моделирование позволяет рассчитывать многие гидрометеорологические параметры: направление и скорость ветра, температуру воздуха, давление и др.

Имеются также региональные модели *HadRM3P (PRECIS)*, *INMCM4*, *RegCM4*, для которых в качестве входных данных используются результаты глобального моделирования [Ефимов с соавт., 2011, 2015]. Входные данные с низким пространственным разрешением являются граничными условиями на боковых границах расчетного домена. Для внутренней части домена интегрирование производится с повышенным пространственным разрешением, которое позволяет учесть региональные особенности подстилающей поверхности и очертания береговой линии. В отличие от глобальных моделей, в региональных можно исследовать локальные особенности мезомасштабной атмосферной циркуляции [Ефимов с соавт., 2011]. С другой сторо-

<sup>1</sup> Институт морских биологических исследований РАН, им. А.О. Ковалевского отдел функционирования морских экосистем, ст. науч. с., канд. геогр. н.; svetlanabk@mail.ru

<sup>2</sup> Институт природно-технических систем, лаборатория крупномасштабного взаимодействия океана и атмосферы и изменений климата, мл. науч. с.; ktrmag61@mail.ru

ны, сравнение таких моделей с различным приближением хорошо подходит для описания долговременных климатических изменений [Ефимов с соавт., 2015], а также составления прогнозов. При анализе данных модельных расчетов, предоставляемых международными центрами для конкретных регионов, важно знать качество получаемых прогнозов.

Для анализа и прогноза ветроэнергетического потенциала акватории Черного моря и прибрежной зоны России используются специализированные климатические характеристики ветра. Они подразделяются на 3 группы [Гарцман, 1990, Гнатюк с соавт., 2015]: 1 – оценка особенностей ветрового режима (средние многолетние скорости, СКО); 2 – оценка характеристик, предназначенных для установления оптимального соотношения между мощностью ветрового потока и мощностью ветроэнергетической установки (средние многолетние значения повторяемости ветров по величинам); 3 – оценка неблагоприятного ветрового режима для использования энергетических ресурсов (экстремальные значения скорости ветра). В настоящей работе будет рассмотрена возможность использования данных глобальных численных моделей проекта *CMIP5* для оценки специализированных климатических характеристик ветра первой группы.

Нами выполнен сравнительный анализ оценок скорости ветра, полученных на метеостанциях и по данным выбранных моделей проекта *CMIP5*. Исследование изменений ветровых характеристик в Причерноморском регионе России на внутригодовых и межгодовых масштабах позволило сделать приблизительный прогноз ветровых условий на ближайшие 50 лет.

**Материалы и методы исследования.** В работе сравнивались результаты расчетов среднегодовой скорости ветра на высоте 10 м по данным глобальных климатических моделей проекта *CMIP5* (*MPI-ESM-LR*, *MPI-ESM-MR*, *HadGEM2-AO*, *IPSL-CM5A-LR*, *IPSL-CM5B-LR*, *INMCM4*, *GFDL-CM3* и др.) [Taylor et al., 2012], имеющих пространственное разрешение от 1,8° до 3,75°, и данным метеостанций (<http://gis.ncdc.noaa.gov/map/viewer/#app=cdo&cfg=cdo&theme=temp&layers=1>) г. Евпатории, г. Керчь. Для сравнения были выбраны именно эти метеостанции по причине наличия наиболее длинных и непрерывных данных наблюдений. Кроме того, метеостанции г. Евпатория и г. Керчь расположены ближе к узлам сеток моделей проекта *CMIP5*. В настоящей работе использовался метод «ближайшего соседа»; при этом данные на метеостанциях считались эталонными. Интерполяция данных моделей *CMIP5* в узлы более мелкой сетки не проводилась, чтобы не вносить дополнительную методическую погрешность. Сравнение данных скорости ветра моделей проекта *CMIP5* с данными наблюдений на ближайших метеостанциях проводилось для периода с 1950 г. (или 1955 г., в зависимости от имеющихся данных на метеостанциях) до 2005 года. По полученным рядам среднегодовой скорости ветра были рассчитаны линейные

тренды за период 1950–2005 гг., значимость которых оценивалась по *t*-критерию Стьюдента. Среднегодовые значения скорости ветра ( $V_{ср}$ ) и их среднеквадратичные отклонения (СКО) за период с 1950 г. (1955 г.) по 2005 гг. рассчитывались по данным метеостанций и историческому массиву данных моделей проекта *CMIP5*.

Для исследования внутригодовой и межгодовой изменчивости скорости ветра использовались данные моделей проекта *CMIP5* за 2006–2055 г. со сценарием умеренных антропогенных выбросов парниковых газов RCP 4.5 [Moss et al., 2010].

На рис. 1 отображены узлы сетки данных для выбранных моделей проекта *CMIP5* в Причерноморском регионе России. Для получения устойчивых значений средней скорости ветра по месяцам, с учетом выделенных квазидесятилетних колебаний в изменчивости скорости ветра в рассматриваемом регионе [Жуков с соавт., 2012], а также в соответствии с рекомендациями ГГО им. А.И. Воейкова [Тупикин с соавт., 1998], анализировались 10-летние периоды 2006–2015 гг. и 2046–2055 гг. Характеристики скорости ветра рассчитывались отдельно для каждой модели.

Для построения карт пространственного распределения скорости ветра по сезонам осреднялись данные по зимним (декабрь–февраль), весенним (март–май), летним (июнь–август), осенним (сентябрь–ноябрь) месяцам для периодов 2006–2015 гг. и 2046–2055 гг. В работе также построены карты распределения характеристик разности скорости ветра между этими периодами для разных сезонов и в среднем за год.

Для анализа возможности применения данных моделей *CMIP5* была проведена работа по выявлению наиболее правильного воспроизведения скорости ветра этими инструментами. По данным моделей *GFDL-CM3*, *IPSL-CM5B-LR*, *MPI-ESM-MR*, *INMCM4*, *IPSL-CM5A-LR*, *MPI-ESM-LR* и *HadGEM2-AO* проекта *CMIP5* и метеостанций в г. Евпатория (запад) за 1950–2005 гг. получены среднегодовые значения скорости ветра ( $V_{ср}$ ) (табл.):  $5,1 \pm 0,2$ ;

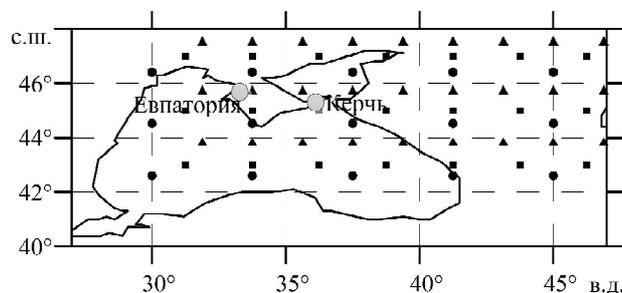


Рис. 1. Карта расположений узлов сетки данных для выбранных моделей проекта *CMIP5* (точки: квадраты – *GFDL-CM3*, круги – *IPSL-CM5B-LR*, треугольники – *MPI-ESM-MR*) и метеостанций в Причерноморском регионе России

Fig. 1. Map of the locations of data grid nodes for selected *CMIP5* project models (points: squares – *GFDL-CM3*, circles – *IPSL-CM5B-LR*, triangles – *MPI-ESM-MR*) and weather stations in the Black Sea region of Russia

Средние значения скорости ветра ( $V_{\text{ср}}$ ) и их среднеквадратические отклонения (СКО) и коэффициентов линейных трендов (А) на метеостанциях п-ва Крым и моделей проекта *CMIP5*

№	Название моделей и метеостанций	$V_{\text{ср}}$ , м/с	СКО	А	$V_{\text{ср}}$ , м/с		СКО	А
					Запад	Восток		
1	<i>MPI-ESM-LR</i>	4,64	0,19	+0,005	4,71	0,21	+0,004	
2	<i>MPI-ESM-MR</i>	4,77	0,16	-0,0001	4,62	0,17	-0,001	
3	<i>HadGEM2-AO</i>	5,38	0,23	0	5,07	0,23	+0,0001	
4	<i>IPSL-CM5A-LR</i>	4,83	0,21	+0,003	4,48	0,18	+0,003	
5	<i>IPSL-CM5B-LR</i>	4,84	0,18	-0,001	4,42	0,19	-0,001	
6	<i>INMCM4</i>	5,64	0,27	+0,001	5,81	0,25	+0,001	
7	<i>GFDL-CM3</i>	5,11	0,21	-0,002	4,69	0,18	-0,002	
8	Евпатория	4,45	0,55	-0,025	–	–	–	
9	Керчь	–	–	–	4,77	0,42	-0,016	

4,8±0,2; 4,8±0,2; 5,6±0,3; 4,8±0,2; 4,6±0,2; 5,4±0,2 и 4,2±0,4; 4,5±0,6 м/с, соответственно; в г. Керчь (восток) за 1955–2005 гг.: 4,7±0,2; 4,4±0,2; 4,6±0,2; 5,8±0,3; 4,5±0,2; 4,7±0,2; 5,1±0,2 и 4,8±0,4 м/с, соответственно. Средние значения скорости ветра на этих метеостанциях и их среднеквадратические отклонения, отражающие величину межгодовой изменчивости, хорошо совпадают с оценками, полученными по данным моделей *GFDL-CM3*, *IPSL-CM5B-LR*, *MPI-ESM-MR*, *IPSL-CM5A-LR* и *MPI-ESM-LR* проекта *CMIP5*, а также с результатами публикаций по теме [Ефимов с соавт., 2011; Иванов с соавт., 2011; Жуков с соавт., 2012; и др.]. Вместе с тем, оценки средней скорости ветра, представленные в публикации А.В. Кара [2005] по спутниковым данным, несколько занижены по сравнению с оценками, полученными в настоящей работе и по данным ре-анализов Иванова с соавторами [2011]. Сравнение результатов расчета  $V_{\text{ср}}$  на метеостанциях с модельными расчетами проекта *CMIP5* показало, что модели *INMCM4* и *HadGEM2-AO* не подходят для климатических исследований в выбранном районе, так как их значения завышены.

Коэффициенты линейных трендов скорости ветра на метеостанциях г. Евпатории и г. Керчь за период 1950 (1955)–2005 гг. имеют отрицательный знак (табл.). Величины коэффициентов линейных трендов равны –0,021 и –0,016, соответственно. Это согласуется с опубликованными данными [Репетин с соавт., 2008; Ефимов с соавт., 2015]. Коэффициенты линейных трендов, полученные по данным расчетов моделей *GFDL-CM3*, *IPSL-CM5B-LR*, *MPI-ESM-MR*, *INMCM4*, *IPSL-CM5A-LR*, *MPI-ESM-LR* и *HadGEM2-AO* (табл.) равны –0,002 (–0,002); –0,0001 (–0,001); –0,0001 (–0,001); +0,001 (+0,001); +0,003 (+0,003); +0,005 (+0,004); +0,0001 (+0,0001), соответственно для запада (востока). То есть только первые три модели правильно воспроизводят отрицательный знак долговременной тенденции ветра. Поскольку ветер – не сильно изменяющийся параметр, а данные, по которым определялись долговременные тренды, охватывают достаточно большой промежуток времени, и выделенные тенденции значимы на 95% доверительном уровне, то полученным результатам можно верить.

На рис. 2 представлены межгодовые характеристики скорости приповерхностного ветра, получен-

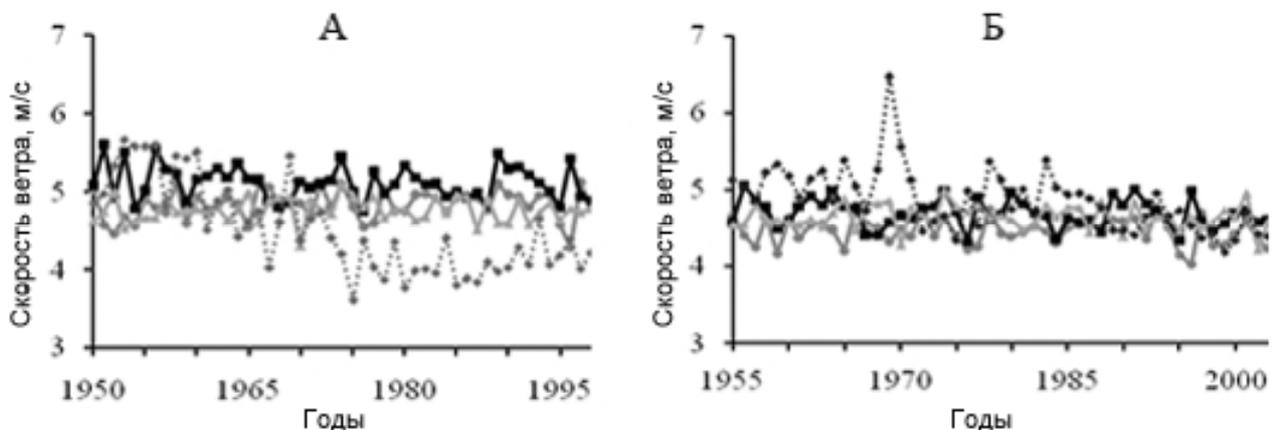


Рис. 2. Межгодовая изменчивость скорости ветра (м/с) по данным на метеостанциях (точки: ромбы): г. Евпатория (А), г. Керчь (Б) и моделей проекта *CMIP5* (точки: квадраты – *GFDL-CM3*, круги – *IPSL-CM5B-LR*, треугольники – *MPI-ESM-MR*)

Fig. 2. Interannual variability of wind speed (m/s) according to data at weather stations (points: diamonds): Evpatoria (A), Kerch (B) and *CMIP5* project models (points: squares – *GFDL-CM3*, circles – *IPSL-CM5B-LR*, triangles – *MPI-ESM-MR*)

ные по данным метеостанций и модельных расчетов проекта *CMIP5*. Данные модели лучше всего воспроизводят характеристику скорости ветра на станции г. Керчь, при этом на станции г. Евпатории совпадение в различной степени наблюдается до 1970 года.

Таким образом, на основании сравнения данных на метеостанциях с данными расчетов глобальных моделей были выбраны три модели *GFDL-CM3*, *IPSL-CM5B-LR* и *MPI-ESM-MR*, которые могут быть использованы для анализа климатических изменений скорости ветра в исследуемом регионе.

Оценки средних скоростей ветра по месяцам за период (2006–2015 гг.) (рис. 3А) и их стандартные отклонения, характеризующие величину межгодовой изменчивости скорости ветра, хорошо показывают реальные значения скорости ветра, свойственные Причерноморскому региону России [Гидрометеорология и гидрохимия, 1991; Иванов с соавт., 2011; Репетин с соавт., 2008]. Также выбранные модели хорошо воспроизводят сезонный цикл скорости ветра с максимумом ( $5,0 \pm 0,5$  м/с) в холодный и минимумом ( $3,0 \pm 0,5$  м/с) в теплый период. Эти результаты также согласуются с известными оценками [Ефимов с соавт., 2002, 2011; Жуков, 2012; и др.]. Анализ результатов модели *GFDL-CM3* за период 2046–2055 гг. (рис. 3Б) показывает уменьшение скорости ветра в середине XXI в. на 3–5% по сравнению с периодом 2006–2015 гг. На (рис. 3В) представлена разница между полученными внутригодовыми циклами характеристик ветра для периодов 2006–2015 гг. и 2046–2055 гг. Установлено, что при анализе разных месяцев это расхождение может быть как отрицательным (зимой-весной она достигает  $-0,2$  м/с), так и положительным (до  $0,4$  м/с за летне-осенний период). При этом по всем моделям в среднем за год наблюдается тенденция к уменьшению скорости ветра на  $<0,3$  м/с через 50 лет.

Крупномасштабные особенности (свыше 100 км) пространственного распределения скорости ветра по данным модели *GFDL-CM3* для разных сезонов периода 2006–2015 гг., хорошо согласуются с выводами публикаций [Гидрометеорология и гидрохимия, 1991; Иванов с соавт., 2011; Ефимов с соавт., 2002, 2011]. К ним относится наличие антициклонической завихренности на северном побережье Азовского моря. Однако, мезомасштабные структуры (несколько десятков км в диаметре), связанные с орографией и краевыми эффектами вблизи берега [Ефимов с соавт., 2011], по данным модели *GFDL-CM3* не выделяются.

На рис. 4 представлены карты пространственного распределения разности скорости ветра (м/с) между периодами 2006–2015 гг. и 2046–2055 гг. для разных сезонов и в среднем за год, полученные по данным модели *GFDL-CM3* в рамках проекта *CMIP5*. Зимой над рассматриваемым участком Причерноморского региона России наблюдаются положительные разности полей  $<0,3$  м/с. Аналогичные значения характерны для западной части территории (г. Евпатория) за весенне-осенний период. Не-

большие отрицательные значения ( $\sim -0,1$  м/с) встречаются весной – осенью на востоке Причерноморского региона России. В среднем за год сравнение карт показывает уменьшение скорости ветра на 3–5% для всей исследуемой территории, что составляет  $0,1–0,3$  м/с за 50 лет.

**Выводы:**

– на основании сравнительного анализа оценок скорости ветра, полученных по данным на метеостанциях и моделей проекта *CMIP5*, выбраны три

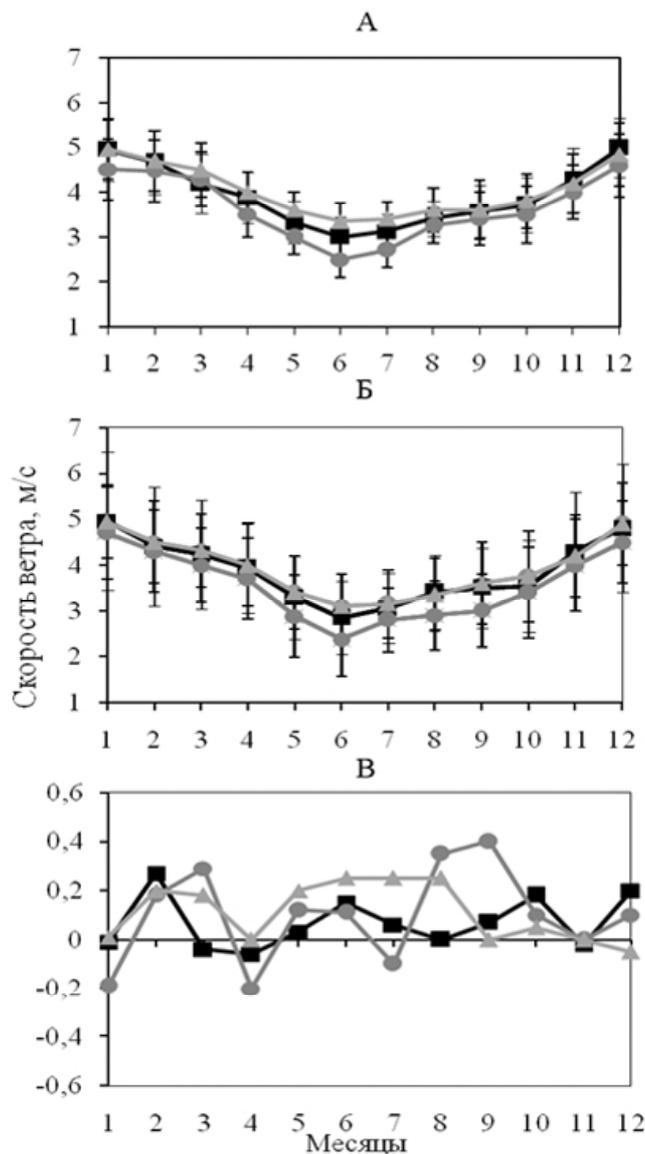


Рис. 3. Внутригодовой цикл скорости ветра за периоды 2006–2015 гг. (А) и 2046–2055 гг. (Б) и разницы между ними (В) по данным глобальных моделей *CMIP5*: *GFDL-CM3* (квадраты), *IPSL-CM5B-LR* (круги), *MPI-ESM-MR* (треугольники). Вертикальные тонкие линии – среднеквадратические отклонения ( $\pm y$ ), обусловленные межгодовой изменчивостью среднемесячных значений за соответствующие периоды

Fig. 3. Intra-annual wind speed cycle for the periods 2006 – 2015 (А) and 2046 – 2055 (Б) and the differences between them (В), according to global *CMIP5* models: *GFDL-CM3* (squares), *IPSL-CM5B-LR* (circles), *MPI-ESM-MR* (triangles). Vertical thin lines – standard deviations ( $\pm y$ ), due to the inter-annual variability of average monthly values for the corresponding periods

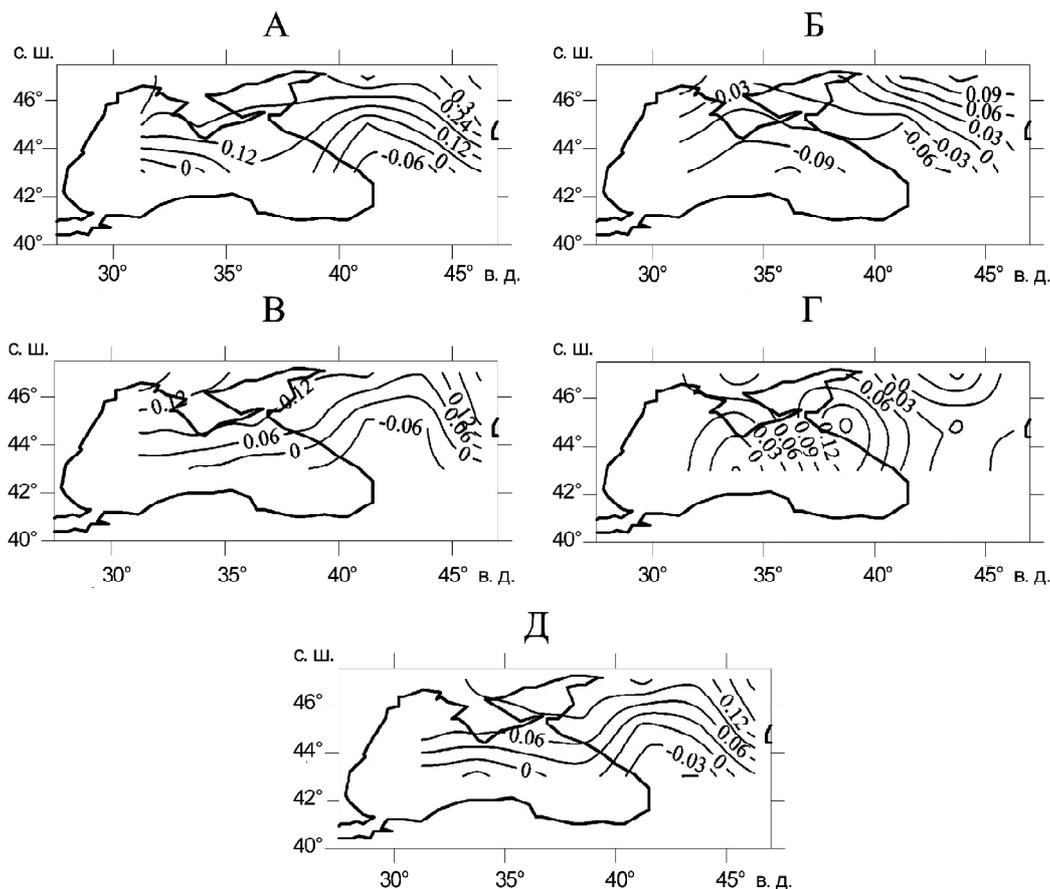


Рис. 4. Карты разницы пространственного распределения скорости ветра (м/с) между периодами 2006–2015 гг. и 2046–2055 гг. для зимы (А), весны (Б), лета (В), осени (Г) и за год (Д) по данным модели *GFDL-CM3*

Fig. 4. Maps of the spatial distribution of wind speed (m/s) between the periods of 2006–2015 and 2046–2055 for winter (A), spring (Б), summer (B), autumn (Г) and annual (Д) according to the model *GFDL-CM3*

модели (*GFDL-CM3*, *IPSL-CM5B-LR* и *MPI-ESM-MR*) для анализа долговременных тенденций, внутригодовой и межгодовой изменчивостей. Оценки среднемесячных скоростей ветра и их среднеквадратические отклонения за период 2006–2015 гг., полученные по выбранным моделям *CMIP5*, хорошо воспроизводят средние значения скорости ветра (3–5 м/с) и ее внутригодовой цикл с зимним максимумом

( $5 \pm 0,5$  м/с) и летним минимумом ( $3 \pm 0,5$  м/с), свойственные Причерноморскому региону России; – на основе произведенного по данным модели *GFDL-CM3* прогноза было выявлено, что в среднем за год (для периода 2046–2055 гг.), скорость ветра оказалась меньше (на 0,3 м/с), чем в период 2006–2015 гг., что обусловлено в большей степени изменениями скорости ветра в летне-осенние месяцы.

**Благодарности.** Исследования выполнены по теме государственного задания Института морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН «Функциональные, метаболические и токсикологические аспекты существования гидробионтов и их популяций в биотопах с различным физико-химическим режимом» (AAAA-A18-118021490093-4).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воскресенская Е.Н., Крашенинникова М.А., Наумова В.А. Оценка качества воспроизведения скорости ветра на территории Крыма в климатических моделях проекта *CMIP5* // Международная научно-техническая конференция «Системы контроля окружающей среды – 2016», Севастополь, 24–27 октября 2016 г., 2016. 127 с.

Гарцман Л.Б. Методы расчета прикладных характеристик режимов поступления, преобразования и оптимального потреб-

ления энергии ветра и солнца // Прикладная климатология: Сб. тр. Всесоюз. совещания. Труды ГГО, 1990. С. 220–239.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. IV. Черное море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеоздат, 1991. 430 с.

Гнатюк Н.В., Бобылев Л.П. Анализ и прогноз ветроэнергетического потенциала акватории Черного моря по данным проекта *CMIP5* // Проблемы гидрометеорологического обеспе-

чения хозяйственной деятельности в условиях изменяющегося климата: материалы Международной научн. конф., 5–8 мая 2015 г. / Под. ред. П.С. Лопуха. Минск: Белорусский государственный университет, 2015. 337 с.

Ефимов В.В., Анисимов А.Е. Климатические характеристики изменчивости поля ветра в Черноморском регионе – Численный реанализ региональной атмосферной циркуляции // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47. № 3. С. 380–392.

Ефимов В.В., Володин Е.М., Анисимов А.Е., Барабанов В.С. Региональные проекции изменений климата в Черноморско-Каспийском регионе в конце XXI столетия // Морской гидрофизический журнал. 2015. Т. 184. № 4. С. 14–28.

Ефимов В.В., Шокуров М.В., Барабанов В.С. Физические механизмы возбуждения ветровой циркуляции внутренних морей // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. № 2. С. 247–258.

Жуков А.Н., Крашенинникова М.А. Пространственно-временная изменчивость поля приповерхностного ветра над Черным морем по спутниковым данным // Экологічна безпека прибережної та шельфової зон та комплексне використання ресурсів шельфу. 2012. Вып. 2. № 26. С. 143–150.

Иванов В.А., Белокопытов В.Н. Океанография Черного моря // Севастополь: МГИ НАН Украины. 2011. Т. 212. 209 с.

Костяной А.Г., Гинзбург А.И., Лебедев С.А. Климатическая изменчивость гидрометеорологических параметров морей России в 1979–2011 годах // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. Санкт-Петербург. 2014. Вып. 570. С. 50–87.

Репетин Л.Н., Белокопытов В.Н. Режим ветра над побережьем и шельфом северо-восточной части Черного моря // Наук. праці УкрНДГМІ. 2008. Вып. 257. С. 84–105.

Тушкин С.Н., Орлова Н.С. Ветроэнергетические ресурсы Калининградской области: Учебное пособие / Под ред. С.Н. Тушкина, Н.С. Орловой // Калининград: Калинингр. ун-т, 1998. 52 с.

Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press. Doi: 10.1017/CB09781107415386.

Jacob D., Petersen J., Eggert B. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research // Reg. Env. Change. 2014. Vol. 14. P. 563–578.

Kara A.B., Hurlburt H.E., Wallcraft A.J. et al. Black Sea mixed layer sensitivity to various wind and thermal forcing products on climatological time scales // J. Climate. 2005. Vol. 18. № 24. P. 5266–5293.

Moss R.H., et al. The next generation of scenarios for climate change research and assessment // Nature. 2010. Vol. 463. № 7282. 747 p.

Önol B., Bozkurt D., Turuncoglu U.U., Sen O.L., Dalfes H.N. et al. Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region // Climate dynamics. 2014. Vol. 42. № 7–8. P. 1949–1965.

Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A. An overview of CMIP5 and the experiment design // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2012. Vol. 93. № 4. P. 485–498.

Поступила в редакцию 28.03.2019

После доработки 01.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

S.B. Krasheninnikova<sup>1</sup>, M.A. Krasheninnikova<sup>2</sup>

#### ESTIMATION OF WIND SPEED VARIABILITY IN THE BLACK SEA REGION OF RUSSIA BASING ON SELECTED MODELS OF THE CMIP5 PROJECT

Basing on the comparative analysis with the data at meteorological stations, three models (GFDL-CM3, IPSL-CM5B-LR and MPI-ESM-MR) of the CMIP5 project were identified, which best reproduce the intra-annual and interannual characteristics and the long-term trends of wind speed change in the Black Sea region of Russia. The selected models adequately reproduce the average wind speed (3–5 m/s) and its intra-annual cycle typical for the region with maximum in winter (5,0±0,5 m/s) and minimum in summer (3,0±0,5 m/s). Using the GFDL-CM3 model data, we showed possible decrease in wind speed by the middle of the XXI century (2046–2055) by 3–5% compared with the period of 2006–2015, when it was <0,3 m/s.

*Key words:* prognosis, the Black Sea, weather stations of the Crimea Peninsula, intra-annual characteristics, interannual characteristics, long-term trends, wind speed

*Acknowledgments.* The research was carried out under the state task theme of the A.O Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS «Functional, metabolic and toxicological aspects of the existence of hydrobionts and their populations in biotopes with different physico-chemical regimes» (AAAA-A18-118021490093-4).

<sup>1</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS, Department of Functioning of Marine Ecosystems, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: svetlanabk@mail.ru

<sup>2</sup> Institute of Natural-Technical Systems, Laboratory of large-scale interaction of the ocean and atmosphere and the climate change, Junior Scientific Researcher; e-mail: krmar61@mail.ru

## REFERENCES

- Efimov V.V., Anisimov A.E.* Klimaticheskie karakteristiki izmenchivosti polya vetra v Chernomorskom regione – Chislennyj reanaliz regional'noj atmosfernoj cirkulyacii [Climate characteristics of the wind field variability in the Black Sea region – Numerical reanalysis of the regional atmospheric circulation] // *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 2011. V. 47. № 3. P. 380–392. (in Russian)
- Efimov V.V., Shokurov M.V., Barabanov V.S.* Fizicheskie mekhanizmy vzbuzhdeniya vetrovoj cirkulyacii vnutrennih morej [Physical mechanisms of the excitation of wind circulation over the internal seas] // *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 2002. Vol. 38. № 2. P. 247–258. (in Russian)
- Efimov V.V., Volodin E.M., Anisimov A.E., Barabanov V.S.* Regional'nye proekcii izmenenij klimata v Chernomorsko-Kaspijskom regione v konce XXI stoletiya [Regional projections of climate change in the Black Sea-Caspian region at the end of the XXI century] // *Morskoy gidrofizicheskij zhurnal*, 2015. Vol. 184. № 4. P. 14–28. (in Russian)
- Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej SSSR. [Hydrometeorology and hydrochemistry of the USSR seas.] T. IV. Gidrometeorologicheskie usloviya. Spb.: Gidrometeoizdat, 1991. 430 p. (in Russian)
- Gnatyuk N.V., Bobylev L.P.* Analiz i prognoz vetroenergeticheskogo potentsiala akvatorii Chernogo morya po dannym proekta CMIP5 [Analysis and forecast of wind energy potential of the Black Sea water area according to the CMIP5 project data] // *Problemy gidrometeorologicheskogo obespecheniya hozyaystvennoj deyatel'nosti v usloviyah izmenyayushchegosya klimata: materialy Mezhdunarodnoy nauchn. konf., 5–8 maya 2015 g. / Belarus. gos. un-t; redkol.: P.S. Lopuh (otv. red.) [i dr.]. Minsk, 2015. 337 p. (in Russian)*
- Harzman L.B.* Metody rascheta prikladnykh karakteristik rezhimov postupleniya, preobrazovaniya i optimal'nogo potrebleniya energii vetra i solntsa [Methods for calculating the application characteristics of the regimes of intake, conversion, and optimal consumption of wind and solar energy] // *Prikladnaya klimatologiya: Sb. tr. Vsesoyuz. Soveshchaniya. Trudy GGO*, 1990. P. 220–239. (in Russian)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report. Cambridge: Cambridge University Press. Doi: 10.1017/CB09781107415386.
- Ivanov V.A., Belokopytov V.N.* Okeanografiya Chernogo morya [Oceanography of the Black Sea], Sevastopol, 2011. 209 p. (in Russian)
- Jacob D., Petersen J., Eggert B.* EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research // *Reg. Env. Change.*, 2014. Vol. 14. P. 563–578.
- Kara A.B., Hurlburt H.E., Wallcraft A.J. et al.* Black Sea mixed layer sensitivity to various wind and thermal forcing products on climatological time scales // *J. Climate*, 2005. Vol. 18. № 24. P. 5266–5293.
- Kostyanov A.G., Ginzburg A.I., Lebedev S.A.* Klimaticheskaya izmenchivost gidrometeorologicheskikh parametrov morey Rossii v 1979–2011 gg. [Climatic variability of hydrometeorological parameters of the seas of Russia in 1979–2011] // *Trudy glavnoy geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voeykova, Sankt-Peterburg*, 2014, Issue. 570. P. 50–87. (in Russian)
- Moss R.H. et al.* The next generation of scenarios for climate change research and assessment // *Nature*. 2010. Vol. 463. № 7282. P. 747–756.
- Önol B., Bozkurt D., Turuncoglu U.U., Sen O.L., Dalfes H.N. et al.* Evaluation of the twenty-first century RCM simulations driven by multiple GCMs over the Eastern Mediterranean–Black Sea region // *Climate dynamics*. 2014. Vol. 42. № 7–8. P. 1949–1965.
- Repetin L.N., Belokopytov V.N.* Rezhim vetra nad poberezhem i shelfom severo-vostochnoy chasti Chernogo morya [Wind regime over the coast and the shelf of the northeastern part of the Black Sea] // *Nauk. pratsi UkrNDGMI*. 2008. Vol. 257. P. 84–105. (in Russian)
- Taylor K.E., Stouffer R.J., Meehl G.A.* An overview of CMIP5 and the experiment design // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2012. Vol. 93. № 4. P. 485–498.
- Tupikin S.N., Orlova N.S.* Vetroenergeticheskie resursy Kalinigradskoy oblasti: Uchebnoe posobie [Wind Energy Resources of the Kaliningrad Region: Textbook] / S.N. Tupikin, N.S. Orlova // *Kaliningr. un-t. Kaliningrad*, 1998. 52 p. (in Russian)
- Voskresenskaya E.N., Krashennnikova M.A., Naumova V.A.* Otsenka kachestva vosproizvedeniya skorosti vetra na territorii Kryima v klimaticheskikh modelyakh proekta CMIP5 [Assessment of the quality of reproducing the wind speed in the territory of Crimea by the climate models of the CMIP5 project] // *Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya «Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy – 2016»*, Sevastopol, 24–27 oktyabrya 2016 g., 2016. 127 p. (in Russian)
- Zhukov A.N., Krashennnikova M.A.* Prostranstvenno-vremennaya izmenchivost' polya pripoverhnostnogo vetra nad Chernym morem po sputnikovym dannym [Spatio-temporal variability of the near-surface wind field over the Black Sea according to satellite data] // *Ekologichna bezpeka priberezhnoï ta shel' fovoï zon ta kompleksne vikoristannya resursiv shel'fu*. 2012. Vol. 2. № 26. P. 143–150. (in Russian)

Received 28.03.2019

Revised 01.06.2019

Accepted 28.06.2019

## РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 598.2.9591.553(571.56)

А.А. Романов<sup>1</sup>, Е.В. Мелихова<sup>2</sup>

## ГЕОГРАФИЯ ПТИЦ В ГОРАХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ

Исследована география фауны птиц гор Северо-Восточной Азии: хребтов Верхоянского, Черского, Сунтар-Хаята, Сетте-Дабан, Колымского и Корякского нагорий. Уточнены границы ареалов, статус пребывания и характер распространения 32 видов птиц на площади около 300 000 км<sup>2</sup>. Для 20 видов подтверждена устойчивость границ их ареалов. Граница распространения ряда видов проходит по Верхоянскому хребту и хребту Сетте-Дабан, что дает основание считать их важными биогеографическими рубежами в пределах изучаемой территории. За пределами известных границ гнездовых ареалов в горах Северо-Восточной Азии впервые встречено 32 вида птиц, большинство из них (n=19) – к северу от известных границ своего распространения. Доля впервые встреченных видов в орнитофауне обследованных горных регионов максимальна в южных отрогах Колымского нагорья, где из 74 гнездящихся видов впервые зарегистрированы 16 (21%). Встречи видов, обнаруженных за пределами известных границ гнездовых ареалов, зафиксированы в 1–15 пунктах на расстоянии от 20 до 1200 км от известных мест гнездования. На северо-востоке Азии для одной группы видов в 2014–2017 гг. впервые обнаружены значительные по площади очаги устойчивого гнездования с относительно высокой численностью, позволяющие считать их составными частями основной области гнездования. Для прочих видов выявлены лишь локальные, вероятно, изолированные территориальные группировки, которые образуют окраину ареала вида в Северо-Восточной Азии (площадь обитания не превышает 50–100 км<sup>2</sup>). Возможно, это области спорадического гнездования или области ареала, где граница имеет явно выраженный пульсирующий характер. Множество видов, впервые обнаруженных в новых районах гнездования за пределами известных границ ареалов, разнообразно по видовому составу. Предположительно, некоторые впервые зарегистрированные в горах Северо-Восточной Азии виды появились здесь в результате гнездования за пределами своего ареала или его расширения. Существующая динамика границ ареалов, вероятно, указывает на продолжение расселения видов и формирования орнитофауны гор Северо-Восточной Азии в условиях изменения климата.

*Ключевые слова:* орнитофауна, обилие, ареал, граница, распространение, территориальная группировка, видовое разнообразие, горы Северо-Восточной Азии, высотный пояс

**Введение.** Мониторинг ареалов птиц – важный элемент орнитологических и биогеографических исследований [Кривенко, 1991]. Исключительную актуальность он приобретает в современных условиях нестабильности или изменения климата на севере Палеарктики [Касимов с соавт., 2011; Касимов с соавт., 2013; Кислов с соавт., 2011; Кислов, Касимов, 2011; Lehtikoinen et al., 2019]. В качестве одного из наиболее показательных объектов подобных мониторинговых работ могут служить ареалы видов птиц, населяющих тундру, лесотундру и тайгу Северной Евразии. Продолжающееся расширение северных границ ареалов птиц в Северной Евразии подтверждено большим количеством исследований [Успенский, 1969; Ларионов, 1984; Борисов, 1987; Рогачева, 1988; Романов, 2013; Сыроечковский-мл. с соавт., 1996; Морозов, 1987, 1995, 2002, 2003; Головатин, Пасхальный, 2005; Рябицев, 2014а, б]. Правоммерно полагать, что столь глобальный процесс не мог не затронуть и горные области Северо-Восточ-

ной Азии, где примеров достоверного расселения на данный момент выявлено не так уж и много [Романов с соавт., 2016; Мелихова, 2016а, б]. Вероятно, это обусловлено не объективно меньшим масштабом расширения ареалов птиц в горах, а значительно более слабой изученностью как этого вопроса в частности, так и орнитофауны гор Северо-Восточной Азии в целом. Большинство горных районов Северо-Восточной Азии исследовалось экспедиционными маршрутами, которые, как правило, никогда не повторялись и, соответственно, не позволяли проводить мониторинг ареалов. Фундаментальная монография А.А. Кищинского [1988] содержит сведения, собранные 50 лет назад, поэтому правоммерно предположить, что какая-то их часть могла устареть и в настоящее время требует пересмотра и корректировки. В свете этого представляется весьма актуальным анализ распространения птиц на предельных участках своего распространения – в горных ландшафтах Северо-Восточной Азии. Современные

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, профессор, докт. биол. н.; e-mail: putorana05@mail.ru

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды, лаборатория сохранения морских и прибрежных экосистем, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: max-kun@yandex.ru

границы ареалов птиц и характер их пребывания в горных районах этой обширной труднодоступной части суши до сих пор изучены явно неудовлетворительно.

**Основная цель** – выявление или уточнение границ ареалов птиц в горах Северо-Восточной Азии, установление эколого-географических закономерностей высотно-поясной, широтной и меридиональной дифференциации фауны и населения птиц.

**Материалы и методы исследований.** Изучаемая территория в 2014–2017 гг. составила около 300 000 км<sup>2</sup> в пределах 60°00'–65°00' с. ш., 132°00'–177°00' в. д. Исследованиями, проведенными в горных регионах Северо-Восточной Азии на высотах 40–2300 м над ур. м., охвачены хребты Верхоянский, Черского, Сунтар-Хаята, Сетте-Дабан, южные отроги Колымского нагорья и северные окраины Корякского нагорья. С 15 мая по 29 июня 2014 г. были обследованы труднодоступные участки Верхоянского хребта в бассейне р. Нямни (в радиусе 10 км от точки 64°30' с. ш., 132°34' в. д.). С 23 мая по 30 июня 2015 г. изучались горные районы вдоль отрезка федеральной трассы «Колыма» (отрезок г. Якутск – г. Магадан) длиной 600 км, протянувшегося с северо-востока от поселка Усть-Нера (64°40' с. ш., 143°00' в. д.) на юго-запад до поселка Развилка (63°00' с. ш., 138°00' в. д.). С 24 мая по 10 июля 2016 г. были обследованы горные районы, сопредельные с федеральной трассой «Колыма» (отрезок г. Якутск – г. Магадан) и расположенной южнее Тенькинской трассой. Протяженность кольцевого маршрута, пройденного на автомашине по этим трассам, – 2000 км. Самый северный район исследований в горах Северо-Восточной Сибири – окрестности Уольчанского хребта (64°37' с. ш., 142°32' в. д.), самый южный – окрестности гор Делурэжчэн (60°26' с. ш., 150°59' в. д.). С 7 июня по 5 июля 2017 г. изучались северные отроги Корякского нагорья: котловина оз. Майниц, долина впадающей в него р. Гытгыпоныткынваам и хребет Тыныльвэ Нангагтэ (63°08'–63°14' с. ш.; 176°42'–176°48' в. д.).

Данные о распространении птиц, определение их обилия и статуса пребывания были получены в ходе пеших маршрутных учетов (проводимых по методике Ю.С. Равкина [1967]), суммарная протяженность которых составила 1564 км, где 899 км было осуществлено в горно-таежном поясе, 302 км – в подгольцовом поясе, 172 км – в гольцовом поясе, 191 км – в нижнем поясе крупных стлаников и гипоарктических тундр Корякского нагорья. В номенклатуре и при составлении списков птиц использовалась методика Л.С. Степаняна [2003]. Названия некоторых видов приняты по Списку птиц Российской Федерации [Коблик с соавт., 2006].

Ареал перелетных птиц дифференцирован на области размножения (гнездования), миграций, кочевок и зимовок. Материалы данной статьи построены на анализе только области гнездования каждого обсуждаемого вида. Эту область вслед за Е.Г. Лаппо с соавторами [2012] мы условно называем гнездовым

ареалом, рассматривая ее как часть видového ареала. В работе приводятся авторские находки видов вне известных гнездовых ареалов, границы которых на настоящий момент принимаются по В.К. Рябицеву [2014а], «Атласу ареалов гнездящихся куликов Российской Арктики» [Лаппо с соавт., 2012] и информационно-поисковой системе «Позвоночные животные России» (<http://www.sevin.ru/vertebrates/>). Новые оригинальные сведения о распространении видов приведены только для достоверно, вероятно и возможно гнездящихся на обследованной территории (табл.). Достоверность гнездования определялась в соответствии с критериями, рекомендованными Европейским комитетом по учету птиц [The EBCC Atlas ..., 1997]. Гнездование считалось подтвержденным при обнаружении гнезд с птенцами или яйцами, встрече взрослых птиц с кормом, слётков или выводков; вероятным – при наблюдении территориального или брачного поведения птиц в подходящих для гнездования местообитаниях, строительства гнезд; возможным – при встрече вида в подходящих для гнездования местообитаниях.

**Физико-географическая характеристика района исследований.** Обследованной территории Северо-Восточной Азии, где по абсолютным высотам господствуют среднегорные участки, свойственно мозаичное сочетание горных хребтов с типично альпийскими формами рельефа и горных массивов с плоскими выровненными вершинами. Абсолютные высоты в исследованном регионе достигают 3000 м н. у. м. Для большей части территории характерны континентальный или резко континентальный типы умеренного климата [Гвоздецкий, Михайлов, 1987; Голубчиков, 1996; Куваев, 2006]. Почти вся территория обследованных горных регионов Северо-Восточной Азии лежит в подзоне северной тайги. В связи с широким распространением горного ландшафта, здесь хорошо развита вертикальная поясность. При этом растительность принято подразделять на три высотно-ландшафтных пояса: горно-таежный (лесной), подгольцовый (горные редколесья и кустарники) и гольцовый (горно-тундровый) [Юрцев, 1968; Сочава, 1980]. Горно-таежный пояс, где повсеместно господствует лиственница Каяндера (*Larix dahurica* Turcz. ex Trautvetter), охватывает пространство от подножий склонов до 1000 м над ур. м. С высотой горная лиственничная тайга постепенно переходит в лиственничные редколесья и редины. Подгольцовый пояс расположен в пределах 1000–1700 м над ур. м. Здесь господствует кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pall.) Regel) с участием березы карликовой (*Betula nana* L.), березы растопыренной (*Betula divaricata* Ledeb.), рододендрона мелколистного (*Rhododendron parvifolium* Adams), можжевельника сибирского (*Juniperus sibirica* Bugsd.). Пояс горных тундр и гольцовых пустынь (гольцовый пояс) распространен до высот 2000–2600 м над ур. м. В гольцовом поясе преобладают мохово-травяные тундры, дриадовые тундры с дриадой точечной (*Dryas punctate* Juz.), мертвые и накипно-лишайниковые пустыни. По глубоким

речным долинам распространены галерейные лиственные леса из благовонного тополя (*Populus suaveolens* Fisch.) и чозоний (*Chosenia arbutifolia* (Pall.) A.K. Skvortsov). Обследованная нами северная часть Корякского нагорья лежит в тундровой зоне, подзоне южных гипоарктических чукотско-корякских тундр [Карта «Зоны и типы ...», 1999]. Здесь выражены гольцовый (от 500–600 м над ур. м. и выше), подгольцовый (до 360–560 м над ур. м.) высотного-ландшафтные пояса и нижний пояс крупных стлаников и гипоарктических тундр (до 100–150 м над ур. м.) [Голубчиков, 1996; Куваев, 2006]. Лесная растительность полностью отсутствует и ее замещают заросли кустарников и кедрового стланика (в терминологии А.А. Кищинского [1988] – «берингийская лесотундра»).

**Результаты исследования.** В 2014–2017 гг. нами зарегистрированы виды птиц ( $n=32$ ), статус пребывания и характер географического распространения которых в горах Северо-Восточной Азии до сих пор были неизвестны, неточны, противоречивы или подтверждены единичными наблюдениями [Кищинский, 1980, 1988; Степанян, 2003; Андреев с соавт., 2006; Находкин с соавт., 2008; Романов, 2013; Рябицев, 2014]. Недостаточная изученность территории может быть связана с недостатком фактической информации о распространении здесь этих видов. Не исключено также, что некоторые виды, впервые зарегистрированные нами в горах Северо-Восточной Азии, появились здесь в результате гнездования за пределами своего ареала или, возможно, даже его расширения. Параметры актуальных встреч птиц приведены в таблице. Находки некоторых видов птиц в 2014–2017 гг. за пределами известных границ гнездовых ареалов отображены на рисунке.

Сведений о распространении в Северо-Восточной Азии 3 видов – большого песочника, сибирского конька, альпийской завирушки – до сих пор явно недостаточно [Лаппо с соавт., 2012; Рябицев, 2014а]. Ареалы перечисленных видов представлены разрозненными изолированными участками или пунктами встреч, в которых характер пребывания вида не всегда ясен. Альпийская завирушка впервые отмечена нами в двух пунктах на расстоянии 100–150 км от известных фрагментов своего ареала. Новые, ранее неизвестные территориальные фрагменты ареала выявлены на хребте Черского (64°27' с. ш., 143°20' в. д.) и хребте Сунтар-Хаята (63°12' с. ш., 139°27' в. д.). Территориальные гнездовые пары альпийской завирушки были зафиксированы авторами также в горах Делурэкчен (60°26' с. ш., 150°58' в. д.) и горных массивах бассейна р. Салтахан (60°45' с. ш., 149°56' в. д.), где ее гнездование ранее считалось неподтвержденным [Рябицев, 2014а]. В этом же районе, в горной местности по среднему течению р. Детрин альпийскую завирушку отмечал А.А. Кищинский (1968). Таким образом, установлено, что северо-восточный фрагмент ее ареала (охватывающий горы Северо-Востока Сибири от хребта Черского до Колымского нагорья) обширнее, чем считалось ранее. В местообитаниях

гольцового пояса всех пунктов встреч альпийская завирушка – обычный или многочисленный вид (5–15 особей/км<sup>2</sup>; доля участия в населении – 6–31%). Весьма мозаичный ареал большого песочника [Рябицев, 2014а] дополнен новыми фрагментами, впервые обнаруженными нами в горах бассейнов рр. Салтахан (60°45' с. ш., 149°56' в. д.) и Кинжал (62°17' с. ш., 151°57' в. д.), удаленными на 500 км от известных районов обитания. Гнездование песочника в этом районе подтверждают данные А.А. Кищинского [1968], который отмечал его недалеко от мест наших находок. Большой песочник также встречен нами в двух известных пунктах гнездования вне ареала (горы бассейна р. Нямни (Верхоянский хребет), Нельканский перевал (хребет Черского), табл., рис.). Во всех пунктах встреч этот кулик был редок. Пункт возможного гнездования сибирского конька впервые обнаружен нами на Нельканском перевале ((хребет Черского), табл.) на расстоянии около 300 км от ранее известных мест обитания.

Ареалы остальных 29 рассматриваемых видов в пределах Северо-Восточной Азии сплошные. У некоторых видов они также включают в себя относительно небольшие по площади участки или отдельные пункты гнездования, удаленные на значительное расстояние от границ основной части ареала.

По дальности обнаружения от известных мест находок виды ( $n=22$ ), отмеченные в 1–4 пунктах, условно разделены на три группы.

К первой отнесены виды ( $n=4$ ), впервые зарегистрированные нами на расстоянии менее 100 км от известных границ их распространения. Для сибирского пепельного улита, синехвостки и сибирского дрозда полученные данные, вероятно, являются уточнением границ ареалов. Кряквя южнее наших пунктов встреч, на Колымском нагорье, была охарактеризована А.А. Кищинским [1968] 50 лет назад как редкий пролетный вид. В настоящей работе авторы предполагают пульсацию границ или расширение ареала этого вида на основе явных признаков гнездового поведения.

Виды ( $n=10$ ) второй группы были впервые встречены на расстоянии 100–400 км от известных мест их гнездования. Вероятно гнездящиеся выпь и варакуша отмечены в разрывах их ареалов. Возможно, эти разрывы не столь существенны, как считалось ранее. Для белобровика в дополнение к известным был зарегистрирован еще один пункт гнездования за пределами ареала. На Колымском нагорье авторами была зарегистрирована единичная встреча чирка-трескунка. Аналогичное явление А.А. Кищинский [1968] также отмечал в этом регионе, но севернее нашего пункта встречи. Вертишейка встретила в двух новых пунктах. К.А. Воробьев [1963] фиксировал находку вертишейки в районе Зеленого Мыса на р. Колыме и высказал предположение, что она может быть распространена по всей долине р. Колымы, но, являясь малозаметным видом, даже при ее присутствии не всегда может быть встречена. С учетом нашей находки и

## География встреч видов птиц, зарегистрированных

Вид	Пункт встречи	Географические координаты	Расстояние от известных границ гнездового ареала, км	Даты встреч	Высотный пояс – обилие в пункте встречи, особи /км <sup>2</sup>	Характер распространения
Большая выпь ( <i>Botaurus stellaris</i> (Linnaeus, 1758))	р. Ават-Юрюете	64°27'10,15" с. ш. 144°38'33,02" в. д.	250	23 мая 2015	Г/т – 0,8	единично
	р. Сарылах	64°26'34,45" с. ш. 142°47'16,96" в. д.	300	6 июня 2015	Г/т – 0,6	единично
Кряква ( <i>Anas platyrhynchos</i> Linnaeus, 1758)	р. Сарылах	64°26'34,45" с. ш. 142°47'16,96" в. д.	100	5–6, 8 июня 2015	Г/т – 5,5	локально
	федеральная трасса «Колыма», между пос. Усть-Нера и пер. Лошкалах	–	50	6 июня 2016	–	локально
Чирок-трескунок ( <i>Anas querquedula</i> Linnaeus, 1758)	хр. Черге	62°42'02,50" с. ш. 148°50'00,62" в. д.	250	29 июня 2016	Г/т – 2,7	единично
Зимняк ( <i>Buteo lagopus</i> (Pontoppidan, 1763))	Нельканский пер.	64°30'38,46" с. ш. 143°25'25,08" в. д.	350	26 мая 2016	П/т – 0,005	единично
	р. Кинжал	62°17'05,15" с. ш. 151°57'00,07" в. д.	650	27 июня 2016	Г – 10	единично
Обыкновенный канюк ( <i>Buteo buteo</i> (Linnaeus, 1758))	р. Тирехтях	64°03'41,88" с. ш. 141°03'04,10" в. д.	100	14 июня 2015	Г/т – 0,1	единично
	Майманджинский хр.	61°09'36,69" с. ш. 152°07'26,65" в. д.	250	19 июня 2016	П/т – 0,7	единично
	федеральная трасса «Колыма», между поворотом на пос. Омсукчан и поворотом на пос. Сеймчан	–	250	22 июня 2016	–	единично
Большой улит ( <i>Tringa nebularia</i> (Gunnerus, 1767))	р. Тирехтях	64°03'41,88" с. ш. 141°03'04,10" в. д.	100	14 июня 2015	Г/т – 0,9	единично
	р. Эльги	64°32'38,01" с. ш. 141°47'35,90" в. д.	200	1 июля 2016	Г/т – 4,8	локально
	р. Ават-Юрюете	64°27'10,15" с. ш. 144°38'33,02" в. д.	250	23 мая 2015	Г/т – 47,4	повсеместно
	федеральная трасса «Колыма», между хр. Черге и поворотом на пос. Эльгинский	–	100	30 июня 2016	–	повсеместно
Сибирский пепельный улит ( <i>Heteroscelus brevipes</i> (Vieillot, 1816))	р. Куранах	63°01'04,82" с. ш. 138°25'22,67" в. д.	30	23 июня 2015, 9–10 июля 2016	Г/т – 0,3	единично
Большой песочник ( <i>Calidris tenuirostris</i> (Horsfield, 1821))	р. Нямни	64°29'42" с. ш. 132°34'19" в. д.	0	23 мая 2014	Г – 0,9	единично
	Нельканский пер.	64°30'38,46" с. ш. 143°25'25,08" в. д.	0	5 июня 2016	Г – 0,8	локально
	р. Салтахан	60°45'49,63" с. ш. 149°56'39,35" в. д.	500	14 июня 2016	Г – 11,4	единично
	р. Кинжал	62°17'05,15" с. ш. 151°57'00,07" в. д.	450	27 июня 2016	Г – 10	единично

за пределами известных границ гнездовых ареалов

Вид	Пункт встречи	Географические координаты	Расстояние от известных границ гнездового ареала, км	Даты встреч	Высотный пояс – обилие в пункте встречи, особи /км <sup>2</sup>	Характер распространения
Халей ( <i>Larus heuglini</i> Bree, 1876)	р. Сеторым	63°12'28,56" с. ш. 139°27'20,78" в. д.	400	4 июля 2016	Г/т – 0,1	Единично
	Майманджинский хр.	61°09'36,69" с. ш. 152°07'26,65" в. д.	800	18 июня 2016	Г/т – 0,2	Единично
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в. д.	700	23 июня 2016	Г/т – 0,2	Единично
Вертишейка ( <i>Jynx torquilla</i> Linnaeus, 1758)	Нельканский пер.	64°30'38,46" с. ш. 143°25'25,08" в. д.	300	1 июня 2015	Г/т – 0,3	Единично
	Уольчанский хр.	64°36'49,59" с. ш. 142°32'29,45" в. д.	300	12 июня 2015	Г/т – 1,8	Единично
Сибирский конек ( <i>Anthus gustavi</i> Swinhoe, 1863)	Нельканский пер.	64°30'38,46" с. ш. 143°25'25,08" в. д.	300	29 мая 2015	Г/т – 1,1	Единично
Краснозобый конек ( <i>Anthus cervinus</i> (Pallas, 1811))	р. Кынгырайдах	64°28'46,65" с. ш. 143°44'37,30" в. д.	400	27 мая 2015	Г/т – 12,1	Единично
Альпийская завирушка ( <i>Prunella collaris</i> (Scopoli, 1769))	р. Сеторым	63°12'28,56" с. ш. 139°27'20,78" в. д.	100	18, 21 июня, 6 июля 2016	Г – 12	Локально
	Нельканский пер.	64°30'38,46" с. ш. 143°25'25,08" в. д.	150	3–4 июня 2015, 4–5 июня 2016	Г – 4,9	Локально
	р. Салтахан	60°45'49,63" с. ш. 149°56'39,35" в. д.	0	14 июня 2016	Г – 5,7	Единично
	гг. Делурэжчэн	60°26'01,05" с. ш. 150°58'36,57" в. д.	0	16 июня 2016	Г – 5	Единично
Пятнистый сверчок ( <i>Locustella lanceolata</i> (Temminck, 1840))	оз. Майниц	63°8'–63°14'с. ш. 176°42'–176°48'в.д.	600	10–15 июня 2017	Ст/Гпа – 0,2	Единично
Зеленая пеночка ( <i>Phylloscopus trochiloides</i> (Sundevall, 1837))	хр. Черге	62°42'02,50" с. ш. 148°50'00,62" в. д.	100	29 июня 2016	Г/т – 1,3 П/т – 1,5	Единично
	пер. Лощкалах	62°38'46,15" с. ш. 147°23'16,49" в. д.	50	7 июня 2016	Г/т – 7,7	Единично
	пер. Гаврюшка	62°27'00,95" с. ш. 147°18'24,72" в. д.	50	8–9 июня 2016	Г/т – 5,7 П/т – 5,6	Г/т – повсеместно П/т – единично
	пер. Кулу	61°47'51,54" с. ш. 147°45'31,75" в. д.	50	10 июня 2016	П/т – 8	Единично
	гг. Делурэжчэн	60°26'01,05" с. ш. 150°58'36,57" в. д.	100	16–17 июня 2016	Г/т – 6,7	Единично
	р. Герба	61°43'10,05" с. ш. 152°26'20,79" в. д.	200	20–21 июня 2016	Г/т – 3,5	Единично
	р. Кинжал	62°17'05,15" с. ш. 151°57'00,07" в. д.	150	26 июня 2016	Г/т – 0,8	Единично
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в.д.	150	23–24 июня	Г/т – 3,6	Единично
Пеночка-зарничка ( <i>Phylloscopus inornatus</i> (Blyth, 1842))	оз. Майниц	63°8'–63°14'с. ш. 176°42'–176°48'в. д.	350	13–22 июня 2017	Ст/Гпа – 0,2	Единично

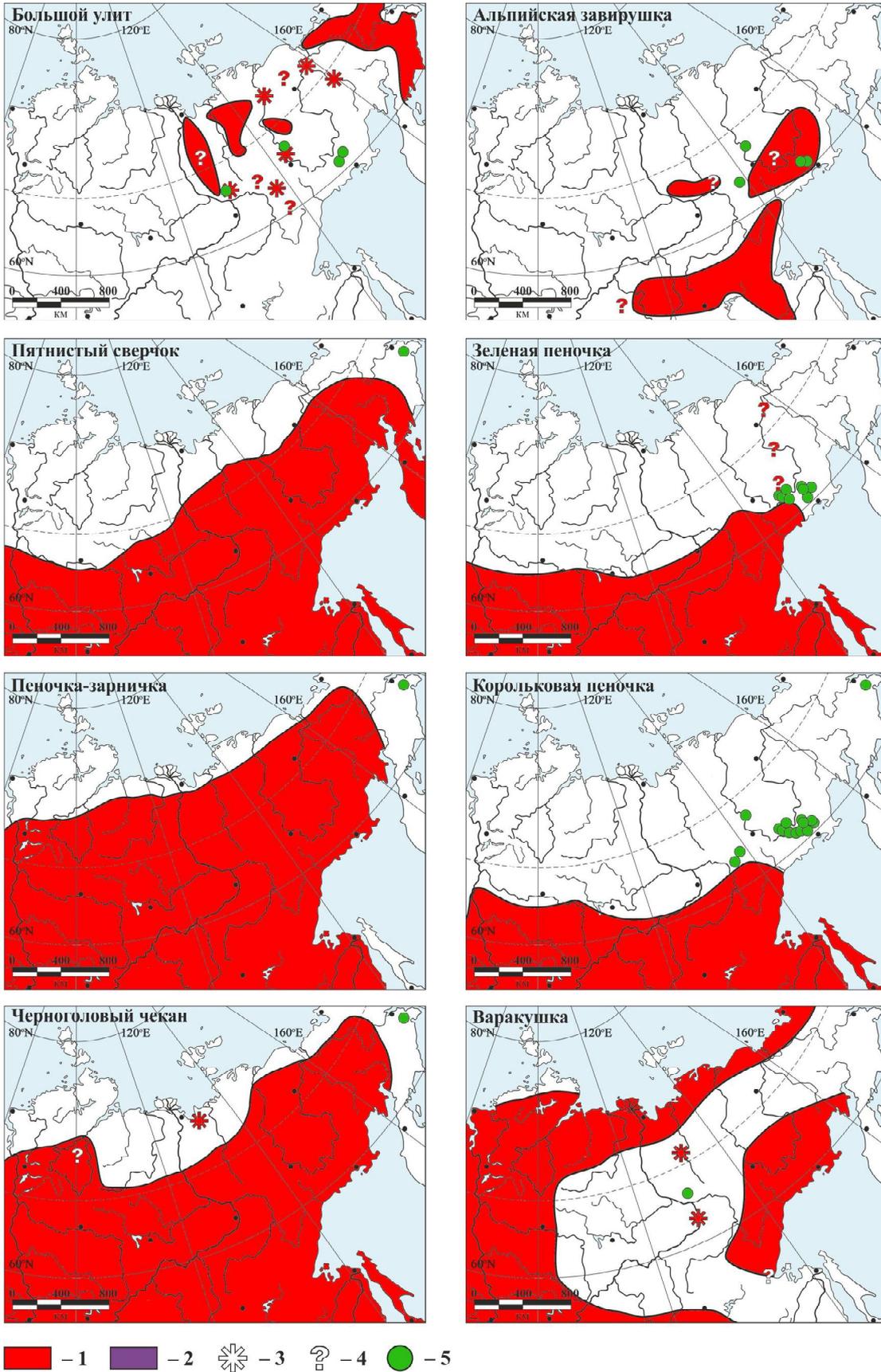
Вид	Пункт встречи	Географические координаты	Расстояние от известных границ гнездового ареала, км	Даты встреч	Высотный пояс – обилие в пункте встречи, особи /км <sup>2</sup>	Характер распространения
Корольковая пеночка ( <i>Phylloscopus proregulus</i> (Pallas, 1811))	р. Куранах	63°01'04,82" с. ш. 138°25'22,67" в. д.	50	23–30 июня 2015, 9–10 июля 2016	Г/т – 132,5	повсеместно
	р. Сеторым	63°12'28,56" с. ш. 139°27'20,78" в. д.	100	22 июня 2015, 8 июля 2016	Г/т – 2	2015 – единично 2016 – локально
	Нельканский пер.	64°30'38,46" с. ш. 143°25'25,08" в. д.	400	25 мая 2015	Г/т – 0,3	единично
	хр. Черге	62°42'02,50" с. ш. 148°50'00,62" в. д.	400	29 июня 2016	Г/т – 60 П/г – 47,1	повсеместно
	Пер. Лошкалах	62°38'46,15" с. ш. 147°23'16,49" в. д.	300	7 июня 2016	Г/т – 18,5 П/г – 1,1	Г/т – повсеместно П/г – единично
	Пер. Гаврюшка	62°27'00,95" с. ш. 147°18'24,72" в. д.	300	8–9 июня 2016	Г/т – 92,9 П/г – 25	Г/т – повсеместно П/г – единично
	Пер. Кулу	61°47'51,54" с. ш. 147°45'31,75" в. д.	300	10 июня 2016	Г/т – 98,4 П/г – 44,8	повсеместно
	р. Омчуг	61°09'19,17" с. ш. 149°30'23,22" в. д.	350	12 июня 2016	Г/т – 213	повсеместно
	р. Салтахан	60°45'49,63" с. ш. 149°56'39,35" в. д.	350	14 июня 2016	Г/т – 123,6 П/г – 4	Г/т – повсеместно П/г – единично
	гг. Делурэкчэн	60°26'01,05" с. ш. 150°58'36,57" в. д.	400	16–17 июня 2016	Г/т – 244,2 П/г – 102,9 Г – 7,5	Г/т, П/г – повсеместно Г – единично
	Майманджинский хр.	61°09'36,69" с. ш. 152°07'26,65" в. д.	500	18–19 июня 2016	Г/т – 24 П/г – 24	повсеместно
	р. Герба	61°43'10,05" с. ш. 152°26'20,79" в. д.	500	20–21 июня 2016	Г/т – 96	повсеместно
	р. Кинжал	62°17'05,15" с. ш. 151°57'00,07" в. д.	450	26–27 июня 2016	Г/т – 79,7 П/г – 33,3	повсеместно
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в. д.	450	23–25 июня 2016	Г/т – 3,7	единично
оз. Майниц	63°8'–63°14' с. ш. 176°42'–176°48' в. д.	1200	14–19 июня 2017	Ст/Гпа – 0,7	единично	
Бурая пеночка ( <i>Phylloscopus fuscatus</i> (Blyth, 1842))	р. Нямни	64°29'42" с. ш. 132°34'19" в. д.	50	6–7, 21 июня 2014	Г/т – 1,6	единично
	р. Сарылах	64°26'34,45" с. ш. 142°47'16,96" в. д.	30	6, 8 июня 2015	Г/т – 5,7	единично
	Нельканский пер.	64°30'38,46" с. ш. 143°25'25,08" в. д.	200	3–4 июня 2015	Г/т – 3,3	единично
	хр. Черге	62°42'02,50" с. ш. 148°50'00,62" в. д.	30	29 июня 2016	Г/т – 30,7 П/г – 28,2	повсеместно
	Пер. Лошкалах	62°38'46,15" с. ш. 147°23'16,49" в. д.	20	7 июня 2016	Г/т – 26,1 П/г – 42,1	Г/т – повсеместно П/г – единично
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в. д.	30	23–24 июня 2016	Г/т – 0,9	единично
Черноголовый чекан ( <i>Saxicola torquata</i> (Linnaeus, 1766))	оз. айниц	63°8'–63°14' с. ш. 176°42'–176°48' в. д.	250	9–21 июня 2017	Ст/Гпа – 1,3	локально
Варакушка ( <i>Luscinia svecica</i> (Linnaeus, 1758))	р. Нямни	64°29'42" с. ш. 132°34'19" в. д.	500	27, 30 мая, 5 июня 2014	П/г – 1,9	единично
Синий соловей ( <i>Luscinia cyane</i> (Pallas, 1776))	р. Куранах	63°01'04,82" с. ш. 138°25'22,67" в. д.	200	9–10 июля 2016	Г/т – 1,6	локально
	гг. Делурэкчэн	60°26'01,05" с. ш. 150°58'36,57" в. д.	500	17 июня 2016	Г/т – 3,3	локально
	р. Герба	61°43'10,05" с. ш. 152°26'20,79" в. д.	600	20–21 июня 2016	Г/т – 0,5	единично
	р. Кинжал	62°17'05,15" с. ш. 151°57'00,07" в. д.	550	26 июня 2016	Г/т – 2,5	локально
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в. д.	550	24 июня 2016	Г/т – 3,2	локально
Соловей-свистун ( <i>Luscinia sibilans</i> (Swinhoe, 1863))	Пер. Кулу	61°47'51,54" с. ш. 147°45'31,75" в. д.	350	10 июня 2016	Г/т – 1	единично
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в. д.	500	23 июня 2016	Г/т – 0,5	единично

«–» – не определялось.

Г/т – горно-таежный пояс, П/г – подгольцовый пояс, Г – гольцовый пояс, Ст/Гпа – нижний пояс крупных стлаников и гипоарктических тундр

Вид	Пункт встречи	Географические координаты	Расстояние от известных границ гнездового ареала, км	Даты встреч	Высотный пояс – обилие в пункте встречи, особи /км <sup>2</sup>	Характер распространения
Синехвостка ( <i>Tarsiger cyanurus</i> (Pallas, 1773))	оз. Майниц	63°8'–63°14' с. ш. 176°42'–176°48' в. д.	50	9–23 июня 2017	Ст/Гпа – 1,6	Локально
Оливковый дрозд ( <i>Turdus obscurus</i> Gmelin, 1789)	р. Салтахан	60°45'49,63" с. ш. 149°56'39,35" в. д.	500	14 июня 2016	Г/т – 0,2	Единично
	гг. Делурэкчэн	60°26'01,05" с. ш. 150°58'36,57" в. д.	500	17 июня 2016	Г/т – 0,4	Единично
	р. Герба	61°43'10,05" с. ш. 152°26'20,79" в. д.	600	20 июня 2016	Г/т – 1,2	Единично
Рябинник ( <i>Turdus pilaris</i> Linnaeus, 1758)	р. Сеторым	63°12'28,56" с. ш. 139°27'20,78" в. д.	150	7–8 июля 2016	Г/т – 0,4	Единично
	р. Эльги	64°32'38,01" с. ш. 141°47'35,90" в. д.	300	1 июля 2016	Г/т – 10,9	Локально
	Уольчанский хр.	64°36'49,59" с. ш. 142°32'29,45" в. д.	400	24 мая 2016	Г/т – 0,4	Единично
	р. Сарылах	64°26'34,45" с. ш. 142°47'16,96" в. д.	350	5–6, 8 июня 2015	Г/т – 8	Локально
	пер. Гаврюшка	62°27'00,95" с. ш. 147°18'24,72" в. д.	500	8 июня 2016	Г/т – 0,4	Единично
	Федеральная трасса «Колыма», на протяжении 2–3 км от 916 км от Магадана и на протяжении 2–3 км от р. Мекчирге	–	350	30 июня 2016	–	Локально
Белобровик ( <i>Turdus iliacus</i> Linnaeus, 1766)	р. Куранах	63°01'04,82" с. ш.	200	23 июня 2015	Г/т – 0,2	Единично
Сибирский дрозд ( <i>Zoothera sibirica</i> (Pallas, 1776))	пер. Гаврюшка	62°27'00,95" с. ш. 147°18'24,72" в. д.	50	8 июня 2016	Г/т – 2,1	Единично
Пестрый дрозд ( <i>Zoothera varia</i> (Pallas, 1811))	р. Куранах	63°01'04,82" с. ш. 138°25'22,67" в. д.	200	27–28 июня 2015	Г/т – 0,2	Единично
Буроголовая гаичка ( <i>Parus montanus</i> Baldenstein, 1827)	р. Эльги	64°32'38,01" с. ш. 141°47'35,90" в. д.	100	1 июля 2016	Г/т – 4,4	Единично
	хр. Черге	62°42'02,50" с. ш. 148°50'00,62" в. д.	50	29 июня 2016	Г/т – 1,3	Единично
	пер. Лошкалах	62°38'46,15" с. ш. 147°23'16,49" в. д.	40	7 июня 2016	Г/т – 3,7	Единично
	р. Кинжал	62°17'05,15" с. ш. 151°57'00,07" в. д.	30	26 июня 2016	Г/т – 2,5	Единично
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в. д.	40	23–25 июня 2016	Г/т – 5,1	Локально
Вьюрок ( <i>Fringilla montifringilla</i> Linnaeus, 1758)	оз. Майниц	63°8'–63°14' с. ш. 176°42'–176°48' в. д.	100	9–21 июня 2017	Ст/Гпа – 9,5 П/г – 4,0	Локально
Чиж ( <i>Spinus spinus</i> (Linnaeus 1758))	р. Куранах	63°01'04,82" с. ш. 138°25'22,67" в. д.	550	23, 28 июня 2015, 9–10 июля 2016	Г/т – 9,2	2015 – единично 2016 – повсеместно
	р. Сеторым	63°12'28,56" с. ш. 139°27'20,78" в. д.	650	3–4, 6–8 июля 2016	Г/т – 2	Локально
	р. Омчуг	61°09'19,17" с. ш. 149°30'23,22" в. д.	750	10 июня 2016	Г/т – 5,8	Локально
	р. Салтахан	60°45'49,63" с. ш. 149°56'39,35" в. д.	800	14 июня 2016	Г/т – 7,3	Единично
	гг. Делурэкчэн	60°26'01,05" с. ш. 150°58'36,57" в. д.	800	16–17 июня 2016	Г/т – 5,3	Локально
	р. Колыма	62°28'18,95" с. ш. 152°13'11,13" в. д.	900	23–24 июня 2016	Г/т – 1,1	Единично
	Федеральная трасса «Колыма», между пунктами р. Герба и р. Колыма	–	900	22 июня 2016	–	Единично
Обыкновенный снегирь ( <i>Pyrrhula pyrrhula</i> (Linnaeus, 1758))	оз. Майниц	63°8'–63°14' с. ш. 176°42'–176°48' в. д.	500	16–19 июня 2017	Ст/Гпа – 2,0	Единично

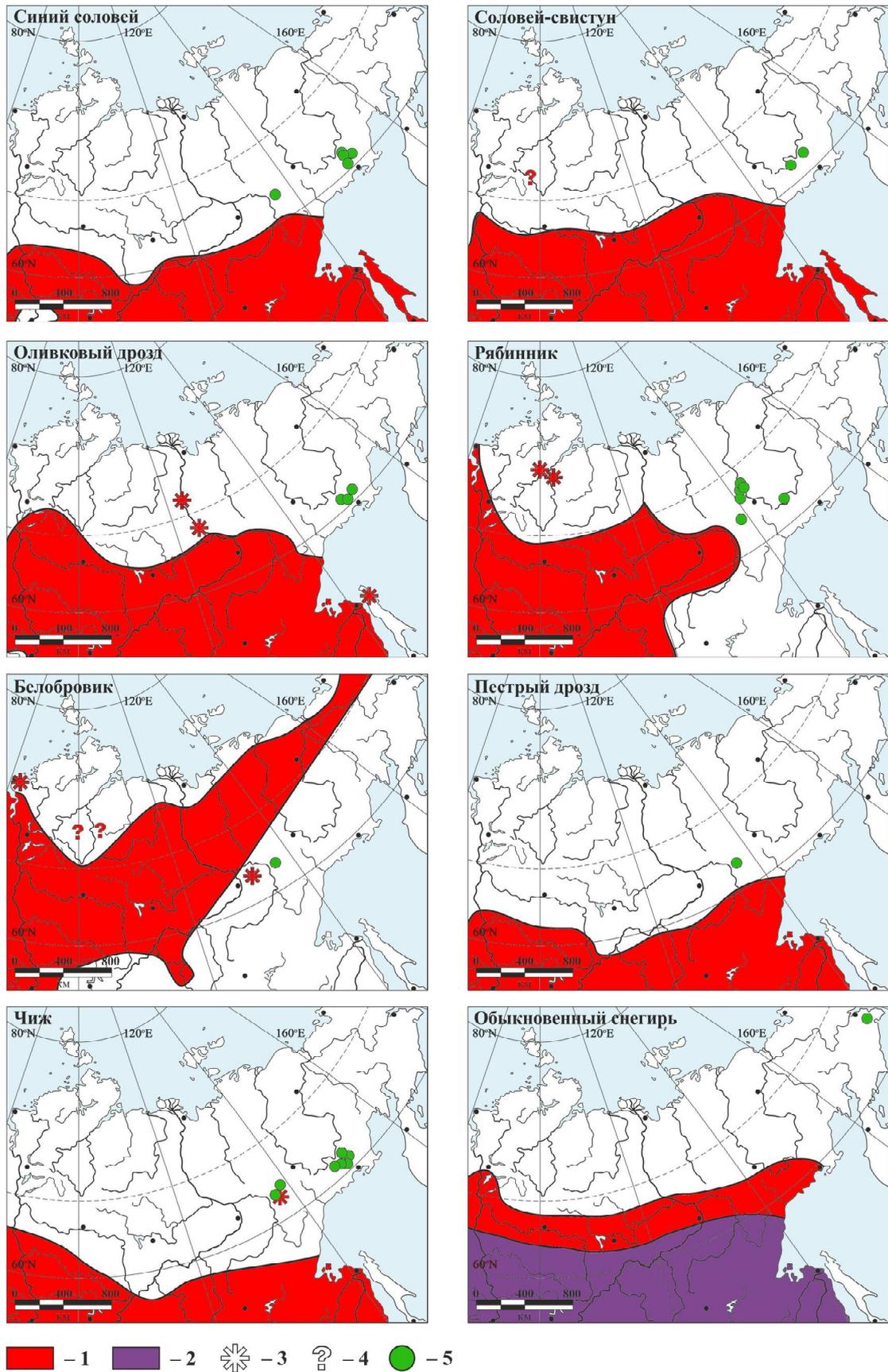
северных отрогов Корякского нагорья.



руководствуясь сведениями К.А. Воробьева [1963], мы можем предположить, что вертишейка достаточно широко распространена по долине р. Индигирки. Фиксация присутствия большого улит, зарнички, пестрого дрозда, черноголового чекана и вьюр-

ка может свидетельствовать как об уточнении имеющихся данных, так и о расширении или пульсации ареала.

Виды (n=7) третьей группы впервые встречены во время маршрутов на расстоянии 400 км и бо-



Находки видов птиц в 2014–2017 гг. за пределами известных границ гнездовых ареалов. 1 – гнездовой ареал, 2 – гнездование с круглогодичным пребыванием, 3 – гнездование за пределами основного ареала, 4 – гнездование вероятно, но нет достоверных данных или есть сомнения, 5 – новые находки видов в 2014–2017 гг.

Findings of bird species in 2014–2017 beyond the known boundaries of breeding range. 1 – breeding range, 2 – year-round stay within the breeding range, 3 – breeding outside the main range, 4 – breeding is likely, but doubtful or there is no reliable data, 5 – new findings of species in 2014–2017

лее от известных границ их ареалов. Для халея, восточный подвид которого (*Larus heuglini vegae* Palmen, 1887) ранее считался подвидом серебристой чайки (*Larus argentatus* Pontoppidan, 1763) [Рябицев, 2014а], эти находки дополняют имеющуюся информацию. А.А. Кищинский [1968] наблюдал на Колымском нагорье только пролетные особи этого вида, а В.В. Брунов [2001] отмечал его, как гнездящийся вид хребта Сунтар-Хаята, что подтверждают и настоящие сведения. Пункты, где мы впервые встретили зимняка и краснозобого конька, вероятно, могут быть местами неизвестного, нового или нерегулярного гнездования. А.А. Кищинский [1968] также фиксировал неизвестные пункты гнездования зимняков недалеко от изучаемого авторами региона, в приохотских горных массивах. Для краснозобого конька К.А. Воробьев [1963] отмечал проникновение из основной области его гнездового ареала в лесную зону по р. Индигирке (с. Крест-Майор). В ходе маршрутов авторы зарегистрировали продвижение его по р. Индигирке еще южнее. А.А. Кищинскому [1980] обыкновенный снегирь встречался только на юге Корякского нагорья, причем ученый характеризовал его как обычный для этой области вид. Пятнистый сверчок, по мнению А.А. Кищинского [1980], был видом, вероятно гнездящимся на самом западе и юге нагорья. Новые находки этих видов на севере Корякского нагорья можно расценивать в качестве дополнения к имеющейся информации, либо как свидетельство расширения или пульсации ареала. О распространении соловья-свистуна и оливкового дрозда вне гнездового ареала на территории наших исследований литературные данные отсутствуют, поэтому зарегистрированные в маршрутах находки могут свидетельствовать как о появлении новых, так и о существовании ранее абсолютно неизвестных фрагментов ареалов этих видов. Обыкновенный канюк отмечен нами в 3 пунктах на расстоянии 100–250 км от известной границы ареала; также его фиксировал А.А. Кищинский [1980] в 70 км севернее Магадана. По этой причине авторы считают допустимой интерпретацию находок как уточнение границ ареала этого вида.

Самостоятельную группу формируют 7 видов птиц, зарегистрированных в ходе исследования в большем количестве пунктов ( $n=5-15$ ), которые были неравномерно удалены (20–1200 км) от известных границ распространения. Наблюдения за чижом и рябинником, к сожалению, не позволили установить причину их пребывания. Наши находки могут свидетельствовать как о недостатке информации, так и о расширении или пульсации ареалов этих видов. По современным данным о распространении птиц на Северо-Востоке Азии [Рябицев, 2014а] гнездовые ареалы нескольких видов, встреченных нами на Колымском нагорье, не включают в себя этот регион. Однако здесь они отмечались еще А.А. Кищинским [1968]. Наличие зеленой пеночки ученый фиксировал в подгольцовом поясе гор по р. Детрин, а также в низовье р. Колымы, высказывая предположение, что она населяет весь бассейн этой

реки, однако спорадична и немногочисленна. По данным К.А. Воробьева [1963] и В.В. Брунова [2001], королевская пеночка не встречалась за пределами известного гнездового ареала, но А.А. Кищинский [1968] характеризовал ее как гнездящийся вид по всему Колымскому нагорью к северу до низовья р. Детрин. Бурую пеночку А.А. Кищинский [1968] отмечал на Колымском нагорье к северу до долины р. Тэукич и в горах по р. Детрин. Буроголовая гаичка была охарактеризована им как вид, гнездящийся по всему горно-таежному поясу Колымского нагорья. Наши наблюдения также подтверждают пребывание этих видов на Колымском нагорье. Кроме этого, буроголовая гаичка встречена нами также на Аркачанском плато [Романов с соавт., 2016], что возможно указывает на пульсацию или расширение ее ареала. Синий соловей фиксировался А.А. Кищинским [1968] только около Магадана, в Колымском нагорье находки отсутствуют. Учитывая, что исследования А.А. Кищинского отличались полнотой и широким охватом, можно предположить, что около 50 лет назад этот вид не распространялся севернее Магадана, и зарегистрированные нами встречи являются свидетельством расширения его ареала.

**Обсуждение.** Встречи в 2014–2017 гг. 20 видов на границах известных ареалов подтверждают устойчивость границ их распространения в обследованных горных областях Северо-Восточной Азии. На северной границе своего ареала на хребте Черского отмечены белопоясный стриж (*Apus pacificus* (Latham, 1801)) и соловей-красношейка (*Luscinia calliope* (Pallas, 1776)), одновременно на хребтах Сетте-Дабан и Сунтар-Хаята – зеленая пеночка, на хребте Сетте-Дабан – соловей-свистун, оливковый дрозд и желтобровая овсянка (*Ocyris chrysophrys* (Pallas, 1776)). На северо-восточной границе на хребте Сетте-Дабан отмечен лесной конек (*Anthus trivialis* (Linnaeus, 1758)). На западной границе на Верхоянском хребте и хребте Сетте-Дабан – камешка (*Histrionicus histrionicus* (Linnaeus, 1758)). На южной границе ареала на Верхоянском хребте встречены кречет (*Falco rusticolus* Linnaeus, 1758), хрустан (*Eudromias morinellus* (Linnaeus, 1758)), кроншнеп-малютка (*Numenius minutus* Gould, 1841), сибирский пепельный улит и сибирский вьюрок (*Leucosticte arctoa* (Pallas, 1811)), а на Верхоянском и хребте Сетте-Дабан – берингийская желтая трясогузка (*Motacilla tschutschensis* Gmelin, 1789). На юго-восточной границе на Колымском нагорье отмечена теньковка (*Phylloscopus collybita* (Vieillot, 1817)), а на Верхоянском хребте и хребте Черского – белобровик. На границе части своего ареала на Верхоянском хребте зарегистрированы тундряная куропатка (*Lagopus mutus* (Montin, 1781)), рогатый жаворонок (*Eremophila alpestris* (Linnaeus, 1758)), гольцовый конек (*Anthus rubescens* (Tunstall, 1771)) и сибирская чечевица (*Carpodacus roseus* (Pallas, 1776)). Гольцовый конек, кроме этого, встречен на хребте Сунтар-Хаята, а сибирская чечевица – на хребте Сетте-Дабан. Приведенные данные

указывают, что граница распространения ряда видов устойчиво проходит по Верхоянскому хребту и хребту Сетте-Дабан, что дает основание считать их важными биогеографическими рубежами в пределах Северо-Восточной Азии.

За пределами известных границ гнездовых ареалов в горах Северо-Восточной Азии нами впервые встречено 32 вида птиц, большинство из них ( $n=19$ ) – к северу и северо-востоку от известных границ своего распространения. В других регионах Северной Евразии расширение ареалов птиц в последние десятилетия также происходит преимущественно в северном направлении [Романов, 2013], что, вероятно, обусловлено в первую очередь потеплением климата в Северном полушарии [Loarie et al., 2009; Post et al., 2009]. Доля впервые встреченных видов в орнитофауне обследованных горных регионов существенна. Например, из 74 видов птиц, гнездящихся в южных отрогах Колымского нагорья, впервые зарегистрированы 16 видов (21%), а из 76 видов птиц, гнездящихся в северных отрогах Корякского нагорья, – 7 (9%).

В пределах горных территорий обширных водоразделов бассейнов рек Лены и Индигирки уточнен северный предел распространения (приблизительно по параллели  $64^{\circ}40'$  с. ш.) большого улита и вертишейки.

В целом, встречи видов ( $n=32$ ), обнаруженных в 2014–2017 гг. за пределами известных границ гнездовых ареалов, зафиксированы в 1–15 пунктах на расстоянии от 20 до 1200 км от известных мест гнездования.

Синий соловей, пестрый дрозд, чиж зарегистрированы в 2015–2016 гг. в тайге речных долин хребта Сетте-Дабан, расположенных на удалении 200–550 км от известных ранее северных границ основного ареала этих видов.

Рябинник и бурая пеночка проникают значительно севернее хребта Сетте-Дабан – вплоть до юго-восточных отрогов хребта Черского. А у таких видов, как зимняк, обыкновенный канюк, халей, зеленая пеночка, корольковая пеночка, синий соловей, соловей-свистун, оливковый дрозд, рябинник, чиж, как выяснилось в 2016 и 2017 гг., – обширные сплошные части ареала или мозаичные изолированные очаги расположены намного восточнее хребта Черского и в разной степени охватывают территорию южных отрогов Колымского нагорья. Для зеленой и корольковой пеночек обнаружены значительные по площади очаги устойчивого гнездования с высоким (или относительно высоким) обилием, позволяющие считать их частями основной области гнездования. Для других видов выявлены лишь локальные, вероятно, изолированные территориальные группировки. Регистрация всех указанных видов в пределах Колымского нагорья весьма актуальна, т. к. они встречены в обследованных нами пунктах Колымского нагорья на удалении 300–800 км от известных ранее границ основного ареала этих видов. Большинство из них ( $n=7$ ) обнаружено к северу от основной области своего распространения, и только зимняк и

халей – к югу. Почти все указанные виды встречены в лесных массивах речных долин горно-таежного пояса, и лишь зимняк – в гольцовом поясе.

Наши наблюдения подтверждают данные А. А. Кишинского [1968, 1988] о пребывании зеленой и корольковой пеночек на Колымском нагорье. Более того, локальные участки местообитаний корольковой пеночки были обнаружены в 2017 г. значительно севернее – в пределах северных отрогов Корякского нагорья. Таким образом, установлено, что современный северный предел ее распространения на северо-востоке Азии проходит почти у тихоокеанского побережья приблизительно на широте  $63^{\circ}10'–63^{\circ}13'$  с. ш. [Романов с соавт., 2019]. В 2017 г. получены и другие новые данные о распространении птиц на Корякском нагорье. Зафиксировано пребывание таких видов, как черноголовый чекан, корольковая пеночка, пеночка-зарничка, синехвостка, обыкновенный снегирь, пятнистый сверчок и вьюрок зарегистрировано в северных отрогах Корякского нагорья, расположенных на удалении 50–1200 км от известных ранее северных и северо-восточных границ основного ареала этих видов [Романов с соавт., 2019].

Обилие видов, впервые обнаруженных в новых районах гнездования за пределами известных границ ареалов, различно. Для некоторых видов отмечены лишь единичные находки (большая выпь, зимняк, вертишейка, краснозобый конек, пестрый дрозд и др.). Обычны во всех местах встреч были большой и сибирский пепельный улиты. Обилие других видов существенно изменяется в зависимости от места регистрации. Так, например, корольковая пеночка многочисленна на Колымском нагорье и хребте Сетте-Дабан и редка, или даже единична, в остальных пунктах. Бурая пеночка обычна на Колымском нагорье и редка в других пунктах. Чиж единичен или редок во всех пунктах встреч, кроме хребта Сетте-Дабан, где в 2016 г. он был обычен, а местами даже многочислен. Численность синего соловья в каждом пункте встречи составила от 3 до 5 пар. В процессе изучения закономерностей пространственного изменения обилия птиц установлено также, что, например, обилие восточного подвида шура (*Pinicola enucleator kamtschatkensis* (Dybowski, 1883)) последовательно увеличивается с запада на восток от хребта Черского ( $0,04$  особи/км<sup>2</sup>) через Колымское нагорье ( $2$  особи/км<sup>2</sup>) к Корякскому нагорью ( $71,9$  особи/км<sup>2</sup>). Максимально высокие показатели обилия этого вида на крайней северо-восточной окраине ареала обусловлено тем, что Корякское нагорье охватывает оптимум ареала кедрового стланика, заросли которого являются излюбленным гнездовым местообитанием, а его орешки – основным кормом шура [Романов с соавт., 2019].

Абсолютное большинство видов, встреченных нами за границами известных ареалов, – представители отряда воробьинообразных ( $n=22$ , 69%). Меньше в этой группе видов из числа ржанкообразных ( $n=4$ , 13%), а также из числа гусеобразных, соколообразных, аистообразных и дятлообразных, представленных 1–2 видами (3–6%).

Группа видов, встреченных нами за границами известных ареалов, формируется видами 6 типов фаун [Штегман, 1938], важнейшими из которых являются элементы сибирского типа ( $n=14$ , 44%) и широко распространенные виды (обширный ареал, центр происхождения неясен) ( $n=8$ , 25%). Менее весомый вклад вносят виды китайского типа фауны ( $n=6$ , 19%) и совсем незначительна доля – арктического ( $n=2$ , 6%), тибетского ( $n=1$ , 3%) и европейского ( $n=1$ , 3%) видов фауны.

Соотношение представителей различных зонально-ландшафтных групп [Кишинский, 1974, 1977 а, б, 1988; Чернов, 1975, 1976, 1980] среди птиц, встреченных нами за границами известных ареалов, следующее: бореальные ( $n=13$ , 41%), широко распространенные (распространенные в нескольких природных зонах) ( $n=9$ , 28%), бореально-гипоарктические ( $n=5$ , 16%), альпийские ( $n=2$ , 6%), гипоарктические ( $n=2$ , 9%) и гемиарктические ( $n=1$ , 3%) виды.

#### Выводы:

– предположительно существующая динамика границ ареалов указывает на продолжение расселения видов и формирования орнитофауны гор Северо-Восточной Азии в условиях изменения климата [Kaufman et al., 2009; Loarie et al., 2009; Post et al., 2009; Григорьев с соавт., 2013]. Недостаточный объем наблюдений не позволяет сделать достоверные выводы о положительных трендах динамики северных границ ареалов. Однако в пользу этого свидетельствует тот факт, что, благодаря видам иммигрантам, расселяющимся из более южных областей, за несколько прошедших десятилетий видовое разнообразие плато Путорана и субарктических гор Якутии увеличилось на 6% [Романов, 2013];

– на северо-востоке Азии для одной группы видов в 2014–2017 гг. впервые обнаружены значительные по площади очаги устойчивого гнездова-

ния с относительно высокой численностью, позволяющие считать их частями основной области гнездования. Для других выявлены лишь локальные, вероятно, изолированные территориальные группировки, площадь обитания которых не превышает 50–100 км<sup>2</sup>, образующие самую окраину ареала вида в Северо-Восточной Азии. Высока вероятность того, что это области спорадического гнездования или области ареала, где граница имеет явно выраженный пульсирующий характер;

– интерпретация встреч многих видов птиц в горах Северо-Восточной Азии за пределами известных границ гнездовых ареалов вариативна. Наиболее очевидное объяснение сводится к неравнозначной изученности этой обширной части суши до начала наших работ в 2014 г. и после их успешного осуществления в 2017 г. Авторы успешно изучили огромные труднодоступные горные территории, практически не исследованные предшественниками. Наши исследования позволили впервые обнаружить здесь целый ряд типично таежных видов. При этом нельзя полностью исключить вероятность того, что эти виды появились в горах Северо-Восточной Азии сравнительно недавно в результате расширения своих ареалов, благодаря чему были впервые обнаружены нами, а не предшественниками исследователями;

– итоги исследований показали, что отдельные горные системы Северо-Восточной Азии являются форпостом распространения целого ряда видов, и поэтому представляют безусловный интерес в зоогеографическом плане. Выявленный в этом регионе характер распространения видов птиц позволяет констатировать, что здесь проходит не только северный, но и отчетливо выраженный южный предел распространения некоторых видов, например, сибирского пепельного улита. В качестве зоогеографического рубежа наиболее отчетлива роль хребта Сетте-Дабан.

**Благодарности.** Работа была поддержана грантом МГУ им. М.В. Ломоносова для поддержки ведущих научных школ МГУ «Депозитарий живых систем Московского университета» в рамках Программы развития МГУ». Подготовка публикации поддержана проектом РФФИ № 17-04-00088.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев А.В., Докучаев Н.Е., Кречмар А.В., Чернявский Ф.Б. Наземные позвоночные Северо-Востока России. Магадан, 2006. 313 с.
- Борисов З.З. Птицы долины средней Лены. Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1987. 112 с.
- Брунов В.В. Результаты летней орнитологической разведки в Центральной и Восточной Якутии // Сибирский экологический журнал. 2001. № 1. С. 53–68.
- Воробьев К.А. Птицы Якутии. М.: Изд-во МГУ, 1963. 335 с.
- Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Ч. 2. М.: Высшая школа, 1987. 448 с.
- Головатин М.Г., Пасхальный С.П. Птицы Полярного Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2005. 560 с.
- Голубчиков Ю.Н. География горных и полярных стран. М.: Изд-во МГУ, 1996. 304 с.
- Григорьев А.А., Моисеев П.А., Нагимов З.Я. Динамика верхней границы древесной растительности в высокогорьях Приполярного Урала под влиянием современного изменения климата // Экология. 2013. № 4. С. 284–295.
- Карта «Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий». Масштаб 1:8 000 000. Серия карт природы для высшей школы / Гл. редактор: Огурева Г.Н. М.: Экор, 1999.
- Касимов Н.С., Кислов А.В., Чернышев А.В., Семин В.Н., Аляутдинов А.Р. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: Макс-Пресс, 2011. 493 с.
- Касимов Н.С., Кислов А.В., Бабуринов В.Л. Регионы России: локальные последствия глобального потепления // Экология и жизнь. Том 8, № 129. М.: Изд-во АНО, 2013. С. 72–77.
- Кислов А.В., Гребенец В.И., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М., Румянцев В.Ю., Сидорова М.В., Солдатов М.С., Суркова Г.В., Шартова Н.В. Комплексная оценка последствий потепления климата XXI века на севере Евразии // Изменение климата. Европа, Северная Азия, Северная Америка. 4-е изд. Европейские Диалоги в Эвиане / Под ред. М. Табо и А. Кислова. Eurasia: Cory-Media. 2011. С. 83–96.

- Кислов А.В., Касимов Н.С. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: Географический факультет МГУ. 2011. 493 с.
- Кицинский А.А. Арктоальпийская авифауна и ее происхождение // Зоологический журнал. 1974. Т. 53(7). С. 1036–1051.
- Кицинский А.А. Орнитофауна северо-востока Азии. М.: Наука, 1988. 288 с.
- Кицинский А.А. Понятие о гипоарктической и зоарктической авифаунах // VII Всесоюз. орнитол. конф. Киев, 1977а. С. 65–67.
- Кицинский А.А. Принципы реконструкции истории авифауны биогеографическим методом // Адаптивные особенности и эволюция птиц. М., 1977б. С. 33–39.
- Кицинский А.А. Птицы Колымского нагорья. М.: Наука, 1968. 184 с.
- Кицинский А.А. Птицы Корякского нагорья. М.: Наука, 1980. 336 с.
- Коблик Е.А., Редькин Я.А., Архипов В.Ю. Список птиц Российской Федерации. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 256 с.
- Куватов В.Б. Флора субарктических гор Евразии и высотное распределение ее видов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 568 с.
- Лаппо Е.Г., Томкович П.С., Сыроечковский Е.Е. Атлас ареалов гнездящихся куликов Российской Арктики. М.: ООО «УФ Офсетная печать», 2012. 448 с.
- Ларионов Г.П. Изменения в фауне таежной части Западной Якутии, произошедшие за последние десятилетия // Экология наземных позвоночных таежной Якутии. 1984. С. 3–17.
- Рогачева Э.В. Птицы Средней Сибири. Распространение, численность, зоогеография. М.: Наука, 1988. 309 с.
- Романов А.А. Авифауна гор Азиатской Субарктики: закономерности формирования и динамики. М.: Русское общество сохранения и изучения птиц им. М.А. Мензбира, 2013. 360 с.
- Романов А.А., Мелихова Е.В. География и структура авифауны горных областей Восточной Сибири // Вестн. Моск. ун-та. Серия. 5. География. 2016а. № 1. С. 71–77.
- Романов А.А., Мелихова Е.В. Фауна и население птиц гор Северо-Восточной Якутии // Бюллетень МОИП, отд. биологии. 2016б. Т. 121. № 1. С. 3–12.
- Романов А.А., Мелихова Е.В., Шемякин Е.В., Яковлев В.О. Высотно-поясная дифференциация населения птиц центральной части Верхоянского хребта (Восточная Сибирь, Россия) // Вестн. Том. гос. ун-та. Биол. 2016. № 3(35). С. 128–148.
- Романов А.А., Астахова М.А., Миклин Н.А., Шемякин Е.В. География фауны птиц северных отрогов Корякского нагорья // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2019. № 1. С. 53–60.
- Рябицев В.К. Птицы Сибири: справочник-определитель. Т. 1. Москва, Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2014а. 438 с.
- Рябицев В.К. Птицы Сибири: справочник-определитель. Т. 2. Москва, Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2014б. 452 с.
- Сочава В.Б. Географические аспекты сибирской тайги. Новосибирск: Наука, 1980. 256 с.
- Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий. М.: Наука, 2003. 727 с.
- Сыроечковский Е.Е.-мл., Волков С.В., Цоклер К., Стенс-мюр М., Турахов С.Н. Птицы дельты Яны и прилегающих территорий // Отчет совместной экспедиции Международного центра по развитию территорий Республики Саха (Якутия) и Арктической экспедиции ИПЭЭ РАН. 1996. 159 с.
- Успенский С.М. Жизнь в высоких широтах на примере птиц. М.: Мысль, 1969. 463 с.
- Чернов Ю.И. Природная зональность и животный мир суши. М.: Мысль, 1975. 222 с.
- Чернов Ю.И. Животный мир Субарктики и зональные факторы среды: автореф. дисс. на соиск. уч. ст. докт. биол. наук. Москва, 1976. 52 с.
- Чернов Ю.И. Жизнь тундры. М.: Мысль, 1980. 236 с.
- Штегман Б.К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики // Фауна СССР. Птицы. М.–Л., 1938. Т. 1, Вып. 2. 157 с.
- Kaufman B., Schneider D., McKay N., Ammann K., Bradley R., Briffa R., Miller G., Otto-Bliesner B., Overpeck J., Vinther B. Arctic Lakes 2k Project Members. Recent Warming Reverses Long-Term Arctic Cooling // Science. 2009. Vol. 325. № 5945. P. 1236–1239.
- Lehikoinen A., Brotons L., Calladine J., Campedelli T., Escandell V., Flousek J., Grueneberg Ch., Haas F., Harris S., Herrando S., Husby M., Jiguet F., Kålås J., Lindström Å., Lorrillière R., Molina B., Pladevall C., Calvi G., Sattler T., Trautmann S. Declining population trends of European mountain birds // Global Change Biology. 2019. 25(2). P. 577–588.
- Loarie S.R., Duffy P.B., Hamilton H., Asner G.P., Field C.B., Ackerly D.D. The velocity of climate change // Nature. Vol. 462. 2009. P. 1052–1055.
- Post E., Forchhammer M., Bret-Harte M., Callaghan T., Christensen T., Elberling B., Fox A., Gilg O., Hik D., Huys T., Ims R., Jeppesen E., Klein D., Madsen G., McGuire A., Rysgaard S., Schindler D., Stirling I., Tamstorf M., Tyler N., Wal R., Welker J., Wookey P., Schmidt N., Austrup P. Ecological Dynamics Across the Arctic Associated with Recent Climate Change // Science. 2009. Vol. 325. P. 1355–1358.
- The EBCC Atlas of European breeding birds: Their distribution and abundance / Hagemmeijer W.J.M., Blair M.J.: editors. London: T&A.D. Poyser Publ., 1997. 903 p.

Поступила в редакцию 28.03.2019

После доработки 01.06.2019

Принята к публикации 28.06.2019

A.A. Romanov<sup>1</sup>, E.V. Melikhova<sup>2</sup>

#### GEOGRAPHY OF BIRDS IN THE MOUNTAINS OF NORTH-EASTERN ASIA

We studied geography of avifauna of North-Eastern Asia mountains, namely the Verkhoyansk, Chersky, Suntar-Hayata, and Sette-Daban mountain ranges, and the Kolyma and Koryak uplands. We specified the distribution boundaries and residence status of 32 bird species within the area of about 300 000 km<sup>2</sup>. We confirmed the stability of the distribution boundaries for 20 species. The distribution border of a number of species runs along the Verkhoyansk range and the Sette-Daban range; that gives a reason to consider these ranges as important biogeographic boundaries within North-Eastern Asia. For the first time we encountered 32 species of birds outside the known breeding areas in the mountains of North-

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: putorana05@mail.ru

<sup>2</sup> All-Russia Research Institute for Environment Protection, Laboratory for Conservation of Marine and Coastal Ecosystems, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: max-kun@yandex.ru

Eastern Asia, most of them (n=19) to the north of the known boundaries of their distribution. The share of the first-time encountered species in the avifauna of surveyed mountain regions is maximal in the southern branches of the Kolyma Upland, where 16 (21%) of 74 breeding species were recorded for the first time. The species found outside the known breeding areas were recorded at 1 to 15 sites at a distance of 20 to 1200 km from the known breeding areas. In 2014–2017 for the first time we found vast areas of stable breeding with a relatively high bird density for one group of species in the North-Eastern Asia, which could be considered parts of the main breeding area. For other species we identified only local, probably isolated territorial groups with a habitat area of no more than 50–100 km<sup>2</sup> that form the very edge of the species range in North-Eastern Asia. Perhaps, these are sporadic breeding areas or parts of the distribution range with prominently fluctuating boundary. The birds first-ever discovered in new breeding areas outside the known boundaries of the distribution range belong to different species. We assume that a number of such species appeared in the mountains of North-Eastern Asia as a result of breeding outside their distribution range or its expansion. The modern dynamics of the distribution range boundaries probably indicates the continuing dispersal of species and avifauna formation in the mountains of North-Eastern Asia under the climate change.

*Key words:* avifauna, abundance, distribution range, boundary, distribution, territorial group, species diversity, mountains of North-Eastern Asia, altitudinal belt

*Acknowledgements.* The work was supported by a grant of Lomonosov Moscow State University to support leading scientific schools «Moscow University living Systems Depository» as a part of MSU development program. The preparation of the publication was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 17-04-00088).

## REFERENCES

- Andreev A.V., Dokuchaev N.E., Krechmar A.V., Chernjavskij F.B. Nazemnye pozvonochnye Severo-Vostoka Rossii [Terrestrial vertebrates of the North-East of Russia]. Magadan, 2006. 313 p. (in Russian)
- Borisov Z.Z. Pticy doliny srednej Leny [Birds of the Middle Lena River valley]. Novosibirsk: Nauka, Sib. otdelenie, 1987. 112 p. (in Russian)
- Brunov V.V. Rezultaty letnej ornitologicheskoy razvedki v Centralnoj i Vostochnoj Yakutii [Results of summer ornithological survey in Central and Eastern Yakutia] // Sibirskii ekologicheskii zhurnal. 2001. № 1. P. 53–68. (in Russian)
- Chernov Ju.I. Prirodnaya zonalnost i zhivotnyi mir sushi [Natural zoning and terrestrial fauna]. M.: Mysl, 1975. 222 p. (in Russian)
- Chernov Ju.I. Zhivotnyi mir Subarktiki i zonalnye faktory sredey [Subarctic fauna and zonal environmental factors]: avtoref. diss. ... dokt. biol. nauk. M., 1976. 52 p. (in Russian)
- Chernov Ju.I. Zhizn tundry [Life of the tundra]. M.: Mysl, 1980. 236 p. (in Russian)
- Golovatin M.G., Pashalnyi S.P. Pticy Polyarnogo Urala [Birds of the Polar Urals]. Ekaterinburg: Izd-vo Ural. un-ta, 2005. 560 p. (in Russian)
- Golubchikov Ju.N. Geografiya gornyh i polyarnyh stran [Geography of mountain and polar areas]. M.: Izd-vo MGU, 1996. 304 p. (in Russian)
- Grigorjev A.A., Moiseev P.A., Nagimov Z.Ya. Dinamika verhnei granicy drevesnoi rastitelnosti v vysokogoryah Pripolyarnogo Urala pod vliyaniem sovremennogo izmeneniya klimata [Dynamics of the upper limit of arboreal vegetation in the highlands of the Subpolar Urals under the influence of modern climate change] // Ekologiya. 2013. № 4. P. 284–295. (in Russian)
- Gvozdeckii N.A., Mikhailov N.I. Fizicheskaya geografiya SSSR. Ch. 2. [Physical geography of the USSR. Part 2.] M.: Vysshaya shkola, 1987. 448 p. (in Russian)
- Karta «Zony i tipy poynasnosti rastitelnosti Rossii i sopredelnyh territoriy» Masshtab 1:8 000 000 [Map «Zones and types of vegetation belts of Russia and adjacent territories» Scale 1:8 000 000]. Seriya kart prirody dlya vysshei shkoly. Gl. redaktor: Ogureeva G.N. Moskva: Ekor, 1999. (in Russian)
- Kaufman B., Schneider D., McKay N., Ammann K., Bradley R., Briffa R., Miller G., Otto-Bliessner B., Overpeck J., Vinther B. Arctic Lakes 2k Project Members. Recent Warming Reverses Long-Term Arctic Cooling // *Science*. 2009. Vol. 325., № 5945. P. 1236–1239.
- Kasimov N.S., Kislov A.V., Chernyshev A.V., Semin V.N., Alyautdinov A.R. Ekologo-geograficheskie posledstviya globalnogo potepeniya klimata XXI veka na vostochno-evropeiskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri [Ecological and geographical consequences of the 21<sup>st</sup> century global climate warming on the East European plain and in Western Siberia]. M.: Maks-Press. 2011. 493 p. (in Russian)
- Kasimov N.S., Kislov A.V., Baburin V.L. Regiony Rossii: lokalnye posledstviya globalnogo potepeniya [Regions of Russia: local effects of global warming] // Ekologiya i zhizn. Tom 8, № 129, M.: Izd-vo ANO. 2013. P. 72–77. (in Russian)
- Kislov A.V., Grebenec V.L., Evstigneev V.M., Malkhazova S.M., Rumyanchev V.Yu., Sidorova M.V., Soldatov M.S., Surkova G.V., Shartova N.V. Kompleksnaya ocenka posledstviy potepeniya klimata XXI veka na severe Evrazii [Integrated assessment of the 21<sup>st</sup> century climate warming effects in the North of Eurasia] // *Izmenenie klimata. Evropa, Severnaya Aziya, Severnaya Amerika. 4-ye Evropeiskie Dialogi v Eviane. Pod red. M. Tabo i A. Kislova. Eurcasia: Copy-Media. 2011. P. 83–96. (in Russian)*
- Kislov A.V., Kasimov N.S. Ekologo-geograficheskie posledstviya globalnogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropeiskoi ravnine i v Zapadnoj Sibiri [Ecological and geographical effects of the 21<sup>st</sup> century global warming on the East European plain and in Western Siberia]. M.: Geograficheskii fakultet MGU. 2011. 493 p. (in Russian)
- Kistchinskiy A.A. Pticy Kolymy naghorya [Birds of the Kolyma Upland]. M.: Nauka, 1968. 184 p. (in Russian)
- Kistchinskiy A.A. Arktoalpiiskaya avifauna i ee proishozhdenie [Arctoalpine avifauna and its origin] // Zoologicheskii zhurnal. 1974. T. 53(7). P. 1036–1051. (in Russian)
- Kistchinskiy A.A. Ponyatie o gipoarkticheskoi i eoarkticheskoi avifaunah [The concept of hypoarctic and eoarctic avifaunas] // VII Vsesoyuz. ornitol. konf. Kiev, 1977a. P. 65–67. (in Russian)
- Kistchinskiy A.A. Principy rekonstrukcii istorii avifauny biogeograficheskim metodom [The principles of reconstruction of the avifauna history using the biogeographic method] // *Adaptivnye osobennosti i evolyuciya ptic. M., 1977b. P. 33–39. (in Russian)*
- Kistchinskiy A.A. Pticy Koryakskogo naghorya [Birds of the Koryak Upland]. M.: Nauka, 1980. 336 p. (in Russian)
- Kistchinskiy A.A. Ornitofauna severo-vostoka Azii [Bird fauna of north-eastern Asia]. M.: Nauka, 1988. 288 p. (in Russian)
- Koblik E.A., Redkin Ya.A., Arkhipov V.Ju. Spisok ptic Rossiiskoi Federacii [List of birds of the Russian Federation]. M.: Tovarishhestvo nauchnyh izdaniy KMK, 2006. 256 p. (in Russian)

- Kuvaev V.B.* Flora subarkticheskikh gor Evrazii i vysotnoe raspredelenie ee vidov [The flora of subarctic mountains of Eurasia and altitudinal distribution of its species]. M.: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006. 568 p. (in Russian)
- Lappo E.G., Tomkovich P.S., Syroechkovskii E.E.* Atlas arealov gnezdyashhihsya kulikov Rossiiskoi Arktiki [Atlas of breeding waders habitats in the Russian Arctic]. M.: OOO «UF Ofsetnaya pechat», 2012. 448 p. (in Russian)
- Larionov G.P.* Izmeneniya v faune taezhnoi chasti Zapadnoi Yakutii, proizoshedshie za poslednie desyatiletia [Changes in the fauna of taiga part of Western Yakutia that have occurred in recent decades] // *Ekologiya nazemnykh pozvonochnykh taezhnoy Yakutii*. 1984. P. 3–17. (in Russian)
- Lehikoinen A., Brotons L., Calladine J., Campedelli T., Escandell V., Flousek J., Grueneberg Ch., Haas F., Harris S., Herrando S., Husby M., Jiguet F., Kälås J., Lindström Å., Lorrillière R., Molina B., Pladevall C., Calvi G., Sattler T., Trautmann S.* Declining population trends of European mountain birds // *Global Change Biology*. 2019. 25(2). P. 577–588.
- Loarie S.R., Duffy P.B., Hamilton H., Asner G.P., Field C.B., Ackerly D.D.* The velocity of climate change // *Nature*. 462. 2009. P. 1052–1055.
- Post E., Forchhammer M., Bret-Harte M., Callaghan T., Christensen T., Elberling B., Fox A., Gilg O., Hik D., Huys T., Ims R., Jeppesen E., Klein D., Madsen G., McGuire A., Rysgaard S., Schindler D., Stirling I., Tamstorf M., Tyler N., Wal R., Welker J., Wookey P., Schmidt N., Astrup P.* Ecological Dynamics Across the Arctic Associated with Recent Climate Change // *Science*. 2009. V. 325. P. 1355–1358.
- Rogacheva E.V.* Pticy Srednei Sibiri. Rasprostranenie, chislennost, zoogeografiya [Birds of Central Siberia. Distribution, abundance, zoogeography]. M.: Nauka, 1988. 309 p. (in Russian)
- Romanov A.A.* Avifauna gor Aziatskoi Subarktiki: zakonomernosti formirovaniya i dinamiki [Bird fauna of the mountains of the Asian Subarctic: Principles of development and dynamics]. M.: Russkoe obshchestvo sohraneniya i izucheniya ptic imeni M.A. Menzbira, 2013. 360 p. (in Russian)
- Romanov A.A., Melikhova E.V.* Geografiya i struktura avifauny gornyh oblastei Vostochnoi Sibiri [Geography and structure of avifauna in Eastern Siberia mountain regions] // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2016a. № 1. P. 71–77. (in Russian)
- Romanov A.A., Melikhova E.V.* Fauna i naselenie ptic gor Severo-Vostochnoi Yakutii [Fauna and bird population of the North-Eastern Yakutia mountains] // *Byulleten MOIP, otd. biologii*. 2016b. T. 121. № 1. P. 3–12. (in Russian)
- Romanov A.A., Astakhova M.A., Miklin N.A., Shemyakin E.V.* Geografiya fauny ptic severnykh otrogov Koryakskogo nagorya [Geography of bird fauna of the northern branches of the Koryak Upland] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 2019. № 1. P. 53–60. (in Russian)
- Romanov A.A., Melikhova E.V., Shemyakin E.V., Yakovlev V.O.* Vysotno-poyasnaya differenciatsiya naseleniya ptic centralnoi chasti Verhoyanskogo hrebta (Vostochnaja Sibir, Rossiya) [Altitudinal differentiation of birds population in the central part of the Verkhoyansk Range (Eastern Siberia, Russia)] // *Vestn. gos. un-ta. Biologiya*. 2016. № 3(35). P. 128–148. (in Russian)
- Ryabicev V.K.* Pticy Sibiri: spravochnik-opredelitel. T. 1 [Birds of Siberia: Field Guide. Vol. 1]. Moskva, Ekaterinburg: Kabinetnyi uchenyi, 2014a. 438 p. (in Russian)
- Ryabicev V.K.* Pticy Sibiri: spravochnik-opredelitel. T. 2 [Birds of Siberia: Field Guide. Vol. 2]. Moskva, Ekaterinburg: Kabinetnyi uchenyi, 2014b. 452 p. (in Russian)
- Sochava V.B.* Geograficheskie aspekty sibirskoi taigi [Geographical aspects of the Siberian taiga]. Novosibirsk: Nauka, 1980. 256 p. (in Russian)
- Stegmann B.K.* Osnovy ornitogeograficheskogo deleniya Palearktiki [Basics of the ornithogeographical division of the Palaearctic region] // *Fauna SSSR. Pticy*. T. 1, Vyp. 2. M.–L., 1938. 157 p. (in Russian)
- Stepanyan L.S.* Konspekt ornitologicheskoi fauny Rossii i sopredelnykh territorii [Synopsis of bird fauna of Russia and the adjacent territories]. M.: Nauka. 2003. 727 p. (in Russian)
- Syroechkovskii E.E.-ml., Volkov S.V., Cokler K., Stensmyur M., Turahov S.N.* Pticy delty Yany i prilozhashhih territorii [Birds of the Yana River delta and adjacent territories] // *Otchet sovmestnoi ekspedicii Mezhdunarodnogo centra po razvitiyu territorii respublik Sakha (Yakutiya) i Arkticheskoi Ekspedicii IPEE RAN*. 1996. 159 p. (in Russian)
- The EBCC Atlas of European breeding birds: Their distribution and abundance. Hagemmeijer W.J.M., Blair M.J., editors. London: T&A D Poyser Publ., 1997. 903 p.
- Uspenskiy S.M.* Zhizn v vysokikh shirotah na primere ptic [Life at high latitudes – the example of birds]. M.: Mysl, 1969. 463 p. (in Russian)
- Vorobjev K.A.* Pticy Yakutii [Birds of Yakutia]. M.: Izd-vo MGU, 1963. 335 p. (in Russian)

Received 28.03.2019

Revised 01.06.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 314.15

Л.Б. Карачурина<sup>1</sup>, Ю.Ф. Флоринская<sup>2</sup>**МИГРАЦИОННЫЕ НАМЕРЕНИЯ ВЫПУСКНИКОВ ШКОЛ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ГОРОДОВ РОССИИ**

Статья написана по результатам анкетирования выпускников школ из малых и средних городов России и экспертных интервью (проведены в 2015 и 2018 гг.). Выявлено, что свыше 90% современных одиннадцатиклассников из средних и малых городов намерены получить высшее образование. Осуществление этих планов и дальнейшая профессиональная жизнь тесно связаны с масштабной миграцией из родных городов. Школьники из малых городов более настроены на образовательную миграцию. Миграционные и образовательные намерения молодежи коррелируют с их успеваемостью, материальной обеспеченностью семей, уровнем образования родителей. Ведущие направления миграции – крупные города, в том числе собственные региональные центры. Выбору направлений миграции предшествовали кратковременные поездки, в которых участвовало большинство опрошенных выпускников. На выбор региональных центров (или отказ в пользу других крупных городов) влияет расположение и территориальная близость родного города, наличие в региональном центре широкого спектра вузов и перспектив для дальнейшего трудоустройства, размер регионального центра или близость другого более крупного города. В г. Москва и г. Санкт-Петербург отправляются самые успешные абитуриенты, шанса на возврат которых в свои города почти нет.

*Ключевые слова:* молодежь, миграция, высшее образование, миграционная мобильность, российские города

**Введение.** Миграционные намерения (планы) – одна из самых сложных категорий в исследовании миграции. В самом деле, что такое «миграционные намерения или планы»? Это все от «было бы неплохо куда-нибудь переехать» до ... посадки в самолет/поезд/автомобиль и реального перемещения в пространстве на неопределенно длительный срок, или от «предварительного созерцания» к «взвешиванию аргументов «за» и «против» миграционных действий» [Tabor, Milfont, 2011].

Применительно к разным возрастным группам степень этой неопределенности различна. Едва ли не больше прочих сомневаются старшеклассники [Drozdewski, 2008], которые, с одной стороны, уже активно задумываются о поступлении в вузы и о местах своей послешкольной жизни, а с другой стороны, как показали исследования, плохо понимают материальные возможности своих семей [Флоринская, Рощина, 2008], собственные возможности поступления и жизненные планы в целом. Однако изучение миграционного поведения данной категории потенциальных мигрантов представляет особый интерес, т. к. миграция молодежи ощутимо выделяется объемами и интенсивностью на фоне прочих возрастных групп. Таким образом, понимание миграционных планов молодежи является неотъемлемой частью необходимых знаний о миграции в современном обществе.

Уже в 1930-е гг. в США было замечено, что мигранты в основном находятся в возрасте около 20 лет [Thomas, 1938]. С тех пор, какие бы обще-

ственные трансформации не потрясали мир, возрастной пик миграции принципиально не изменился. Интервал 15–25 лет определяет масштабы и интенсивность миграции и потому является исследователю наиболее важным. Данные закономерности миграции наблюдаются повсеместно, в том числе и в России [Карачурина, Мкртчян, 2017а].

Высокая миграционная активность молодежи предопределяется широкой палитрой стремлений: от поиска места в жизни до желания уехать из родительского дома и даже поиска экстрима [Williams et al., 2018] или романтики, которая в числе другого двигателя молодых людей на освоение севера страны [Кузнецова, 2012].

Миграция молодежи – это миграция внутренне дифференцированной группы. В агрегированном виде молодежные миграционные группы в России можно представить так: в 15–16 лет некоторые девятиклассники переезжают для продолжения учебы в колледжах и учреждениях системы СПО (среднего профессионального образования), 17–18-летние устремляются в вузы, соответственно переселяются в города их концентрации, 21–22 года – возраст окончания учебы в бакалавриате и возможной смены вуза для обучения по магистерской программе [Санникова, Хотинцев, 2017] или переезда для работы, 23–24 года – миграция после окончания магистратуры в связи с поиском работы, созданием семьи и пр. Таким образом, единая молодежная группа разбивается на множество подгрупп, в основе миграции которых находятся совершенно различные цели, идеи

<sup>1</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», кафедра демографии, канд. геогр. н., доцент; e-mail: lkarachurina@hse.ru

<sup>2</sup> Институт социального анализа и прогнозирования РАНХиГС, вед. науч. с., канд. геогр. н.; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», ст. науч. с.; e-mail: jflorin@yandex.ru

и причины. Можно ожидать, что существенно разнятся как миграционные планы, так и удельный вес их реализующих.

При этом российский кейс молодежной миграции – несмотря на отмеченный выше универсализм, в сравнении с другими странами – имеет особенность, заключающуюся в том, что концентрация миграции в точках, привязанных к вышеописанным датам (особенно к 17–18 годам) максимально высока. «Пики миграции» на графике объемов и интенсивности миграции образуют форму резко очерченных пиков. Эта остроконечность – результат более жесткой стандартизации демографических и социальных событий в жизненном курсе советского и, в меньшей степени, российского человека [Карачурина, Мкртчян, 2017]. В соответствии с этой строгой логикой поступать в институт (университет) надлежит строго после окончания школы, а не спустя годы послешкольных раздумий, как это нередко происходит в современной Европе [Walther, Plug, 2006; Williamson, 1997].

Таким образом, по сути обществом задаётся установка, по которой к 15–16 годам школьник должен точно определиться с тем, будет ли он получать высшее образование, или поступит в СПУЗ (среднее профессиональное учебное заведение). Аналогично к окончанию 11 класса решение о дальнейших планах, в том числе миграционных, должно находиться уже в зоне перехода от «активного созерцания» к «действию». Представляется, что это делает анализ миграционных намерений школьников выпускных классов в России более определенным, чем в странах с большей вариативностью поведения.

Кроме возрастной селективности действует и поселенческая: повсеместно в зарубежной литературе анализируются особенности и реализация миграционных намерений молодежи из сельской местности, которые заинтересованы в крупных городах и мегаполисах [Argent, Walmsley, 2008; Nugin, 2014]. Значительный пласт литературы посвящен миграционным планам и миграции молодежи из малых городов [Makkai, 2017; Gunko, Medvedev, 2018]. Однако, типы населенных пунктов, из которых идет миграция, чаще всего формализуются приближенно или в целом применительно к дихотомии «из города или из сельской местности» [Garasky, 2002; Land of discontent ..., 2001].

Нам представляется, что миграционные намерения выпускников школ могут различаться в зависимости от того, в каком по размеру населенном пункте они живут и на каком расстоянии он находится от регионального центра. Для пригородных населенных пунктов сам фактор их близости к крупным населенным пунктам имеет доминирующее значение [Мкртчян, 2017]. Для всех поселений вне пригородных зон размер городов может определять большой круг возможных детерминант миграции: от того, что может представляться важным самим

школьникам – потенциальным мигрантам (наличие или отсутствие вузов в городе, диапазон представленных профессий, возможных мест приложения труда, мест досуга) до текущих представлений и финансовых возможностей их родителей. Т.И. Заславская, оценивая миграцию в Новосибирской области, отмечала, что из числа детей, родившихся в довоенные годы и достигших в селе 15 лет, к 19 годам в селах области оставалось 58%, из родившихся в 1946–1950 гг. – 40,3%, при этом 57,6% сельчан в возрасте 16–24 лет в качестве направления для отъезда называли «крупный или средний город» [Миграция сельского населения, 1970, с. 127].

Анализ численности возрастных групп за межпереписные периоды, проведенный Ж.А. Зайончковской, показал, что в 1979 г. по достижении возраста 15–19 лет в селе оставалось 65% тех, кому в 1979 г. было 5–9 лет; главными центрами переселений были крупные города [1991, с. 103].

При сопоставлении размера города с его социально-экономической успешностью [Город и деревня, 2001, с. 208–210] прослеживается обратная зависимость между размером города и выездным потенциалом абитуриентов. С другой стороны, более устойчивое финансовое положение родителей в крупных (гипотетически – экономически более успешных) городах может обеспечивать школьникам большие возможности для миграции. Описанные выше упрощенные тенденции на практике не всегда прослеживаются в данном виде. Исследование Хэдлера [Hadler, 2006] для стран Евросоюза (ЕС) применительно к внутривосточной миграции показало, что наиболее высокие миграционные намерения наблюдаются у молодежи из наиболее отстающих территорий. Абитуриенты из наиболее развитых регионов ЕС склонны к межстрановой миграции. Различаются ли похожим образом миграционные стратегии у российской молодежи из разных населенных пунктов? Насколько значимыми оказываются материальные возможности семей, которые готовы отправить своих детей в иные населенные пункты? Существуют ли – по крайней мере в сознании молодежи – необразовательные каналы молодежной миграции и планы по возвращению домой? На данных вопросах сфокусировалось изучение миграционных планов 11-классников в восьми средних и малых городах России.

**Методы исследования.** Повсеместно в мире миграционные намерения изучаются с помощью семейства социологических методов. В данном случае использовались экспертные интервью с руководителями муниципального уровня в сфере образования, молодежной политики, экономики, директорами школ, предприятий, анкетирование выпускников одиннадцатых классов (методом самозаполнения анкеты)<sup>3</sup>. Обследование проводилось в 2015 и 2018 гг. в четырех малых городах России (Вязники (Владимирская область); Ртищево (Саратовская область); Сатка (Челябинская область), Камень-на-

<sup>3</sup> Проекты Института социального анализа и прогнозирования РАНХиГС.

Оби (Алтайский край)) и средних городах (Бузулук (Оренбургская область), Великие Луки (Псковская область), Мичуринск (Тамбовская область), Чистополь (Республика Татарстан)). Было опрошено 420 выпускников одиннадцатых классов в малых городах и 403 одиннадцатиклассника из средних городов, примерно по 100 человек в каждом населённом пункте.

Разумеется, выбранные города – как внутри группы малых, так и средних – отличаются друг от друга. Эти различия предопределяются неоднородностью экономической и социальной ситуации в регионах, в которых они находятся, наследованным и современным функциональным профилем самих городов, их ролью в системе расселения, качеством городского менеджмента и другими параметрами. Тем не менее, присутствуют и элементы схожести: соответствие размеров категории «малых» или «средних» городов<sup>4</sup>, не пригородное положение по отношению к своим региональным центрам и другим крупным городам, в целом внутренняя периферийность с нисходящей (единственное исключение – г. Бузулук) демографической динамикой. Данные, представленные в табл., свидетельствуют, что демографическая и миграционная обстановка в малых городах хуже, чем в средних; в целом размер зарплаты повсеместно невелик, однако в малых городах заработок ниже, чем в средних. Весомое различие, особенно в контексте внутрирегиональной миграции и возможностей аккумуляции молодежи с прилегающих территорий, заключается в наличии в средних городах нескольких вузов или филиалов региональных вузов (например, в Великих Луках их суммарное количество достигает 7), а также развитая сеть учреждений СПО. В малых городах филиалы вузов есть не везде, а собственные отсутствуют, но колледжи и техникумы привлекают молодежь из окрестных сельских территорий.

**Результаты.** Среди опрошенных одиннадцатиклассников преобладали девочки – 62% в малых городах и 56% – в средних городах; хорошисты (учащиеся преимущественно на оценку «4») – 62% и 64% соответственно, и отличники – 26% и 30%. Выпускники – главным образом уроженцы своих городов (89% и 90%). Большая часть опрошенных совершали кратковременные поездки, туристические или в гости к родственникам. Только 5% в малых и 2% в средних городах никогда не покидали пределы родного города. География путешествий выпускников в средних городах шире – 49% опрошенных выезжали за пределы России (среди выпускников из малых городов – 37%), при этом около 33% побывали в странах дальнего зарубежья (21% – из малых городов), чаще всего посещались Турция и/или Египет. Больше половины школьников из средних городов побывали в Москве (58%) и почти половина – в Санкт-Петербурге (44%), треть – посетили обе столицы; из малых городов – чуть меньше половины посетили Москву и каждый пятый – Санкт-Петербург. Чаще всего выпускники приезжали в свои областные центры, лишь 7% из средних городов и 5% из малых никогда их не посещали. Опыт даже кратковременных поездок позволяет сравнивать свой город и другие места потенциального проживания. Миграционные намерения определяются удовлетворенностью собственным местом жительства, которая, в свою очередь, формируется при сравнении степени пригодности для переезда посещаемых населённых пунктов. Таким образом, необходимая информация приобретается с миграционным опытом [Кузнецова, 2012].

Основная масса опрошенных одиннадцатиклассников по окончании школы собирается получать высшее образование. Разница между изученными малыми и средними городами незначительная: в средних городах доля выбравших поступление в вуз

Некоторые характеристики исследованных городов\*

	Расстояние до регионального центра по автогосударству, км	Численность населения, тыс. чел.		Коэффициент естественного прироста, в среднем за 2012–2017 гг., %	Коэффициент миграционного прироста, в среднем за 2012–2017 гг., %	Коэффициент миграционного прироста в 15–19 лет, в среднем за 2012–2017 гг., %	Среднемесячная зарплата работников организаций, 2016 г., руб.
		2010 г.	2018 г.				
<b>Средние</b>	<b>182</b>	<b>85,3</b>	<b>82,8</b>	<b>-3,5</b>	<b>-2,7</b>	<b>2,5</b>	<b>27182</b>
Мичуринск	75	98,8	93,3	-5,4	-2,0	14,8	25187
Вел. Луки	273	98,8	91,4	-5,5	-6,6	7,1	23033
Бузулук	251	82,9	86,2	-0,1	0,1	-3,6	33960
Чистополь	128	60,8	60,2	-2,0	-1,6	-0,7	26550
<b>Малые</b>	<b>175,5</b>	<b>42,9</b>	<b>40,4</b>	<b>-4,6</b>	<b>-7,4</b>	<b>-29,5</b>	<b>22188</b>
Вязники	112	41,2	36,6	-9,8	-11,4	-79,4	20670
Ртищево	208	41,3	39,0	-6,0	-2,9	-58,9	23108
Сатка	184	45,2	43,4	-1,6	-8,9	-8,6	26112
Камень-на-Оби	195	43,9	42,6	-1,7	-6,7	-10,4	18862

\* Составлено авторами по данным БДПМО.

<sup>4</sup> По численности населения исследованные малые и средние города приближены к верхней планке соответствующих типов.

составила 94%, в малых – 91%. Остальные выпускники распределены между группами, планирующими поступление в учреждения СПО (в средних городах – 2%, в малых – 4,3%), уход в армию (по 1,2%), работа (0,2% и 1,2% соответственно). Около 2% выпускников как в малых, так и в средних городах пока не приняли конкретного решения.

Рост количества выпускников российских школ с высшим образованием наблюдается уже давно, и не является ни особенностью России на фоне других развитых стран (это общемировая тенденция), ни особенностью постсоветского этапа развития России (он начался еще в советский период) [Бесуднов с соавт., 2016]. В то же время, вопреки господствующему представлению, доля людей с высшим образованием в России не превышает уровень многих развитых западных стран. По данным микропереписи населения 2015 г. доля лиц с высшим образованием в возрасте 25–64 года составляет в России 30,2% (в Великобритании – 33,4%, США – 34,1%, Швеции – 29,9%, Германии – 27%). В возрасте 25–34 лет в России она уже выше – 40,3% (это чуть ниже Великобритании и Кореи, но выше, чем в США, Швеции, Японии, Германии) [Образование в цифрах, 2017].

В России доля выпускников средних школ, ставших студентами, в 2010 году составляла 67% от всех закончивших одиннадцатый класс, в 2016 г. – уже 72,5% [Чердниченко, 2017]. На этом фоне полученные нами показатели не так уж и велики, поскольку отражают намерения выпускников, а не реальную картину. Очевидно, что часть выпускников в силу недостаточных баллов за ЕГЭ не сможет поступить в вузы сразу после школы, как планировала изначально.

На решение о непременном получении высшего образования оказывают воздействие уровень образования родителей (среди выпускников, оба родителя которых имеют высшее образование, доля планирующих поступать в вузы составляет почти 100% и в средних, и в малых городах), уровень материальной обеспеченности семьи (суммарно среди двух нижних групп по субъективной оценке материальной обеспеченности домохозяйства выпускника доля планирующих поступление составляет 83% и 73%, соответственно; в двух верхних самых обеспеченных группах – 95%). На выбор образовательной стратегии некоторым образом влияет и успеваемость школьников, хотя доля намеревающихся поступить в вуз велика даже среди троечников (86% в средних городах и 71% в малых).

Оценивая повальное стремление выпускников школ получить высшее образование, не стоит забывать, что мы ведем речь только о выпускниках одиннадцатых классов, а ими не исчерпывается поколение восемнадцатилетних россиян. Более того, значительная доля учащихся средних школ покидает учебные заведения после 9 класса<sup>5</sup> и продолжа-

ет обучение в СПУЗ (хотя около трети из них по окончании СПУЗ также поступают в вузы, и это становится распространенной стратегией, снижающей риски на пути получения высшего образования [Александров и др., 2015]).

По свидетельству экспертов из управления образования г. Бузулука, если раньше из 9 в 10 класс переходило около 30% учеников, то последние три года эта доля доходит до 35%. Директор школы в г. Мичуринск в интервью рассказал, что в 2018 г. из 127 человек, закончивших 9-ый класс, в старшую школу перейдет не более 60 человек; 50% процентов уйдет в СПУЗ.

Выбор профессий выпускников достаточно разнообразен – почти каждый десятый в средних городах и каждый пятый в малых заявил, что за месяц до поступления (опросы проводились в мае) еще не определился в профессиональном выборе. В средних городах по сравнению с малыми выше доля выбирающих IT-специальности (в 2 раза), медицину (в 1,5 раза); ниже доля собирающихся стать юристами (11% против 16% в малых городах); интерес к сфере образования также не высок (4% против 8%) (рис. 1). Возможно, на различия профессиональных предпочтений повлияла и временная разница в опросах (2018 г. – в средних городах и 2015 г. – в малых).

Интервью в управлении образования г. Великие Луки подтвердили, что ситуация с профессиональным выбором выпускников за последние пять лет изменилась – пять лет назад большинство собиралось стать финансистами, экономистами, юристами; сейчас растет интерес к техническим специальностям. Кроме того, за последние годы около 36–38 выпускников из 500 выбирают медицинские специальности. Педагогические вузы востребованы мало.

Данные анкетирования однозначно дают понять, что выпускники не связывают с родными городами планы по получению высшего образования и дальнейшую профессиональную жизнь. Только 12% респондентов в средних городах и 4% в малых городах после окончания школы собираются остаться в своем городе (рис. 2).

В реальности, в родных городах сразу после школы остается больше выпускников, т. е. среди тех, кто ответил «еще не знаю» (а это каждый пятый), есть те, кто, не поступив в желаемые ВУЗы в крупных городах, вынужденно останутся в своем городе, пусть и временно. Главный фактор, способствующий тому, что хотя бы часть выпускников не покидает свои города, – это возможность получить здесь качественное среднее специальное образование, в отдельных случаях – высшее. Именно благодаря более широкому выбору средних специальных учебных заведений, а также наличию собственных вузов или действующих филиалов вузов из крупных городов, доля остающихся в средних горо-

<sup>5</sup> В 2018 г. 54% школьников решили уйти после 9-го класса в учреждения среднего профессионального образования. В 2017 году таких было почти 56% // Новые Известия, 7 декабря 2018 г. <https://newizv.ru/news/society/07-12-2018/bolshinstvo-devyatiklassnikov-v-2018-godu-pereshli-v-kolledzhi>

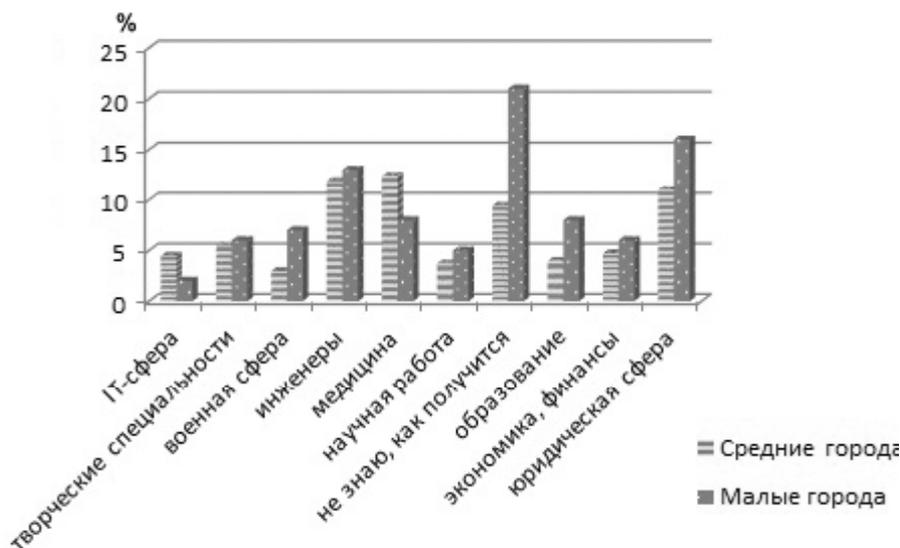


Рис. 1. Направления образования абитуриентов, малые и средние города, %

Fig. 1. Educational fields chosen by applicants, small and midsize towns, %

дах выпускников оказывается выше, чем в малых. Здесь такие учебные заведения, в отличие от крупных городов, в гораздо большей степени вписаны в местную среду, связаны с имеющимися там предприятиями.

Так, по мнению руководства Чистопольского филиала Казанского авиационного института то, что Министерство образования считает «недостижимой мечтой» (связь с производством), реализовано в полной мере в Чистопольском филиале, т. к. вуз фактически работает на нужды завода, тесно с ним связан.

Также выпускники из средних городов чуть чаще задумываются о переезде за границу.



Рис. 2. Предполагаемое место будущего проживания выпускников (ответ на вопрос: «Где вы собираетесь жить после школы?»), малые и средние города, %

Fig. 2. Expected place of living in the future (graduates' answer to the question «Where are you going to live after graduation from the school?»), small and midsize towns, %

В целом около 40% выпускников школ выбирают для учебы крупные города, расположенные не в своих регионах, в том числе Москву и Санкт-Петербург. Значительная доля отправляется и в свои региональные центры, хотя здесь ситуация неоднозначна и зависит как от территориальной близости региональной столицы к родному городу, так и от наличия там широкого спектра вузов и перспектив для дальнейшего трудоустройства, размера регионального центра. Так, например, только 12% выпускников из Великих Лук выбирают Псков, 15% выпускников из Мичуринска – Тамбов, в то же время 50% школьников из Сатки планируют отправиться в Челябинск, 51% из Чистополя – в Казань, 55% из Ртищево – в Саратов.

В вузы Москвы и Санкт-Петербурга отправляются абитуриенты с максимальными баллами за ЕГЭ, и шансы на их возвращение в свои города после учебы малы.

Эксперты ПАО «Машиностроительный завод» г. Бузулук подтвердили, что, благодаря успешно сданным ЕГЭ, наиболее перспективная молодежь стремится в столичные вузы. При этом, если после самарских, или оренбургских вузов еще какая-то часть молодежи возвращается, то после московских, например, практически никто.

В основном выпускники выезжают на учебу самостоятельно, однако в опросе 2018 г. удалось выявить стратегию переезда всей семьи в момент окончания школы – о такой миграционной особенности заявил каждый десятый выпускник в среднем городе. Тенденция переезда на постоянное место жительства всей семьи на этапе поступления ребенка в вузы подтверждалась и в ходе экспертных интервью в малых и средних городах, но касалась в основном более обеспеченных семей и тех, где родители имели востребованные в крупных городах специальности.

Более трети выпускников в средних городах (38%) и почти половина в малых сразу заявили, что в свои



Рис. 3. Планируемые сроки миграции, малые и средние города, %

Fig. 3. Planned duration of migration, small and midsize towns, %

города они больше не вернутся (рис. 3). К самой массовой категории уезжающих «навсегда» можно с большой вероятностью прибавить группу тех, кто ответил, что уезжает на более длительный период, чем учеба в вузе (20% и 26%, соответственно) – данные респонденты планируют устраиваться на работу в крупных городах. В этом случае шансы на их возвращение небольшие – только если им не удастся найти лучшую, чем в своих родных городах, занятость. Итого, группа «потерянных» молодых жителей для своих городов составляет около 57% выпускников в средних городах и 74% – в малых. Однако следует учесть, что в средних городах значительно выше доля неопределившихся (29% против 5%).

По устному сообщению директора школы г. Бузулука, после окончания учебы молодые люди возвращаются крайне редко. Обычно это вызвано неудачной реализацией планов, кроме того чаще приезжают обратно выпускники, которые обладают достаточной финансовой поддержкой семьи. Основной расчет управленцев в средних и малых городах опирается на группу тех, кто планирует отучиться и вернуться (13% в средних и 16% в малых городах). Именно под них разрабатываются грантовые программы, осуществляется целевой набор на востребованные специальности. Однако успешный опыт такого рода сотрудничества с выпускниками редко упоминается экспертами.

**Выводы:**

– не менее 50% школьников после окончания 9 класса уходят в учреждения профессионального

образования. Как и в советское время, поступление в 10 класс (тогда – в 9) или получение СПО является первой ступенью, разделяющей жизненные и миграционные намерения школьников. Среди выпускников СПУЗ, как правило, значительно меньше доля поступающих в вузы, чем среди выпускников школ (не более трети);

– подавляющее большинство выпускников одиннадцатых классов школ как в средних, так и в малых городах – связывают свою последующую жизненную траекторию с миграцией, при этом в средних городах намерены остаться 12% школьников, а в малых – всего 4%;

– основной канал миграции – образовательный; от 91% выпускников в малых городах до 94% в средних городах намерены получить высшее образование. На формирование данной цели влияет успеваемость выпускников, образовательный уровень их родителей, достаточная материальная обеспеченность их семей. Последний показатель отражается не только в возможности семьи направить абитуриента в другой город на обучение, но и в создании возможной «подушки безопасности» после окончания вуза, и даже в стратегии «семейной» миграции, поводом которой служит образовательная миграция ребенка;

– на масштабы и стратегии выезда школьников оказывают влияние не только характеристики собственных городов, но и городов-реципиентов, в первую очередь, численность их населения, которая в российских условиях является индикатором не только собственно размера, но и в значительной мере мощности экономики и, соответственно, разнообразия рынка труда и спектра возможностей (от диапазона выбора специальности для обучения до трудоустройства по его окончании). Традиционно важным является также взаимное местоположение городов исхода и вселения. В этом смысле показателен пример г. Великие Луки, выпускники которого в большей мере готовы ехать в г. Санкт-Петербург, чем в свою региональную столицу – «родной» г. Псков;

– образовательную миграцию выпускников нельзя назвать целиком невозвратной. Однако доля исключений слишком невелика даже для приблизительной оценки. Тем не менее, шансы на сохранение молодежи в средних городах выше, чем в малых. Это обусловлено более развитым рынком труда и относительно более высокими зарплатами, лучшей социальной инфраструктурой, а также более разветвленной сетью учреждений СПО. Наличие в средних городах разнообразных средних профессиональных учреждений качественного уровня не только удерживает часть молодежи сразу после школы, но и способствует привлечению в эти города молодых людей из соседних, более мелких населенных пунктов, городских или сельских. Одновременно, встроенность таких учебных заведений в рынок труда средних городов помогает их студентам более успешно трудоустроиться на месте, избавляя их в дальнейшем от поиска выездной работы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров Д.А., Тенишева К.А., Савельева С.С. Мобильность без рисков: образовательный путь «в университет через колледж» // Вопросы образования. 2015. № 3. С. 66–91.
- Бессуднов А.Р., Малик В.М. Социально-экономическое и гендерное неравенство при выборе образовательной траектории после окончания 9-го класса средней школы // Вопросы образования. 2016. № 1. С. 135–167.
- Город и деревня в Европейской России: сто лет перемен: Монографический сборник / Ред. Т. Нефедова, П. Полян, А. Трейвиш. М.: ОГИ, 2001. 560 с.
- Зайончковская Ж.А. Демографическая ситуация и расселение. М.: Наука, 1991. 132 с.
- Карачурина Л., Мкртчян Н. Межрегиональная миграция в России: возрастные особенности // Демографическое обозрение. 2017а. № 3(4). С. 47–65.
- Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В. Внутренняя долговременная миграция населения в России и других странах // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017б. № 1(2). С. 74–80.
- Кузнецова С.А. Возможность изучения миграционных намерений в социальной психологии // Вестник РУДН. Сер. Психология и педагогика. 2012. № 3. С. 60–65.
- Миграция сельского населения / Под ред. Т.И. Заславской. М.: Мысль, 1970. 348 с.
- Мкртчян Н.В. Пристоличные территории России: динамика населения и миграционный баланс // Что мы знаем о современных российских пригородах? (Сб. статей по итогам Всероссийского науч.-практ. семинара) / Отв. ред. А.С. Бреславский. Улан-Удэ, 2017. С. 26–36.
- Образование в цифрах: 2017: краткий статистический сборник. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 80 с.
- Санникова О.В., Хотинец В.Ю. Транзитный университет как фактор межрегиональной образовательной миграции // Вестн. Удмурт. ун-та. Сер. Философия. Психология. Педагогика. 2017. Т. 27. № 1. С. 41–45.
- Флоринская Ю.Ф., Рощина Т.Г. Оценка уровня миграционной мобильности молодежи малых российских городов (по опросам выпускников школ) // Проблемы прогнозирования. 2008. № 3. С. 125–139.
- Чердиченко Г.А. Российская молодежь в системе образования: от уровня к уровню // Вопросы образования. 2017. № 3. С. 152–182.
- Argent N., Walmsley J. Rural Youth Migration Trends in Australia: an Overview of Recent Trends and Two Inland Case Studies // Geographical Research. 2008. Vol. 46. № 2. P. 139–152.
- Drozdowski, D. 'We're moving out': Youth out-migration intentions in coastal non-metropolitan New South Wales // Geographical Research. 2008. Vol. 46. № 2. P. 153–161.
- Garasky S. Where are they going? A comparison of urban and rural youths' locational choices after leaving the parental home // Social Science Research. 2002. Vol. 31. № 3. P. 409–431.
- Gunko M., Medvedev A. Dull Place or Green Idyll: Local Identity and Migration Intentions of Small City Youth // Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie. 2018. Vol. 109. № 5. P. 661–676.
- Hadler M. Intentions to migrate within the European Union: A challenge for simple economic macro-level explanations // European Societies. 2006. Vol. 8. № 1. P. 111–140.
- Land of Discontent: The Dynamics of Change in Rural and Regional Australia / Pritchard, B. and McManus, P. (eds). University of New South Wales Press. Sydney. 2001.
- Makkai B., Máté E., Pirisi G., Trócsányi A. Where Have All the Youngsters Gone? The Background and Consequences of Young Adults' Outmigration from Hungarian Small Towns // European Countryside. 2017. Vol. 9, № 4. P. 789–807.
- Nugin R. «I think that they should go. Let them see something». The context of rural youth's out-migration in post-socialist Estonia // Journal of Rural Studies. 2014. № 34. P. 51–64.
- Tabor A.S., Milfont T.L. Migration change model: Exploring the process of migration on a psychological level // International Journal of Intercultural Relations. 2011. Vol. 35. № 6. P. 818–832.
- Thomas D. Research memorandum on migration differentials. New York, NY: Social Science Research Council. 1938.
- Walther A., Plug W. Transitions from school to work in Europe: Destandardization and policy trends // New Directions for Child and Adolescent Development. 2006. № 113. P. 77–90.
- Williams A.M., Jephcote C., Janta H., Li G. The migration intentions of young adults in Europe: A comparative, multilevel analysis // Population, Space and Place. 2018. Vol. 24. № 1, P. 21–23.
- Williamson H. Status zero youth and the «underclass»: Some considerations // R. MacDonald (Ed.). Youth, the «underclass» and social exclusion. London: Routledge. 1997. P. 70–82.

Поступила в редакцию 31.03.2019

После доработки 07.04.2019

Принята к публикации 28.06.2019

L.B. Karachurina<sup>1</sup>, Y.F. Florinskaya<sup>2</sup>

MIGRATION INTENTIONS OF SCHOOL GRADUATES  
IN SMALL AND MIDSIZE TOWNS OF RUSSIA

The article is based on the results of questioning the school graduates from small and midsize towns of Russia and on the materials of 2015 and 2018 expert interviews. It was found that over 90% of modern 11<sup>th</sup>-grade students in midsize and small towns are going to obtain a higher education. Realization of these plans and further career development are closely associated with migration from hometowns. Education migration intentions are higher among school students from small towns. Educational and migration strategies of young people correlate with their academic performance, parental education level and material prosperity of their families. The leading migration's directions are large cities, including the regional centers. The choice

<sup>1</sup> National Research University Higher School of Economics, Department of Demography, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: lkarachurina@hse.ru

<sup>2</sup> Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Institute for Social Analysis and Forecasting, Senior Scientific Researcher; National Research University Higher School of Economics, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: jflorin@yandex.ru

of regional centers (or rejection of them in favor of other large cities) is influenced by the location and territorial proximity of the hometown, availability of a wide range of universities and further employment opportunities in the regional center, as well as the size of the regional center and the proximity of other larger town. The most successful school graduates move to Moscow and St. Petersburg, and there is almost no chance of their return to hometowns.

*Key words:* youth, migration, higher education, migratory mobility, Russian towns

## REFERENCES

- Alexandrov D.A., Tenisheva K.A., Savelyeva S.S.* Mobil'nost' bez riskov: obrazovatel'nyj put' «v universitet cherez kolledzh» [No-Risk Mobility: Through College to University] // *Educational Studies*. 2015. № 3. P. 66–91. (in Russian)
- Argent N., Walmsley J.* Rural Youth Migration Trends in Australia: an Overview of Recent Trends and Two Inland Case Studies // *Geographical Research*. 2008. Vol. 46. № 2. P. 139–152.
- Bessudnov A.R., Malik V.M.* Social'no-ehkonomicheskoe i gendernoe neravenstvo pri vybere obrazovatel'noj traektorii posle okonchaniya 9-go klassa srednej shkoly [Socio-Economic and Gender Inequalities in Choosing Educational Trajectories upon Completion of Lower Secondary Education in Russia] // *Educational Studies*. 2016. № 1. P. 135–167. (in Russian)
- Cherednichenko G.A.* Rossijskaya molodezh' v sisteme obrazovaniya: ot urovnya k urovnyu [Russian Youth in the Education System: From Stage to Stage] // *Educational Studies*. 2017. № 3. P. 152–182. (in Russian)
- Drozdzewski D.* 'We're moving out': Youth out-migration intentions in coastal non-metropolitan New South Wales // *Geographical Research*. 2008. Vol. 46. № 2. P. 153–161.
- Florinskaya Ju.F., Roshhina T.G.* Ocenka urovnja migracionnoj mobil'nosti molodezhi malyh rossijskih gorodov (po oprosam vypusnikov shkol) [Assessment of the level of migration mobility of young people in small Russian cities (according to surveys of school graduates)] // *Studies on Russian Economic Development*. 2008. № 3. P. 125–139. (in Russian)
- Garasky S.* Where are they going? A comparison of urban and rural youths' locational choices after leaving the parental home // *Social Science Research*. 2002. Vol. 31. № 3. P. 409–431.
- Gorod i derevnja v evropejskoj Rossii: sto let peremen* [The Town and the Country in European Russia: One Hundred Years of Change]. Ed.: T. Nefedova, P. Polian, A. Treivish, Moscow, 2001. 560 p. (in Russian)
- Gunko M., Medvedev A.* Dull Place or Green Idyll: Local Identity and Migration Intentions of Small City Youth // *Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie*. 2018. Vol. 109. № 5. P. 661–676.
- Hadler M.* Intentions to migrate within the European Union: A challenge for simple economic macro-level explanations // *European Societies*. 2006. Vol. 8. № 1. P. 111–140.
- Karachurina L., Mkrtychyan N.* Mezhregional'naja migracija v Rossii: vozrastnye osobennosti [Interregional migration in Russia: age characteristics] // *Demographic Review*. 2017. № 3(4). P. 47–65. (in Russian)
- Karachurina L.B., Mkrtychyan N.V.* Vnutrennjaja dolgovremennaja migracija naselenija v Rossii i drugih stranah [Long-term internal migration of population in Russia and other countries] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 2017. № 2. P. 74–80. (in Russian)
- Kuznetsova S.A.* Vozmozhnosti izuchenija migracionnyh namerenij v social'noj psihologii [Possibilities of studying the migratory intentions in social psychology] // *RUDN Journal of Psychology and Pedagogics*. 2012. № 3. P. 60–65. (in Russian)
- Land of discontent: the dynamics of change in rural and regional Australia* / Pritchard, B. and McManus, P. (eds). University of New South Wales Press, Sydney, 2001.
- Makkai B., Máté E., Pirisi G., Trócsányi A.* Where Have All the Youngsters Gone? the Background and Consequences of Young Adults' Outmigration from Hungarian Small Towns // *European Countryside*. 2017. Vol. 9. № 4. P. 789–807.
- Migracija sel'skogo naselenija* [Migration of the rural population]. Pod red. T.I. Zaslavskoj. Moscow: Mysl', 1970. 348 p. (in Russian)
- Mkrtychyan N.* Pristolicnye territorii Rossii: dinamika naselenija i migracionnyj balans [Suburban areas of Russia: population dynamics and migration balance] // *What do We Know about Contemporary Russian Suburbs?* / Ed. by A.S. Breslavsky. Ulan-Ude, 2017. P. 26–36. (in Russian)
- Nugin R.* «I think that they should go. Let them see something». The context of rural youth's out-migration in post-socialist Estonia // *Journal of Rural Studies*. 2014. № 34. P. 51–64.
- Obrazovanie v cifrah: 2017: kratkij statisticheskij sbornik* [Education in numbers: 2017: summary of statistics]. M.: NRUHSE, 2017. 80 p. (in Russian)
- Sannikova O.V., Khotinets V.Yu.* Tranzitnyj universitet kak faktor mezhregional'noj obrazovatel'noj migracii [Transit university as a factor of interregional educational migration] // *Bulletin of Udmurt University. Philosophy. Psychology. Pedagog.* 2017. № 27. P. 41–45. (in Russian)
- Tabor A.S., Milfont T.L.* Migration change model: Exploring the process of migration on a psychological level // *International Journal of Intercultural Relations*. 2011. Vol. 35. № 6. P. 818–832.
- Thomas D.* Research memorandum on migration differentials. New York: Social Science Research Council, 1938.
- Walther A., Plug W.* Transitions from school to work in Europe: Destandardization and policy trends // *New Directions for Child and Adolescent Development*. 2006. № 113. P. 77–90.
- Williams A.M., Jephcote C., Janta H., Li G.* The migration intentions of young adults in Europe: A comparative, multilevel analysis // *Population, Space and Place*. 2018. Vol. 24. № 1. P. 21–23.
- Williamson H.* Status zero youth and the «underclass»: Some considerations / R. MacDonald (Ed.). Youth, the «underclass» and social exclusion. London: Routledge, 1997. P. 70–82.
- Zajonchkovskaja Zh.A.* Demograficheskaja situacija i rasselenie [Demographic situation and settlement pattern]. Moscow: Nauka, 1991. 132 p. (in Russian)

Received 31.03.2019

Revised 07.04.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 551.4; 551.312.33

Д.В. Баранов<sup>1</sup>, А.В. Панин<sup>2</sup>, С.И. Антонов<sup>3</sup>, В.Р. Беляев<sup>4</sup>, С.И. Большов<sup>5</sup>, Е.А. Еременко<sup>6</sup>, Н.Е. Зарецкая<sup>7</sup>**ВЛИЯНИЕ ГЛЯЦИОИЗОСТАТИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ПРИЛЕДНИКОВОЙ ЗОНЕ НА РАЗВИТИЕ ВЕРХОВИЙ Р. ВОЛГИ**

100-километровый отрезок верхнего течения р. Волги от пос. Селижарово до г. Зубцова направлен в противоположную сторону от поздневалдайского ледникового щита, край которого около двадцати тысяч лет назад (последний ледниковый максимум, ПЛМ) перекрывал верховья Волги – район Верхневолжских озер. Под массой ледника земная кора в приледниковой полосе прогибалась, а на удалении от ледника формировался компенсационный вал, навстречу которому была направлена долина р. Волги. В работе исследуется влияние на развитие долины р. Волги изменений уклонов поверхности в связи с продвижением ледника и последующей дегляциацией.

На ключевом участке в районе дер. Большая Коша (Селижаровский р-н Тверской обл.) установлено, что перед ПЛМ в речной долине происходила аккумуляция, связанная, вероятно, с уменьшением уклонов долины в связи с формированием приледникового прогиба земной коры. Однако, общая величина прогибания оказалась недостаточной для полного прекращения стока Волги и образования приледникового озера. В период ПЛМ образовалась верхняя (третья, 16-метровая), наиболее широкая терраса реки, в формировании которой могли принимать участие не только речные, но и талые ледниковые воды.

После ПЛМ происходило врезание с образованием лестницы террас, связанное с ростом уклона вследствие гляциоизостатического поднятия земной коры в ходе дегляциации. Врезание прекратилось в середине голоцена (около 6 тыс. л. н.). Общая величина врезания составила 15 м, средняя скорость – порядка 1 мм/год.

*Ключевые слова:* гляциоизостазия, приледниковое озеро, врезание реки, лестница террас, радиоуглеродное датирование, ОСЛ-датирование, Верхневолжье

**Введение.** Гляциоизостазия – вертикальные движения земной коры в областях современного и плейстоценовых оледенений, которые вызываются создаваемой ледниковыми покровами дополнительной нагрузкой (опускания) и ее исчезновением при стаивании ледников (поднятия) [Щукин, 1980]. Проявления гляциоизостазии внутри границ оледенений известны с XIX века (например, историческое и современное поднятие берегов северной Балтики), однако лишь во второй половине прошлого столетия их стали признавать одним из ведущих факторов развития рельефа ледниковых областей [Peltier, 1987; Былинский, 1996]. С 1970-х гг. появляются представления о распространении гляциоизостазии и во внеледниковую зону. Н.А. Мёрнер [1979, 1981] установил, что гляциоизостатические движения проявляются не только в деформациях поверхности под

воздействием ледниковой нагрузки, но и в формировании компенсационного вала – пологого и широкого (до 1000 км по [Peltier, 1987]) поднятия, окаймляющего периферию ледника. Согласно Е.Н. Былинскому [1996], такие участки «корового вздутия» подпирали пересекающие его реки, что приводило к накоплению повышенных мощностей аллювиальных и озерно-болотных толщ. Для рек, текущих вдоль оси вала, реконструировано боковое смещение долин под воздействием перекоса земной поверхности [Busschers et al., 2007; Cohen et al., 2014].

Несмотря на цитированные пионерные работы, роль гляциоизостатического фактора в развитии речных долин за пределами собственно ледниковых областей практически не учитывается. Это относится, в частности, к крупнейшей реке Европейской России – Волге. Строение и развитие долины верх-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, аспирант; Российская академия наук, Институт географии, отдел палеогеографии четвертичного периода, лаборатория палеоархивов природной среды, инженер-исследователь; *e-mail:* dm\_baranov@igras.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор; Российская академия наук, Институт географии, отдел палеогеографии четвертичного периода, лаборатория эволюционной географии, зав. лабораторией, докт. геогр. н.; *e-mail:* a.v.panin@igras.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* ser11131134@yandex.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, ст. науч. с.; лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* vladimir.r.belyaev@gmail.com

<sup>5</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail:* sibol1954@bk.ru

<sup>6</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* eremenkoeaig@gmail.com

<sup>7</sup> Российская академия наук, Институт географии, отдел палеогеографии четвертичного периода, лаборатория палеоархивов природной среды, вед. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; *e-mail:* zaretsk@igras.ru

ней Волги, детально исследованное в середине XX века [Синюгина, 1938; Карандеева, 1938; Обедиентова, 1962, 1975, 1977], объяснялось с позиций влияния стока талых ледниковых вод, изменений климата, тектонических движений. Между тем, долина р. Волги в ее верховьях представляет интересный объект для изучения влияния гляциоизостатических деформаций. На 100-км отрезке от пос. Селижарово до г. Зубцова река течет в направлении от края последнего ледникового щита навстречу крутому скату приледниковой флексуры, и поэтому должна была испытывать максимально сильное влияние приледниковых движений земной коры. Выявление реакции эрозионно-аккумулятивных процессов и истории развития долины на эти движения и представляет собой цель настоящей работы.

Исследованный участок долины р. Волги расположен около дер. Большой Коши (Селижаровский р-н Тверской области), в нескольких десятках километров от максимальной границы позднеплейстоценового оледенения – границы поздневалдайского (осташковского) ледникового щита [Astakhov et al., 2016] (рис. 1). Территория представляет собой волнисто-слабохолмистую моренную равнину, осложненную конечно-моренными грядами московского времени. Долина р. Волги имеет относительно широкую пойму и хорошо выраженную лестницу надпойменных террас.

**Материалы и методы исследований.** Для изучения геолого-геоморфологического строения было проведено морфологическое описание территории, а также шурфование и бурение по профилю на всех ключевых элементах рельефа долины и междуречья, заложены расчистки на крутых уступах поймы и террас (рис. 1). Глубина шурфов достигала 3,5 м (в среднем – 2 м). Ручное бурение выполнялось с помощью бурового набора Eijelkamp с полуцилиндрическим пробоотборником диаметром 3 см и пробоотборником Эйдельмана диаметром 7 см. Наибольшая глубина скважин ручного бурения составляла 6 м. Механическое бурение выполнялось до глубины 18 м шнековым способом с помощью буровой установки УКБ 12/25.

По линии бурового профиля проведена топографическая съемка с субдециметровой точностью. На залесенных участках применялся электронный тахеометр с однопризменным отражателем Leica и телескопической вехой; на открытых – комплект двухчастотных приемников спутникового позиционирования (GPS/GLONASS) Leica Geosystems серии 1200). В труднодоступной правобережной части профиль построен по топографической карте масштаба 1:10 000.

Для детального исследования отдельных генетических типов отложений был проведен гранулометрический анализ образцов по многофракционной шкале В.П. Батурина. Сухой рассев производился вручную (фракции до 2 мм) и с помощью виброгрохота Fritsch Analysette 3 PRO (до фракции 0,1 мм; частота 15, амплитуда 3 мм, продолжительность 30 минут; погрешность измерений 8%). Определе-

ние гранулометрического состава частиц менее 0,1 мм производилось методом лазерной гранулометрии с помощью лазерного дифракционного анализатора частиц Fritsch Analysette 22 Comfort.

Возраст исследуемых отложений был определен с помощью радиоуглеродного и оптико-люминесцентного (ОСЛ) анализа. Радиоуглеродным методом датированы образцы почвы, торфа и древесного детрита из аллювия поймы (см. табл.). Калиброванный возраст получен с помощью онлайн сервиса OxCal 4.3 [Bronk Ramsey, 2009] с использованием калибровочной кривой IntCal 13 [Reimer et al., 2013].

Возраст аллювия террасы и приповерхностных отложений междуречья был получен методом оптико-стимулированной люминесценции (ОСЛ). Датирование проводилось в Институте физики Силезского политехнического университета (Гливице, Польша).

**Результаты исследований.** Долина р. Волги на ключевом участке исследования представлена поймой (по обоим берегам реки) и лестницей надпойменных террас (НПТ), которые можно сгруппировать в три комплекса – первой, второй и третьей НПТ, а также (преимущественно по правому берегу) коренными склонами.

На левом берегу р. Волги *пойма* представляет собой выровненную, слегка волнистую покрытую луговой растительностью площадку, поднятую над урезом реки (194 м абс.) на 4–4,5 м (рис. 2). Уступ поймы закустарен, что говорит о его длительной стабильности. На правобережье пойма имеет грядово-ложбинный рельеф: гряды и ложбины имеют ширину порядка 30–40 м и вытянуты вдоль русла реки (в направлении запад–восток). Относительные превышения поверхности поймы составляют около метра.

С поверхности пойма сложена 1,5–2-метровыми толщами супесей и/или тонкозернистых оглиненных песков (рис. 2). В верхних 0,5 м они, как правило, однородны, а ниже имеют горизонтальную или слабоволнистую слоистость (как по механическому составу, так и по цвету: более супесчано-суглинистые слои имеют буровато-коричневый цвет, а более опесчаненные – палевый или желтовато-серый). На левобережной пойме этот слой в верхних 1–1,5 м местами значительно изменен хозяйственной деятельностью человека – встречаются металлические и пластмассовые артефакты. В прирусловой части поймы по обоим берегам он имеет повышенные мощности; так, например, на правобережье такая слоистость прослеживается практически до уреза реки. Иже в пределах левобережной поймы последовательно вскрывается достаточно мощная (более 4 м) толща типичного руслового аллювия, представленного среднезернистыми песками коричневого цвета (рис. 2). На глубине 4–5 м и около 7 м бурением встречены прослои (мощностью около 1 метра) более грубого материала – гравийника с галькой и щебнем при заполнителе из крупно- и грубозернистого песка. Переход от песков к гравийни-

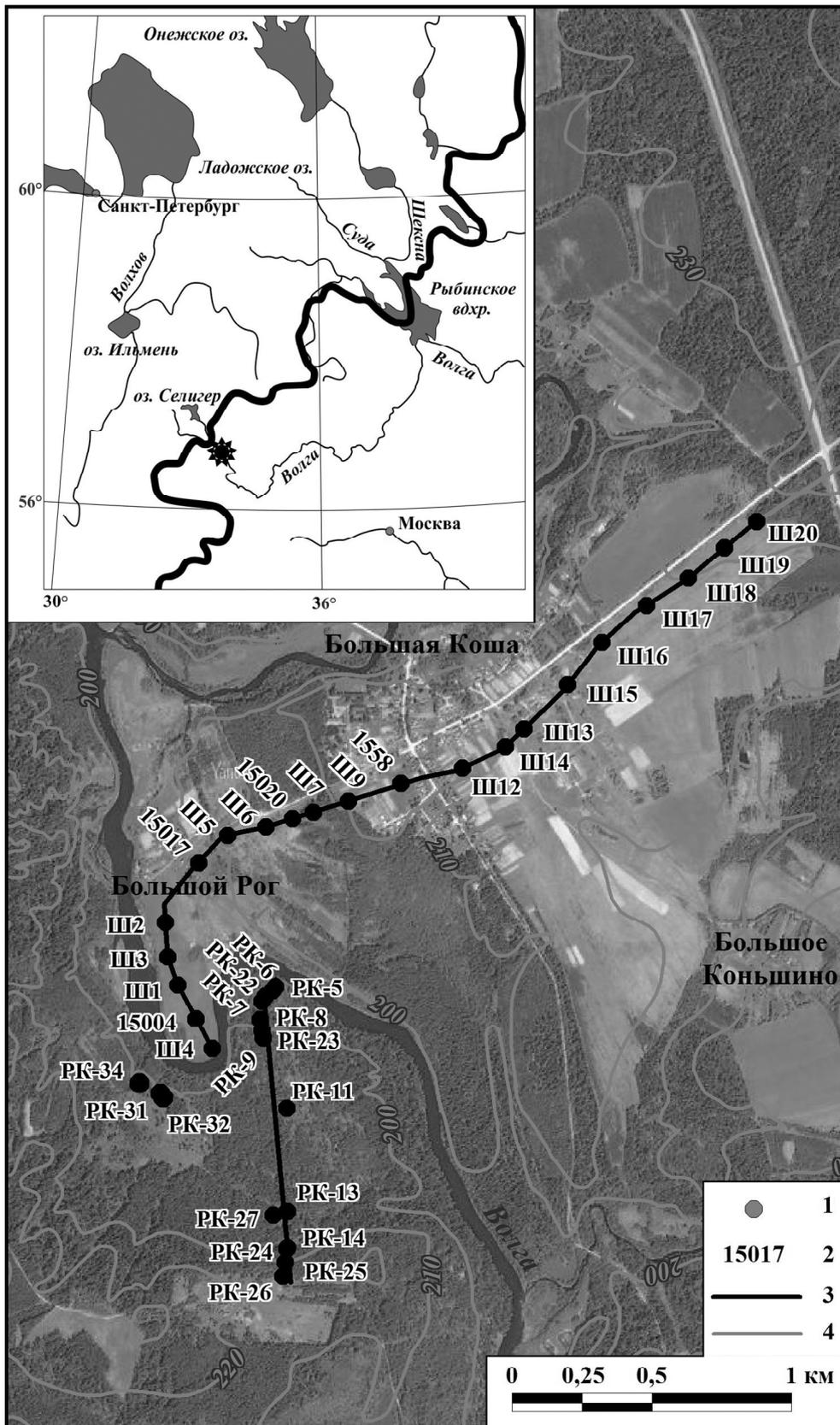


Рис. 1. Положение участка исследования и точек геолого-геоморфологического профиля. Жирной черной линией на врезке обозначена граница максимальной стадии валдайского оледенения (по Astakhov et al., 2016). Условные обозначения: геологические выработки (1) и их номера (2), линия профиля (3), горизонтали через 10 м (4); космический снимок <https://yandex.ru/maps>

Fig. 1. Location map of the study area and the points of geological-geomorphologic profile. Thick black line on the map shows the LGM glacial boundary (after Astakhov et al., 2016). Legend: boreholes (1) and their numbers (2), profile line (3), contour lines at 10 m increment (4); satellite image from <https://yandex.ru/maps>

Результаты радиоуглеродного анализа отложений аллювия поймы

Номер разреза	Глубина, м	Литология, фацция аллювия	Материал для датирования	<sup>14</sup> C дата	Калибр. возраст $\mu\pm\sigma$ , л. н.	Лаб. индекс и номер
Ш4	5,30–5,70	песок с/з–к/з с гравием, русловая	древесный детрит	1430±40	1330±30	ГИН-15232
15004	4,40–4,80	песок с/з–г/з с галькой, русловая	древесный детрит	3020±40	3220±70	ГИН-15234
Ш1	0,80–0,90	суглинок опесчаненный, пойменная	погребенная почва (кровля)	590±50	590±40	ГИН-15235
Ш1	1,10–1,15	суглинок опесчаненный, пойменная	погребенная почва (подошва)	2680±100	2800±130	ГИН-15236
Ш1	3,60–3,90	песок т/з, пойменная	древесный детрит	5010±40	5760±70	ГИН-15237
РК-8	2,05–2,25	торф, старичная	торф	4520±30	5170±80	ГИН-15583

ку плавный, укрупнение материала происходит постепенно.

Иное строение имеют отложения поймы на правобережье, где имеются межгрядовые ложбины (рис. 2). В верхних 2,5–2,75 м здесь вскрываются торф, оторфованный суглинок, а также суглинистые прослой сизых и сизо-серых цветов без включений. Под ними – среднезернистые пески серого цвета, с включениями растительных остатков, а в нижней части – гравия, дресвы и щебня. Общая мощность аллювиальной толщи на пойме составляет в среднем 7–8 м.

Практически все скважины прошли подошву аллювиальных отложений и вскрыли плотные темно-коричневые и бурые тяжелые суглинки с включениями разноразмерных обломков – морену; при воздействии с соляной кислотой морена «вскипает». Вскрытые мощности не превышают одного метра. Кровля морены неровная, волнистая; ее перепад составляет более двух метров (рис. 2).

*Комплекс I надпойменной террасы (I НПТ)*, в данном створе расположенный только в левобережной части долины, представлен серией ступеней, высотой относительно нижележащих поверхностей около 1 м. Нижняя ступень в створе профиля имеет ширину чуть менее 250 м и высоту относительно уреза реки порядка 5 м (рис. 2). Геологическое строение этой ступени существенно отличается от поймы. В верхних 1,3 м залегает легкий-средний суглинок буро-коричневого цвета, плавно переходящий вниз по разрезу в супесь – пойменный наилок. Под ним – маломощный (около полуметра) песчаный прослой, сменяющийся мощной (порядка 4 м) толщей крупнообломочного материала – гравийника с включением гальки и мелких валунов. Под этой толщей залегают мелко- среднезернистые пески серого цвета с единичными зернами гравия. В забое скв. Ш2 встречен опесчаненный алевритистый суглинок, тонкослоистый и, вероятно, с включением органики (не морена). Таким образом, в скважине на глубине более 10 м морена не обнаружена.

Далее к междуречью располагается сильно бугристая террасовидная поверхность шириной в

створе профиля порядка 600 м (рис. 2). Часть поверхности покрыта сосновым лесом; на ней располагается д. Большой Рог. От нижележащей поверхности она отделена невысокой (1–1,5 м) ступенью; от вышележащей – хорошо выраженным крутым уступом высотой 8–9 м. Средний уровень этой террасы составляет 200 м абс. (5,5–6,5 м над урезом), однако он практически нигде строго не выдержан: поверхность сильно изменена, в том числе и антропогенным воздействием.

С поверхности этой террасы вскрывается толща с закономерным укрупнением механического состава вниз по разрезу. Верхние 1,5–2 м представлены мелкозернистыми песками, реже алевритами и легкими опесчаненными суглинками (последние вскрыты в скважинах, расположенных ближе к реке и чуть ниже, чем остальные). Постепенно механический состав песков укрупняется до средне- и крупно- грубозернистого, появляются включения гравийных зерен. Мощность такого прослоя в среднем составляет 1,5 м. Вниз по разрезу эти пески сменяются песчано-гравийниками с многочисленными включениями гальки и щебня мощностью до 1,5–2 м. Общая мощность слоя: 4,5–5,5 м; цвет – коричневый, рыже-коричневый, серовато-коричневый.

Нижняя граница прослоя с грубыми обломками четко маркируется изменением механического состава: галька и щебень резко пропадают, заполнитель становится более однородным (по отдельной скважине). Скважинами вскрываются гравийники, песчано-гравийники, среднезернистые пески значительной мощности. На глубинах ниже 10 м появляются прослой более грубого материала – крупного гравия, щебня. Забоями некоторых скважин подсечены однородные средне- и тонкозернистые пески, а также алевриты (мощностью до 1 м). Подошва этого слоя не установлена, максимальная глубина забоя скважин составляет 18 м (рис. 2).

*Комплекс II надпойменной террасы (II НПТ)* на высоте 12–13 м над урезом встречается в створе профиля только на правобережье (рис. 2). В этом месте он примыкает к пойме, но в нескольких де-

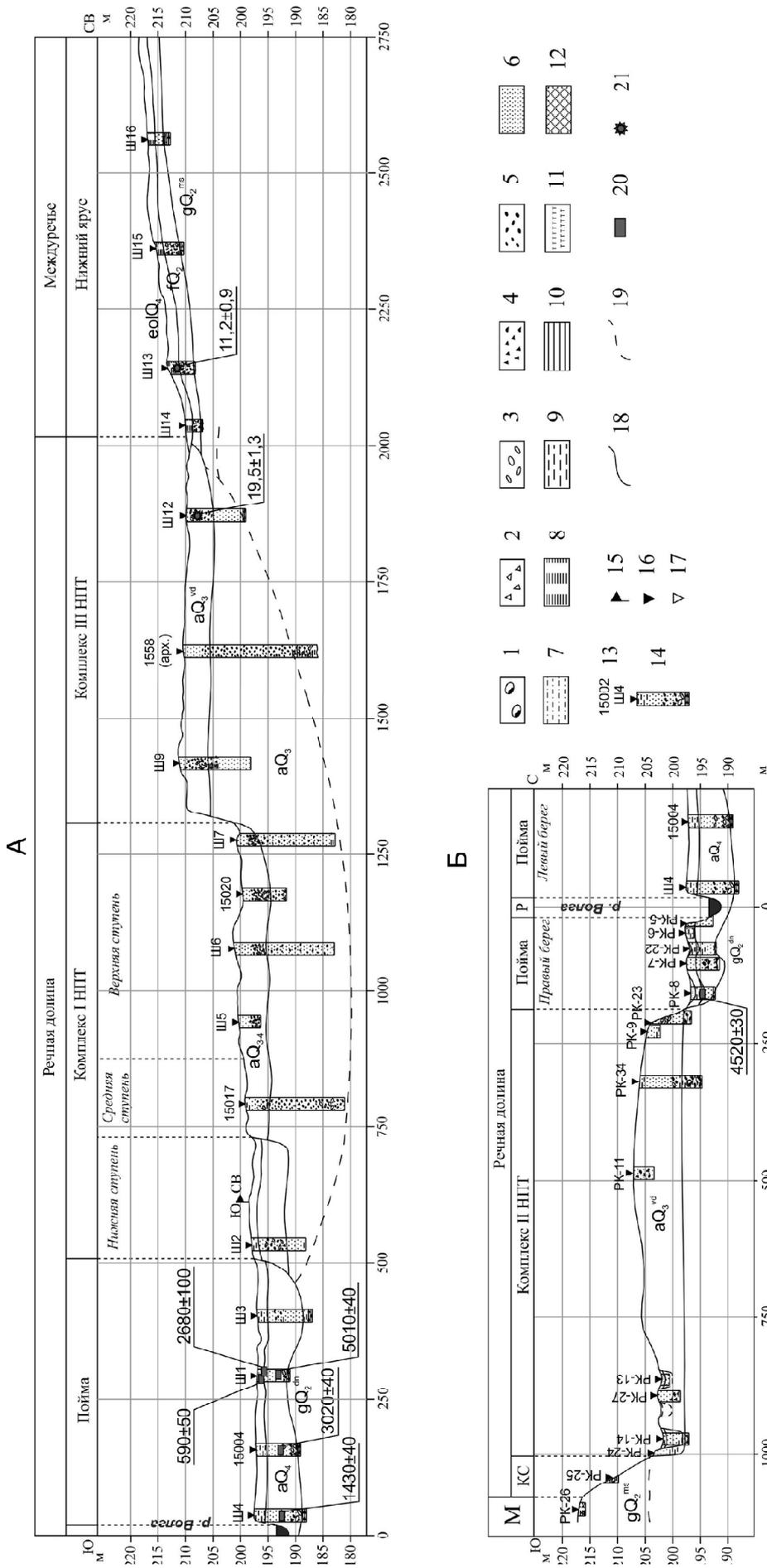


Рис. 2. Геолого-геоморфологические профили через долину р. Волги: А – левобережная часть, Б – правобережная часть. Условные обозначения: литология: валуны (1), щебень (2), галька (3), дресва (4), гравий (5), песок (6), супесь (7), алеврит (8), суглинок (9), глина (10), торф (11), антропогенно измененная толща (12); генезис: а – аллювий, еол – эоловые, г – ледниковые (морена), ф – флювиогляциальные; возраст:  $Q_2^{dn}$  – среднеплейстоценовые днепровского оледенения  $Q_2^{ms}$  – среднелайстоценовые московского оледенения,  $Q_3$  – позднелайстоценовые,  $Q_3^{vd}$  – позднелайстоценовые поздневалдайского оледенения,  $Q_4$  – голоценовые; прочие: номер скважины (сверху) и название шурфа (снизу) (13), геологическая колонка (14), точка смены направления профиля (15), геологические выработки: основные (16), вспомогательные (17), геоморфологические границы: достоверные (18), предполагаемые (19), возраст  $^{14}C$ , лет BP (20) и OSL, тыс. л. н. (21); М – междуречье, КС – коренной склон долины, Р – русло

Fig. 2. Geomorphologic sections across the Volga River valley: А – left bank, Б – right bank. Legend: boulders (1), breakstone (2), pebble (3), gravel (4,5), sand (6), silty loam (7), siltstone (8), loam (9), clay (10), peat (11), man-modified deposits (12); genesis: а – alluvium, eol – aeolian, g – glacial (moraine), f – fluvio-glacial; age:  $Q_2^{dn}$  – Middle Pleistocene (Dnieper glaciation),  $Q_2^{ms}$  – Middle Pleistocene (Moscow glaciation),  $Q_3$  – Late Pleistocene,  $Q_3^{vd}$  – Late Pleistocene (Late Valdai glaciation),  $Q_4$  – Holocene; other: geological section (14) and its number (13), tum point (15), main (16) and additional (17) cores, boundaries: reliable (18), hypothesized (19),  $^{14}C$  data, yrs BP (20) and OSL, ka (21); М – interfluvial surface, КС – river valley slope, Р – river channel

сятках метров выше по течению уступ опирается непосредственно на русло. Поверхность террасы в целом пологовыпуклая, осложненная хорошо выраженным эоловым микрорельефом; в тыловой части террасы имеется старичное понижение. Ширина площадки террасы в створе профиля составляет около 800 м.

Аллювиальная толща террасы обобщенно имеет следующее строение. С поверхности на 2,5–4,5 м она сложена тонко- мелкозернистыми песками коричневого, бурого, серого, палевого и бежевого цветов. Стоит отметить широкий спектр текстур (слоистости) этих толщ. Встречается горизонтальная, наклонная, волнистая, линзовидная, градиентная, сложная (например, горизонтальные прослои наклон-

ных слоев) слоистость; имеются прослои разнообразной конфигурации по цвету и механическому составу (рис. 3). Исходя из сочетания очень хорошей сортированности, текстурных особенностей, а также наличия эоловых форм на поверхности террасы, верхняя часть толщи, вероятнее всего, испытала эоловую переработку.

Нижняя часть аллювиальной толщи представлена средне- крупнозернистыми или разнородными песками с включениями гравия и галек. Средняя мощность этой толщи составляет около 1 м, но, например, в уступе террасы, примыкающему к пойме возрастает до 4 м (в то же время стоит отметить, что здесь верхний слой достаточно маломощен и не превышает 1 м). Для этого слоя также ха-

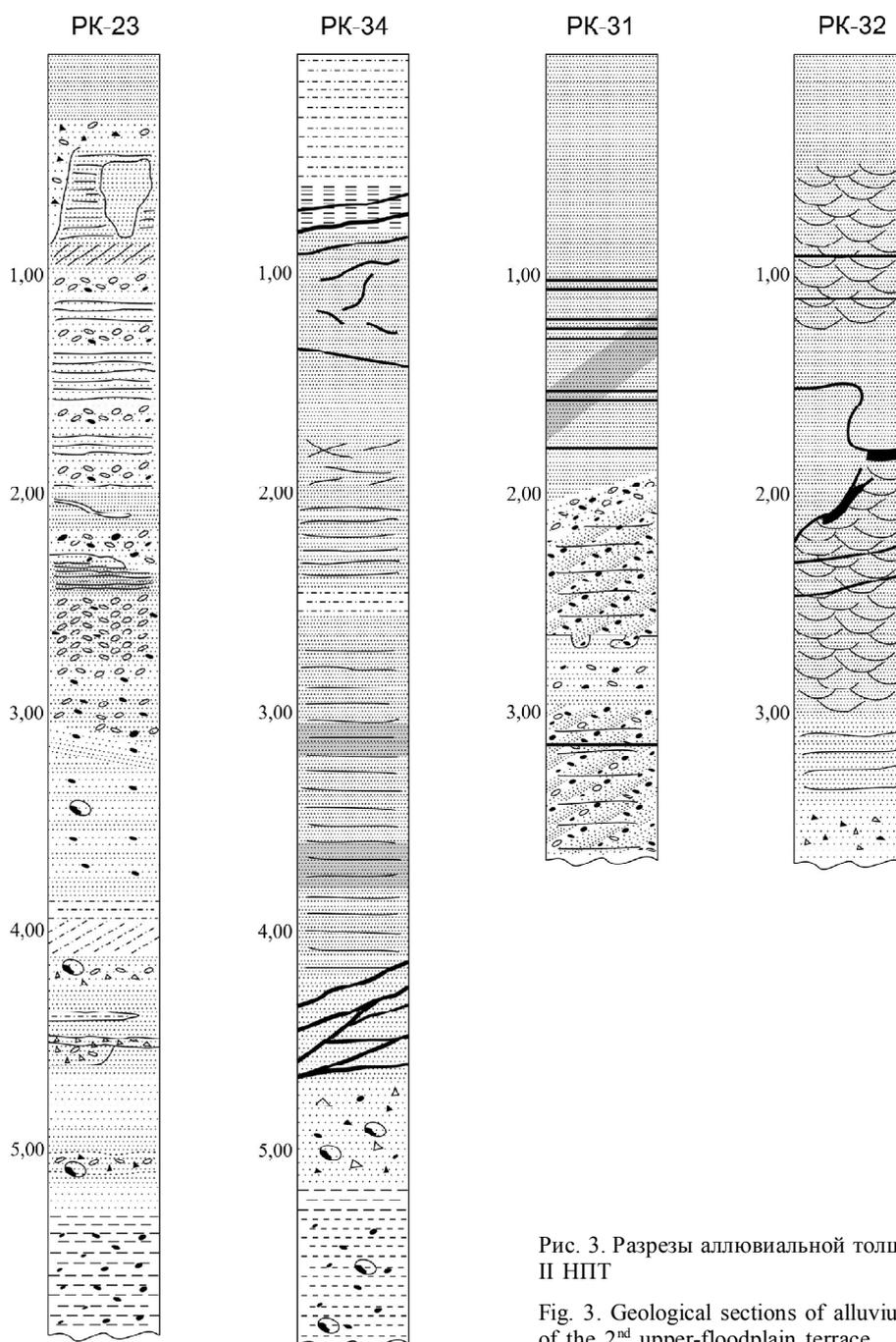


Рис. 3. Разрезы аллювиальной толщи II НПТ

Fig. 3. Geological sections of alluvium of the 2<sup>nd</sup> upper-floodplain terrace

рактены различные текстуры, прослои и слои иного цвета и механического состава.

Аллювиальные отложения (в тех скважинах, где была пройдена подошва аллювия, а также в расчистках подмываемого правого берега выше створа профиля) подстилаются плотными средними суглинками коричневого цвета без включений и средними-легкими опесчаненными суглинками сизо-серого и сизо-коричневого цвета с большим количеством разнообразных обломков (размером до валунов). Эти подстилающие аллювий отложения явно имеют ледниковое происхождение. Таким образом, II НПТ, фактически, является цокольной.

*Комплекс III надпойменной террасы (III НПТ)* в створе профиля расположен в левобережной части долины и имеет среднюю высоту 16 м над урезов (210 м абс.). Площадка террасы представляет собой слабоволнистую выровненную поверхность шириной в створе профиля – около 600 м. Большая часть площадки террасы освоена человеком – здесь располагается дер. Большая Коша. Уступ террасы морфологически хорошо выражен, крутизной около 20°; бровка четкая, резкая (рис. 2).

С поверхности терраса сложена тонко- мелкозернистыми песками, их крупность постепенно увеличивается вниз по разрезу, в то же время уменьшается сортированность (пески становятся разнозернистыми) (рис. 2). Мощность аллювиальных (или аллювиально-флювиогляциальных) отложений составляет порядка 5 м. Текстура осадка не отличается ярко выраженной слоистостью за исключением редких прослоев гравийно-галечно-щебнистого материала. Отложения III НПТ были датированы методом ОСЛ: полученная дата из шурфа Ш12 с глубины 1,95 м составляет  $19,5 \pm 1,3$  тыс. л. н. (GdTL-3021).

Тыловой шов террасы на дневной поверхности практически не выражен. Локализовать его удается только на детальном топографическом профиле, построенном по результатам съемки DGPS. Плоская субгоризонтальная поверхность площадки террасы плавно переходит в очень пологий (около 3°) волнистый склон междуречья (рис. 2).

*Междуречье.* Пологонаклонные или пологоволнистые междуречные поверхности занимают обширные пространства на высотах 210–250 м. Настоящим исследованием подробно рассматривается нижний ярус междуречья, представленный полого поднимающимся от реки склоном. С поверхности на глубину до 1,2–1,5 м он сложен толщей, представленной алевритами и тонкозернистыми песками светло-палевого цвета без включений, с редкими прослоями мелко- и среднезернистого песка (рис. 4). Верхняя часть этой толщи (до глубины 0,8–0,9 м) неслоистая, более неоднородная и опесчаненная; соотношение фракций мелко-, тонкозернистого песка, алеврита и глины примерно одинаковое и составляет 20–25%. Нижняя часть имеет тонкую горизонтальную слоистость, отличается большим количеством железо-марганцевых примазок; для этого подслоя характерна высокая доля тонкозернистого

песка (20–30%) и особенно крупного алеврита (40–50%), в сумме эти две фракции дают более 60%. Нижняя граница слоя очень четко выделяется по механическому составу.

С глубины 1,9 из шурфа Ш13 получена ОСЛ-дата, которая составляет  $11,2 \pm 0,9$  тыс. л. н. (GdTL-3024).

Супесчано-алевритистая толща подстилается разнозернистыми песками (60–70% от общей массы, порядка 10% на каждую фракцию) рыже-коричневого цвета с включением разноразмерных обломков (до валунов). Мощность этого слоя непостоянна, изменяется от 2,5 м до менее полуметра.

Забоями почти всех скважин вскрыты тяжелые суглинки красноватых тонов (красно-коричневые, красно-бурые, коричневые) с включениями разноразмерных обломков. Максимальная вскрытая мощность: 1,3 м. Это отложения ледникового происхождения – морена. Поскольку в валдайскую эпоху ледниковые покровы до исследуемой территории не дошли (Astakhov et al., 2016), возраст морены принимается за московский (конец среднего плейстоцена). Разнозернистые красноватые пески, залегающие поверх моренных суглинков, можно рассматривать как результат их перемыва в ходе дегляциации позднемосковского времени.

**Обсуждение результатов.** Согласно последней версии максимальной границы поздневалдайского ледникового щита [Astakhov et al., 2016], около 20 тыс. л. н. рассматриваемая территория находилась в приледниковой зоне на расстоянии первых десятков километров от края ледника (рис. 1). В краевой зоне мощность льда составляла первые сотни метров, а прогибание земной поверхности под массой льда распространялось и на приледниковую зону, где в полосе шириной около 100 км существовал флексурный прогиб глубиной несколько десятков метров [Peltier, 2004]. В зону этой приледниковой флексуры попадают и верховья Волги. В максимальную фазу поздневалдайского оледенения из-за гляциоизостатического прогибания уклон р. Волги, протекающей в направлении от ледника, должен был уменьшаться. Ранее высказывалось предположение [Панин, Баранов, 2015] о возможном прекращении течения в верховьях Волги в период около последнего ледникового максимума (ПЛМ) и возникновении в приледниковой зоне временного озерного водоема.

Если приледниковое озеро времени ПЛМ существовало, оно должно было оставить следы в рельефе и осадках. За озерные отложения можно принять хорошо сортированные тонкослоистые супесчано-алевритовые осадки, покрывающие придолинный склон (нижний ярус междуречья) левобережья Волги (рис. 2). Отсутствие выраженного тылового шва долины у самой высокой террасы вполне отвечает сценарию постепенного возобновления стока по мере поднятия территории и появления уклона долины вдоль прежнего направления течения. Кроме того, супесчано-алевритовые отложения, спускаясь по придолинному склону, не перекрывают повер-

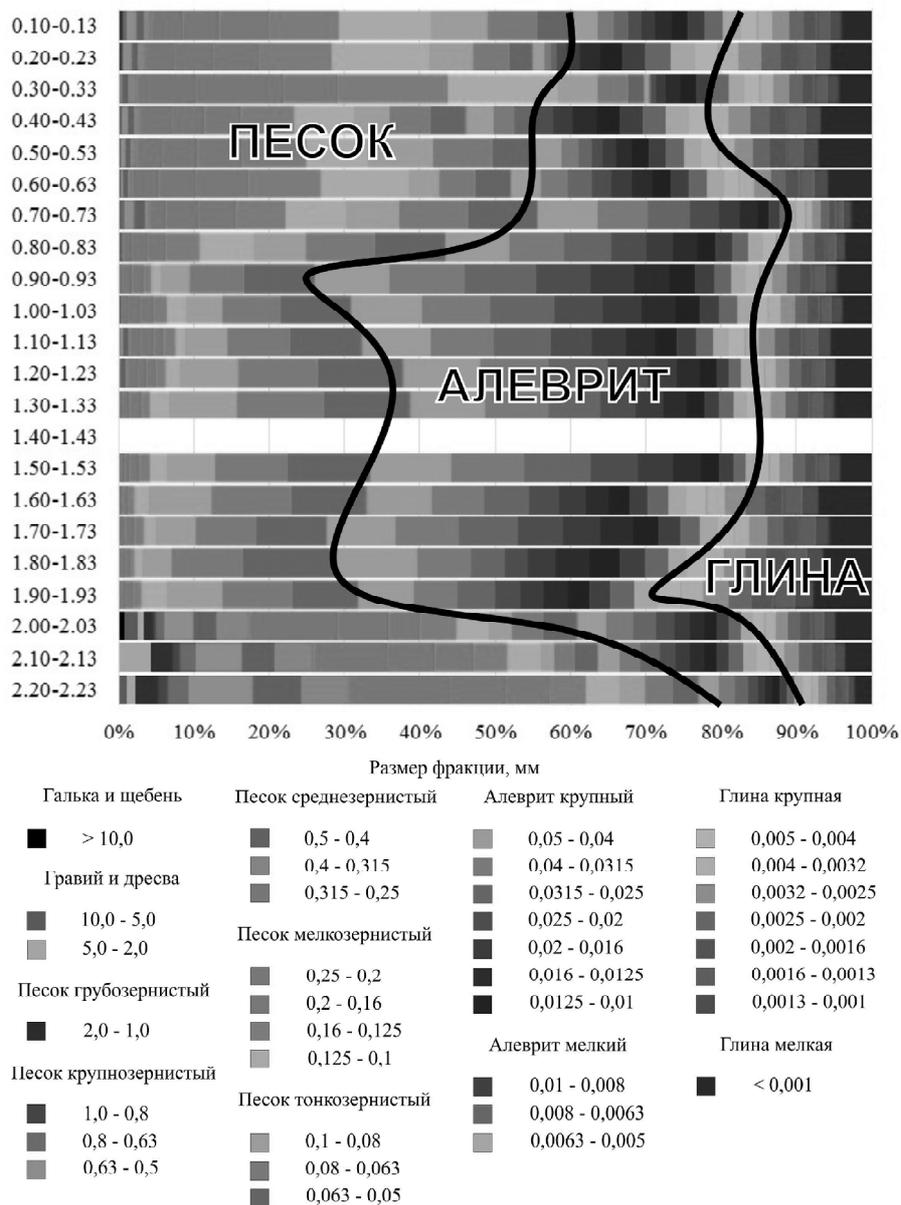


Рис. 4. Гранулометрический состав отложений, слагающих придолинных склон междуречья, шурф Ш13

Fig. 4. Grain size diagram of sediments covering the lower interfluvial slope, pit Ш13

хность III НПТ, что исключает делювиальное происхождение этой толщи. На этом же основании можно было бы выстроить и удовлетворяющую «озерной гипотезе» последовательность событий: сначала отложение озерных алевритов в виде слоя, облегающего древний склон, а лишь затем возобновление течения реки и образование современной III НПТ.

Однако, этот сценарий опровергается полученными абсолютными датировками. Алевриты нижнего яруса междуречья имеют раннеголоценовый возраст – ОСЛ-дата 11,2±0,9 тыс. л. н. (GdTL-3024), т. е. они никак не могли отлагаться на дне озера в период ПЛМ. Условия их залегания и литологические особенности позволяют предположить, что супесчано-алевритистая толща имеет эоловый генезис и образована за счет дефляции поверхности третьей террасы в раннем голоцене с выдуванием

материала в сторону водораздела – это объясняет отсутствие алевритов на поверхности террасы и уменьшение мощности слоя вверх по склону.

В период ПЛМ, согласно ОСЛ дате 19,5±1,3 тыс. л. (GdTL-3021) в шурфе Ш12, формировалась верхняя (третья) терраса, т. е. сток Волги в период ПЛМ не прекращался и приледникового озера на данном участке долины не существовало. Достоверные озерные отложения поздневалдайского времени обнаружены в непосредственной близости от границы оледенения (в окрестностях Селижарово [Кямря с соавт., 2012]). Верхне-Волжская система ледниково-подпрудных озер, реконструированная для этого же времени Д.Д. Квасовым [1975], формировалась ниже по течению и на данный отрезок Волги не распространялась. Полученная по аллювию третьей террасы поздневалдайская дата

корректирует представления Г.В. Обедиентовой [1977], которая относилась формирование III НПТ к московско-валдайскому времени. Учитывая близость ледника, можно предположить, что в формировании III НПТ могли принимать участие и талые ледниковые воды, т. е. террасу можно считать аллювиально-флювиогляциальной, продолжающей выделенные Г.В. Обедиентовой [1962, 1977] селижаровские зандры.

Под современным террасовым комплексом (интервал профиля 500–1900 м на рис. 2) скважинами вскрыты отложения древней погребенной долины, принадлежавшей Волге и, вероятно, Большой Коше (место их слияния). Долина прорезает отложения московской морены, т. е. формировалась в послемосковское время – в позднем плейстоцене. Погребение этой долины под отложениями III НПТ можно интерпретировать как результат направленной аккумуляции в долине, причиной которой могли служить гляциоизостатические деформации в приледниковой области, сопровождавшие наступление поздневалдайского ледника. Компенсационный вал, формировавшийся на расстоянии 300–400 км от края ледникового щита [Peltier, 2004] и мигрировавший к юго-востоку по мере его роста, мог оказывать подпорное воздействие на верховья Волги, снижая их уклоны уже в начале поздневалдайской эпохи. По мере приближения ледника падение уклонов усилилось за счет приледникового прогибания. Падение уклонов вызвало направленную аккумуляцию в долине, в результате чего аллювий начала и середины позднего плейстоцена оказался погребенным под поздневалдайским аллювием III НПТ.

После формирования III НПТ начинается врезание и формирование лестницы аллювиальных террас. В период формирования II НПТ поток уже окончательно приобретает свойства руслового, формируются типичные аллювиальные отложения, отличающиеся более высокой степенью сортировки, а также классическими линзовидной и сложной слоистостью (рис. 3). Терраса представляет собой комплекс из нескольких ступеней относительной высотой до 1,5–2 м. Мощность аллювия, представленного только русловой фацией, остается выдержанной (порядка 5 м), что говорит о неизменности темпов врезания и морфологического типа русла – очевидно, много рукавного. Незадернованная поверхность только что сформировавшейся террасы подвергалась эоловой переработке. Об этом можно судить по строению приповерхностной части разреза террасы – хорошей сортировке покровных песков и наличию эоловых форм (в частности, дюн) на поверхности.

Формирование I НПТ, по нашим представлениям, произошло в раннем голоцене. Это не противоречит имеющимся в литературе палинологическим и радиоуглеродным датам отложений, слагающих I НПТ Волги [Ауслендер, 1989; Кямря с соавт., 2012]. Характеристики крупности аллювия I и II НПТ сходны, а, значит, и скорость водного потока с течением времени значительно не изменилась. Наличие тонкозернистых отложений (суглинков) на поверхности низких ступеней I НПТ говорит о том, что их повер-

хность затапливалась и в более поздние стадии голоцена. По словам местных жителей, наиболее низкая ступень I НПТ в последний раз полностью была покрыта водами половодья весной 2013 года.

Формирование высокой поймы р. Волги началось не позднее среднего голоцена, о чем свидетельствуют радиоуглеродные даты по русловой фации аллювия (табл., рис. 3). Крупность русловой фации аллювия поймы меньше, чем на террасах. Здесь очень редки крупные включения, они слагают только базальную фацию и не встречаются в типичном русловом аллювии; в то же время крупность песчаного материала заметно меньше (в основном средне- и мелкозернистые пески).

Субгоризонтальная, хотя и неровная, подошва аллювия поймы (рис. 2) говорит о прекращении врезания реки, которое произошло, судя по имеющимся датам, не позднее 6 тыс. л. н. В связи с замедлением, а потом и прекращением врезания, изменяется фациальный состав аллювия: появляется достаточно мощная пойменная фация, отсутствующая на более высоких уровнях (кроме нижней ступени I НПТ). Второй причиной появления пойменной фации послужила, вероятно, морфологическая трансформация русла: из много рукавного русла с беспорядочно мигрирующими рукавами, на пойме которого не успевает накапливаться иллок достаточной мощности [Лаврушин, 1963], река собралась в единый поток со стабильной поймой, отдельные участки которой накапливают отложения разливов реки в течение тысяч лет.

Таким образом, врезание Волги с уровня III НПТ до уровня поймы происходило в период отступления поздневалдайского ледника и в начале голоцена. Учитывая имеющиеся реконструкции гляциоизостатических деформаций для Скандинавского ледникового щита [Peltier, 2004], причиной врезания можно считать релаксационное поднятие, происходившее в приледниковой области в ходе дегляциации. Имеющиеся данные позволяют оценить общую величину и скорость позднего и послеледникового врезания р. Волги. Углубление долины от поверхности III НПТ (высота 16 м) до поверхности высокой поймы (4 м), т. е. на 12 м, произошло в период между 20 тыс. л. н. и 6 тыс. л. н., т. е. не более чем за 14 тыс. лет. Это дает минимальную оценку средней скорости врезания 0,85 мм/год (м/тыс. л.). С учетом неодинаковой величины пойменной аккумуляции на разных террасовых уровнях, более правильным будет измерять скорость врезания по подошве аллювия террас. С уровня III НПТ до поймы подошва аллювия опустилась с 205 до около 190 м абс., т. е. на 15 м, что дает среднюю за 14 тыс. лет скорость врезания 1,1 мм/год (м/тыс. л.).

Радиоуглеродное датирование позволило установить скорость роста излучины Роговское колено. Были использованы калиброванные даты по пескам русловой и низов пойменной фации в скважинах, расположенных по оси шпоры излучины (табл.): 5800 л. н. – в скважине Ш1, 3200–15 004, 1300–Ш4. За 3,5 тыс. лет в интервале 5,8–1,3 тыс. л. н. средняя скорость искривления излучины была примерно

постоянна и составляла 6 см/год. В последние 1,3 тыс. лет роста излучины не происходило, не происходит его и сейчас, о чем свидетельствует отсутствие следов подмыва противоположного (правого) берега реки в вершине излучины. Возможно, прекращение искривления излучины произошло из-за того, что она достигла предельной крутизны, при которой в половодье происходит отрыв потока от вогнутого берега в вершине. Способствует этому и тот факт, что излучина своей вершиной уперлась в трудно размываемый моренный цоколь надпойменной террасы.

Датировки пойменной фации аллювия (скв. Ш1 в табл.) позволяют оценить скорости накопления пойменного наилка. В интервале 2800–600 л. н. он накапливался со скоростью порядка 0,11 мм/год, а в последние 600 лет – 1,35 мм/год. Причинами столь значительного роста скоростей пойменной аккумуляции были, по-видимому, увеличение мощности (высоты, длительности) половодий и мутности воды, чему способствовали климатические условия малого ледникового периода и хозяйственное освоение территории – сведение лесов и распашка земель.

#### **Выводы:**

– вблизи края максимального распространения поздневалдайского ледникового щита динамика развития долины верховий р. Волги определялась гляциоизостатическими деформациями в приледниковой полосе. Углубление приледникового прогиба по мере приближения края ледника вызывало уменьшение уклонов и направленную аккумуляцию в речной долине в первой половине поздневалдайской эпохи. Компенсационное поднятие в ходе последующей дегляциации вызвали врезание реки и образование лестницы террас;

– глубины приледникового прогиба оказалось недостаточно для формирования прогляциального

озера; сток р. Волги не прекращался и в период последнего ледникового максимума (ПЛМ);

– самая высокая (третья) терраса в долине верховий Волги, формирование которой относилось предыдущими исследователями к началу позднего плейстоцена, формировалась в период ПЛМ около 20 тыс. л. н. Более древний позднеплейстоценовый аллювий находится в погребенном состоянии под отложениями третьей и более низких террас;

– в раннем голоцене (10–11 тыс. л. н.) фиксируется период значительной эоловой активности с раздуванием отложений террас и формированием слоя супесей и алевроитов, покрывающего левый (восточный) придолинный склон;

– послеледниковое врезание закончилось в середине голоцена около 6 тыс. л. н. Его общая величина составила порядка 15 м, средняя скорость – порядка 1 мм/год (т. е. 1 м за 1000 лет);

– начиная с середины голоцена происходит не только стабилизация продольного профиля, но и затухание горизонтальных деформаций, сохранившихся только на крутых излучинах русла. Средняя скорость искривления изученной крутой излучины в среднем голоцене – начале позднего составила 6 см/год, а в последние 1,5 тыс. лет искривление излучины прекратилось. Такую динамику вековых темпов плановых деформаций русла можно считать характерной для верховьев Волги в целом;

– в конце голоцена отмечается значительный рост скорости накопления пойменного наилка от 0,11 мм/год в начале–середине позднего голоцена до 1,35 мм/год в последние 600 лет. Эти изменения можно связывать с антропогенным воздействием на ландшафты истоков Волги – вырубкой лесов и распашкой земель.

**Благодарности.** Основная часть исследования – общая реконструкция истории развития долины верхней Волги, определение хронологии ее основных этапов и возраста террас, оценка скоростей врезания, – выполнена в рамках проекта РФФ № 17-17-01289 (Д.В. Баранов, А.В. Панин, Н.Е. Зарецкая). Дополнительные аспекты, касающиеся роли гляциоизостатического фактора в развитии речных долин, изучались в рамках проекта РФФИ № 15-05-05284 (С.И. Болысов). Первичное рекогносцировочное обследование проведено в рамках темы Госзадания АААА-А16-116032810089-5 кафедры геоморфологии и палеогеографии МГУ (С.И. Антонов, В.Р. Беляев, Е.А. Еременко). Коллектив авторов выражает благодарность сотрудникам, аспирантам и студентам кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова – участникам полевых работ в д. Большой Коше в 2014–2017 гг. и лично Е.О. Мухаметшиной, Н.Т. Ткачу, Н.В. Сычёву, а также Е.В. Селезневой и к.г.н. А.К. Ильясову – за помощь в топографо-геодезической съемке, м.н.с. Е.Д. Шеремецкой за консультации при проведении гранулометрического анализа и С.Н. Лисичкиной – директору Большешошинской СОШ.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

*Ауслендер В.Г.* Стратиграфия: четвертичная система // ГГК СССР. Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Объяснительная записка. Лист О-35), 36–Ленинград. Л.: МинГео СССР, ВСЕГЕИ, ПГО «Севзапгеология», 1989, С. 98–127.

*Былинский Е.Н.* Влияние гляциоизостазии на развитие рельефа Земли в плейстоцене. М.: Изд-во РАН, 1996. 210 с.

*Карандеева М.В.* Геоморфология Ржевско-Старицкого Поволжья Калининской области // Ученые записки МГУ. Вып. 23. География. М.: Изд-во МГУ, 1938. С. 99–111.

*Квасов Д.Д.* Позднечетвертичная история крупных озер и внутренних морей Восточной Европы. Л.: Наука, 1975. 278 с.

*Кямря В.В., Мохов В.В., Семенова Л.П.* Стратиграфия: четвертичная система // ГГК РФ. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Центрально-Европейская. Лист О-35 – Псков, (N-35), О-36 – Санкт-Петербург. Объяснительная записка. С-Пб.: Карт. ф-ка ВСЕГЕИ, 2012. С. 149–194.

*Лаврушин Ю.А.* Аллювий рек Субарктического пояса и перигляциальных областей материковых оледенений // Труды ГИН АН СССР. Вып. 87. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 266 с.

*Обедиентова Г.В.* Основные особенности геоморфологии долины Волги в верховье // Вопросы палеогеографии и геоморфологии бассейнов Волги и Урала. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 5–40.

*Обедиентова Г.В.* Формирование речных систем Русской равнины. М.: Недра, 1975. 174 с.

*Обедиентова Г.В.* Эрозионные циклы и формирование долины Волги. М.: Наука, 1977. 240 с.

*Панин А.В., Баранов Д.В.* Влияние приледниковых гляциоизостатических деформаций на развитие речных долин северо-запада Русской равнины // Геоморфологические ресурсы и геоморфологическая безопасность: от теории к практике: Всероссийская конференция VII Шукинские чтения. Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова, 18–21 мая 2015 г.: материалы конференции. М.: МАКС Пресс, 2015. С. 484–487.

*Синюгина Е.Я.* Геоморфология Ловатско-Валдайского участка Калининской области // Ученые записки МГУ. Вып. 23. География. М.: Изд-во МГУ, 1938. С. 16–54.

*Шукин И.С.* Четырехязычный энциклопедический словарь терминов по физической географии. М.: Советская энциклопедия, 1980. 703 с.

*Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M.* Glaciomorphological map of the Russian Federation // Quaternary International. 420. 2016. P. 4–14.

*Bronk Ramsey C.* Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 51 (1). 2009. P. 337–360.

*Busschers F.S., Kasse C., van Balen R.T., Vandenberghe J., Cohen K.M., Weerts H.J.T., Wallinga J., Johns C., Cleveringa P., Bunnik F.P.M.* Late Pleistocene evolution of the Rhine-Meuse system in the southern North Sea basin: imprints of climate change, sea-level oscillation and glacio-isostasy // Quaternary Science Reviews. 26. 2007. P. 3216–3248.

*Cohen K.M., Gibbard P.L., Weerts H.J.T.* North Sea palaeogeographical reconstructions for the last 1 Ma // Netherlands Journal of Geosciences. 93-1/2. 2014. P. 7–29. doi: 10.1017/njg.2014.12.

*Mörner N.-A.* The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence // GeoJournal. 3 (3). 1979. P. 287–318.

*Mörner N.-A.* Eustasy, paleoglaciation and paleoclimatology // Geol. Rundschau. 70. 1981. P. 691–702.

*Peltier W.R.* Mechanisms of Relative Sea-Level Change and the Geophysical Responses to Ice-Water Loading // Sea Surface Studies. R. Devoy (ed.). Springer Science and Business Media, 1987. P. 57–94.

*Peltier W.R.* Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth: the ICE-5G (VM2) model and GRACE // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 32. 2004. P. 111–149.

*Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards L.R., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen H.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J.* IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50 000 years cal BP // Radiocarbon. 55(4). 2013. P. 1869–1887.

Поступила в редакцию 19.02.2018

После доработки 01.02.2019

Принята к публикации 28.06.2019

**D.V. Baranov<sup>1</sup>, A.V. Panin<sup>2</sup>, S.I. Antonov<sup>3</sup>, V.R. Belyaev<sup>4</sup>,  
S.I. Bolysov<sup>5</sup>, E.A. Eremenko<sup>6</sup>, N.E. Zaretskaya<sup>7</sup>**

#### **INFLUENCE OF GLACIAL ISOSTATIC ADJUSTMENT ON THE UPPERVOLGA RIVER VALLEY DEVELOPMENT**

The 100-km long upper reach of the Volga River between the Selizharovo and Zubtsov towns is oriented opposite the Late Valdai ice sheet which covered the Volga River sources, i.e. the area of the Verkhnevolzhskiy Lakes, during the Last Glacial Maximum (LGM), about twenty thousand years ago. Due to the Glacial Isostatic Adjustment (GIA), crustal subsidence occurred in the proglacial area and further from the ice sheet a compensational rise was formed towards which the Volga River valley was directed. The study is aimed at the investigation of the influence of GIA-induced changes in gradients during MIS 2 and the Holocene on the evolution of the Volga River valley.

At the key site near the Bolshaya Kosha village (Selizharovo district, the Tver Oblast) it was found that prior the LGM the alluvial aggradation in the valley was most probably associated with the decrease of valley gradient because of the GIA-induced formation of a crustal proglacial flexure. However, the total depth of subsidence was not enough to completely stop the Volga River flow and promote the formation of a proglacial lake. During the LGM the highest (third) and widest river terrace was formed by both river and glacial melt waters.

After the LGM the river incision resulted in the formation of a terrace staircase. The incision was caused by the increase of valley gradient due to the glacio-isostatic uplift of the proglacial area in the process of deglaciation. The incision was over in the Mid-Holocene (about 6 kyr BP). The total depth of incision was 15 m and the average incision rate was about 1 mm/year.

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, post-graduate student; Institute of Geography of the RAS, Department of Quaternary research, Environmental paleoarchives laboratory, research intern; e-mail: dm\_baranov@igras.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Professor; Institute of Geography of the RAS, Department of Quaternary research, Laboratory of Evolutionary Geography, Head of the Laboratory, D.Sc. in Geography; e-mail: a.v.panin@igras.ru

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: ser11131134@yandex.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Senior Scientific Researcher; Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: vladimir.belyaev@gmail.com

<sup>5</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sibol1954@bk.ru

<sup>6</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: eremenkoeaig@gmail.com

<sup>7</sup> Institute of Geography of the RAS, Department of Quaternary research, Environmental paleoarchives laboratory, Leading Scientific Researcher, PhD. in Geology and Mineralogy; e-mail: zaretsk@igras.ru

*Key words:* glacial isostasy, proglacial lake, river incision, terrace staircase, radiocarbon dating, OSL dating, the Upper Volga River region

**Acknowledgements.** Major part of the study – general reconstruction of the history of evolution of the Upper Volga River valley, studying the chronology of its major stages and the age of terrace formation, and evaluation of incision rates – was performed by D.V. Baranov, A.V. Panin and N.E. Zaretskaya and financially supported by the Russian Science Foundation (project № 17-17-01289). Investigation of the role of glacioisostatic factor in the development of river valleys was performed by S.I. Bolysov and financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 15-05-05284). Reconnaissance survey was carried out by S.I. Antonov, V.R. Belyaev and E.A. Eremenko under the state task AAAA-A16-116032810089-5 of the MSU Department of Geomorphology and Paleogeography.

The authors are grateful to the staff, postgraduate students and students of the Department of Geomorphology and Paleogeography of the MSU Faculty of Geography, and personally to E.O. Mukhametshina, N.T. Tkach and N.V. Sychev, for their participation in 2014–2017 field studies in the Bolshaya Kosha village. The authors would like to thank E.V. Selezneva and A.K. Ilyasov, PhD. in Geography, for their assistance in topographic-geodetic survey, E.D. Sheremetskaya, Junior Scientific Researcher, for consultations in the process of granulometric analysis and S.N. Lisichkina, Head of school of the Bolshaya Kosha secondary school.

## REFERENCES

- Astakhov V., Shkatova V., Zastrozhnov A., Chuyko M.* Glaciomorphological Map of the Russian Federation // Quaternary International. 420. 2016. P. 4–14.
- Auslender V.G.* Stratigrafija: chetvertichnaja sistema [Stratigraphy: Quaternary system] // State geological map of the USSR. Scale 1:1 000 000 (novaja serija). Objasnitel'naja zapiska. List O-(35), 36 – Leningrad. L.: MinGeo USSR, VSEGEI, PGO «Sevzapgeologija», 1989. P. 98–127. (in Russian)
- Bronk Ramsey C.* Bayesian analysis of radiocarbon dates // Radiocarbon. 51 (1), 2009. P. 337–360.
- Busschers F.S., Kasse C., van Balen R.T., Vandenberghe J., Cohen K.M., Weerts H.J.T., Wallinga J., Johns C., Cleveringa P., Bunnik F.P.M.* Late Pleistocene evolution of the Rhine-Meuse system in the southern North Sea basin: imprints of climate change, sea-level oscillation and glacio-isostasy // Quaternary Science Reviews. 26. 2007. P. 3216–3248.
- Bylinskij E.N.* Vlijanie gljacioizostazii na razvitie rel'efa Zemli v plejstocene [Influence of glacial isostasy on the Earth relief evolution during the Pleistocene]. M.: Izd-vo RAN, 1996. 210 p. (in Russian)
- Cohen K.M., Gibbard P.L., Weerts H.J.T.* North Sea palaeogeographical reconstructions for the last 1 Ma // Netherlands Journal of Geosciences. 93-1/2. 2014. P. 7–29. doi:10.1017/njg.2014.12.
- Karandeeva M.V.* Geomorfologija Rzhvevsko-Staritskogo Povolzh'ja Kalininskoy oblasti [Geomorphology of Rjev – Staritca part of the Volga River region in the Kalinin Oblast] // Uchjonye zapiski MGU. № 23. Geography. M.: Izd-vo MSU, 1938. P. 99–111. (in Russian)
- Kvasov D.D.* Pozdnechetvertichnaja istorija krupnyh ozjor i vnutrennih morej Vostochnoj Evropy [Late Quaternary history of large lakes and inland seas in the Eastern Europe]. L.: Nauka, Leningr. otd., 1975. 278 p. (in Russian)
- Kjamjarja V.V., Mohov V.V., Semenova L.R.* Stratigrafija: chetvertichnaja sistema [Stratigraphy, Quaternary system] // State geological map of RF. Scale 1: 1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Central'no-Evropejskaja. List O-35 – Pskov, (N-35), O-36 – Sankt-Peterburg. Objasnitel'naja zapiska. S-Pb.: Kart. f-ka VSEGEI, 2012. P. 149–194. (in Russian)
- Lavrushin Yu.A.* Allyuvij rek Subarkticheskogo poyasa i priljatsial'nykh oblastej materikovykh oledenjenij [Alluvium of the rivers of the Subarctic belt and periglacial regions of continental glaciations] // Trudy GIN AN USSR. № 87. M.: Izd-vo AN USSR, 1963. 266 p. (in Russian)
- Mörner N.-A.* The Fennoscandian Uplift and Late Cenozoic Geodynamics: Geological Evidence // GeoJournal. 3(3). 1979. P. 287–318.
- Mörner N.-A.* Eustasy, paleoglaciation and palaeoclimatology. Geol. Rundschau. 70. 1981. P. 691–702.
- Obedientova G.V.* Osnovnye osobennosti geomorfologii doliny Volgi v verhov'e [Main geomorphologic features of the Upper Volga River valley] // Voprosy paleogeografii i geomorfologii bassejnov Volgi i Urala. M.: Izd-vo AN USSR, 1962. P. 5–40. (in Russian)
- Obedientova G.V.* Formirovanie rechnyh sistem Russkoj ravniny [Formation of fluvial systems within the Russian plain]. M.: Nedra, 1975. 174 p. (in Russian)
- Obedientova G.V.* Eroziionnye cikly i formirovanie doliny Volgi [Erosion cycles and the Volga River valley formation]. M.: Nauka, 1977. 240 p. (in Russian)
- Panin A.V., Baranov D.V.* Vliyanie prilednikovykh glyatsioizostaticeskikh deformatsij na razvitie rechnyh dolin severo-zapada Russkoj ravniny [The influence of glacial isostatic adjustment on river valley development in the north-west of the Russian Plain] // Geomorfologicheskie resursy i geomorfologicheskaya bezopasnost': ot teorii k praktike: Vserossijskaja konferentsiya VII Shchukinskie chteniya. Moskva, MGU imeni M.V. Lomonosova, 18–21 maya 2015 g.: Materialy konferentsii. M.: MAKS Press, 2015. P. 484–487. (in Russian)
- Peltier W.R.* Mechanisms of Relative Sea-Level Change and the Geophysical Responses to Ice-Water Loading // Sea Surface Studies. R. Devoy (ed.). Springer Science and Business Media, 1987. P. 57–94.
- Peltier W.R.* Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth: the ICE-5G (VM2) model and GRACE // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 32. 2004. P. 111–149.
- Reimer P.J., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk Ramsey C., Buck C.E., Cheng H., Edwards L.R., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Haflidason H., Hajdas I., Hatté C., Heaton T.J., Hoffmann D.L., Hogg A.G., Hughen H.A., Kaiser K.F., Kromer B., Manning S.W., Niu M., Reimer R.W., Richards D.A., Scott E.M., Southon J.R., Staff R.A., Turney C.S.M., van der Plicht J.* IntCal13 and Marine13 radiocarbon age calibration curves 0–50 000 years cal BP // Radiocarbon. 55(4). 2013. P. 1869–1887.
- Sinjugina E.Ja.* Geomorfologija Lovatsko-Valdajskogo uchastka Kalininskoy oblasti [Geomorphology of Lovat' – Valdai area of the Kalinin Oblast] // Uchjonye zapiski MGU. № 23. Geography. M.: Izd-vo MSU, 1938. P. 16–54. (in Russian)
- Shhukin I.S.* Chetyrjohjazychnyj jenciklopedicheskij slovar' terminov po fizicheskoy geografii [Four-language encyclopedic dictionary of physical geography terms]. M.: Sovetskaja Enciklopedija, 1980. 703 p. (in Russian)

Received 19.02.2018  
Revised 01.02.2019  
Accepted 28.06.2019

УДК 582.26/.27:574.9(262.5)

Т.В. Панкеева<sup>1</sup>, Н.В. Миронова<sup>2</sup>

## ЗАПАСЫ МАКРОФИТОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СОСТОЯНИЯ ПОДВОДНЫХ ЛАНДШАФТОВ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Предложены критерии (в балльной системе), рассчитанные на основе анализа распределения количественных показателей запаса фитомассы макрофитобентоса и ключевых черноморских видов макрофитов в прибрежной зоне Крыма, для обоснования оценки состояния подводных ландшафтов (донных природных комплексов). Разработанные критерии апробированы на примере бухты Ласпи, где имеется ряд многолетних наблюдений (1983–2016 гг.) за изменением донной растительности с учетом ее ландшафтной структуры дна. В бухте оценен запас фитомассы макрофитов и их доминирующих видов (*Cystoseira* spp., *Phyllophora crispa*, *Zostera* spp.) для верхней и нижней границ контуров различных ДПК. Наиболее устойчивым в акватории бухты является ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры, у которого в границах ландшафтного контура за более чем 30-летний период отмечены наименьшие изменения интегральной оценки. В то же время ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки, где преобладает филлофора курчавая, и ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной алеврито-псаммитовыми отложениями, с доминированием видов zostеры оказались более подверженными к трансформации (минимальные интегральные оценки), что нашло отражение в изменении глубины их распространения, деградации растительной компоненты и резком снижении вклада видов эдификаторов.

*Ключевые слова:* бухта Ласпи, донная растительность, запас фитомассы, макрофиты, донные природные комплексы

**Введение.** В условиях увеличения антропогенной нагрузки на морские акватории исследования подводных ландшафтов приобретают важное значение для разработки стратегии комплексного управления прибрежной зоной. В связи с этим широко обсуждается и является актуальной проблема поиска репрезентативных критериев и показателей, которые могли бы быть использованы для оценки состояния подводных ландшафтов.

Донная растительность, как один из важнейших компонентов подводных ландшафтов, считается индикатором своеобразия морфологических комплексов горизонтального расчленения ландшафтной структуры, является основным продукционным звеном черноморского шельфа, играет ведущую роль в стабилизации и саморегулировании прибрежных экосистем [Петров, 1989]. Известно, что макрофитобентос реагирует на изменения окружающей среды, что позволяет использовать его количественные показатели в качестве критериев при изучении состояния подводных ландшафтов [Панкеева с соавт., 2017]. Для Черного моря виды цистозеры (*Cystoseira crinita* (Desf.) Bory, *C. barbata* C. Ag.) и филлофора (*Phyllophora crispa* (Huds.) P.S. Dixon) считаются ключевыми и доминирующими видами водорослей, входят в состав списков Красной книги (КК) Крыма. Кроме этого, филлофора внесена в КК РФ. Зостера (*Zostera marina* L.) – единственный вид черноморских макрофитов, который охраняется по Бернской конвенции, при этом сообщества морских

трав отнесены ЮНЕП к критическим местообитаниям Мирового океана [Мильчакова с соавт., 2011]. Исходя из этого, величина запасов фитомассы этих видов, помимо запаса фитомассы макрофитобентоса, также могут быть использованы в качестве критериев оценки состояния подводных ландшафтов.

Цель статьи – на основе количественных значений запасов фитомассы макрофитобентоса и доминирующих черноморских видов макрофитов предложить критерии, которые могут быть применены для оценки состояния подводных ландшафтов.

**Материалы и методы исследований.** В качестве модельного полигона выбрана бухта Ласпи, где имеется ряд многолетних наблюдений. Бухта расположена в юго-западной части Крымского п-ова между мысами Айя и Сарыч, протяженность береговой линии составляет около 4 км (рис. 1). Бухта относится к открытому типу, что способствует динамической активности и аэрации вод. Донная растительность представлена как фитоценозами морских трав, так и водорослей.

Для изучения ландшафтной структуры дна и макрофитобентоса использованы материалы четырех береговых экспедиций, проведенных авторами в бухте Ласпи в летний период в 1983, 1998, 2008 и 2016 гг. В бухте закладывали по четыре трансекты, которые располагались перпендикулярно к берегу и охватывали все типы подводных ландшафтов (см. рис. 1). Ландшафтную структуру дна изучали на основе общих положений программы подводных

<sup>1</sup> Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (г. Севастополь), отдел биотехнологий и фиторесурсов; филиал МГУ в г. Севастополе, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: tatyapankeeva@yandex.ru

<sup>2</sup> Институт морских биологических исследований им. А.О. Ковалевского РАН (г. Севастополь), отдел биотехнологий и фиторесурсов, ст. науч. с., канд. биол. н.; e-mail: dr.nataliya.mironova@yandex.ru

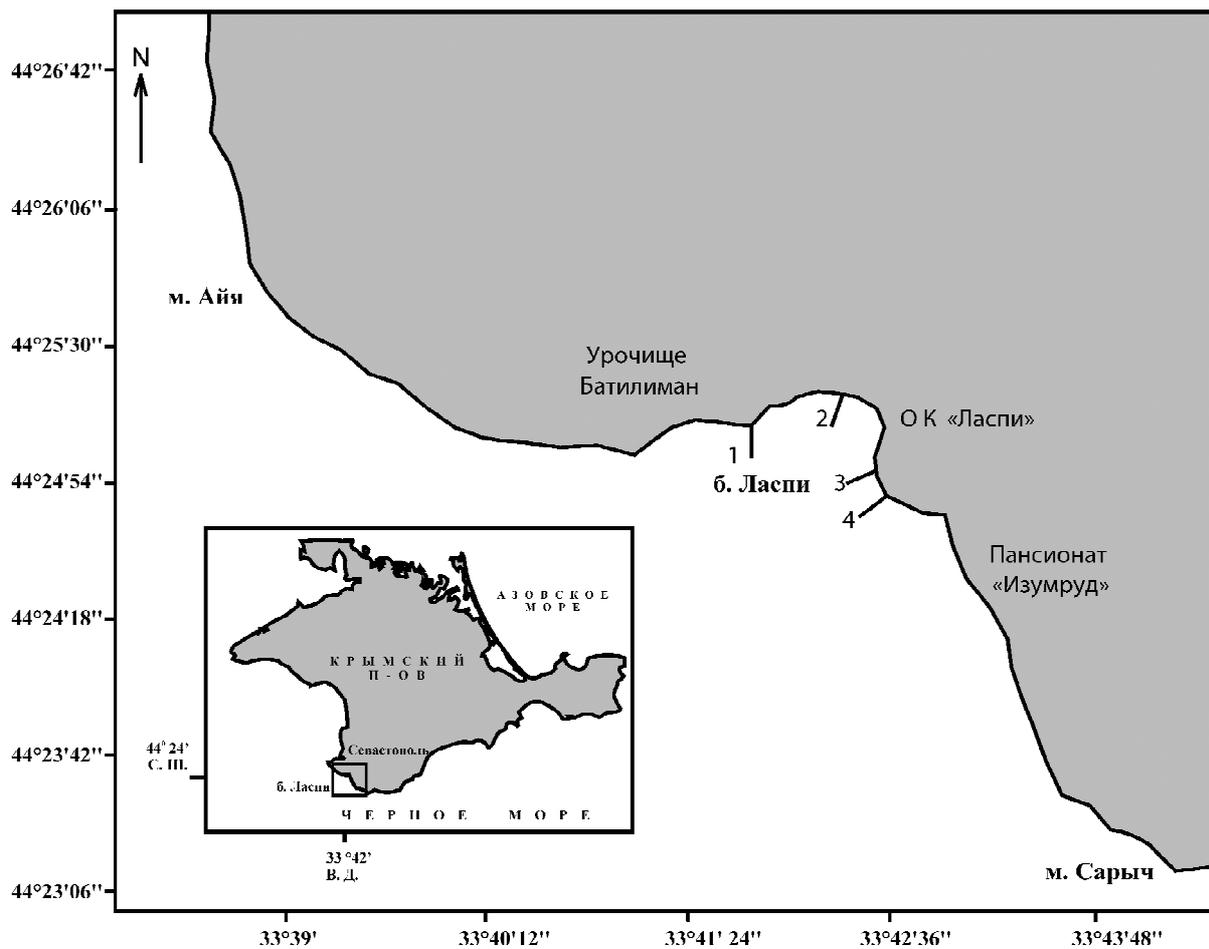


Рис. 1 Карта-схема района работ: 1–4 номера трансект

Fig. 1. Schematic map of the study area: 1–4 numbers of transects

ландшафтных исследований с использованием легководолазной техники. Информацию о донных компонентах, полученную в ходе водолазного описания, оформляли графически в виде ландшафтных профилей. На ландшафтных профилях выделяли границы донных природных комплексов (ДПК), которые представляют собой однородные участки дна, характеризующиеся единством взаимосвязанных компонентов: литогенной основы (донных осадков в пределах активного слоя или поверхности коренной породы) и населяющих их морских организмов [Папунов, 2012]. Географическую привязку границ ДПК и определение их площади осуществляли с помощью программы MapInfo. Сопряженный анализ батиграфии, карт литологического состава и данных водолазных съемок позволили провести экстраполяцию участков дна со сходными параметрами для выделения границ ДПК. Термин ДПК используется как понятийная категория, а не таксономическая. В дальнейшем контуры ДПК выступали территориальными единицами, которые подлежали балльной оценке [Петров, 1989; Панкеева с соавт., 2014]. Отбор проб макрофитов осуществляли по одной и той же стандартной гидробиотической методике [Калугина-Гутник, 1975].

В основе обоснования критериев и их оценочных шкал лежат материалы многолетних береговых экспедиций, проведенных авторами в прибрежной зоне Крыма в летний период 2003–2016 гг. [Мильчакова с соавт., 2011]. В результате обобщения этих материалов проанализировано распределение донной растительности у крымских берегов от мыса Киик-Атлама (восточный мыс Коктебельского залива) до северного мыса бухты Черноморской (пов. Тарханкут). Выявлено, что в типичных цистозировых фитоценозах (глубина 0,5–3 м) запас фитомассы макрофитов варьирует от 9,1 до 78,8 т·га<sup>-1</sup>, а запас фитомассы видов цистозирры – от 6,5 до 74,4 т·га<sup>-1</sup>. В филлофоровых фитоценозах (глубина 5–10 м) запас фитомассы филлофоры колеблется от 0,001 до 6,5 т·га<sup>-1</sup>. Виды zostеры встречаются локально в бухтах с илисто-песчаными донными осадками, запас их фитомассы изменяется от 0,01 до 2,5 т·га<sup>-1</sup>.

Таким образом, составлены оценочные шкалы, где в качестве критериев выбраны и ранжированы в 5-балльной системе следующие показатели:

- запас фитомассы макрофитов, т·га<sup>-1</sup>: более 65–5 баллов; от 64 до 50–4; от 49 до 35–3; от 34 до 20–2; от 19 до 5–1; менее 4–0 баллов;

- запас фитомассы видов *Cystoseira*, т·га<sup>-1</sup>: более 60–5 баллов; от 59 до 45–4; от 44 до 30–3; от 29 до 15–2; от 14 до 1–1; менее 1–0 баллов;

- запас фитомассы *Phyllophora crispa*, т·га<sup>-1</sup>: свыше 6,0–5 баллов; от 5,9 до 4,5–4; от 4,4 до 3,0–3; от 2,9 до 1,5–2; от 1,4 до 0,1–1; менее 0,1–0 баллов;

- запас фитомассы видов *Zostera*, т·га<sup>-1</sup>: свыше 2,0–5 баллов; от 1,9 до 1,5–4; от 1,4 до 1,0–3; от 0,9 до 0,5–2; от 0,4 до 0,1–1; менее 0,1–0 баллов.

Для каждого ДПК, используя стандартную методику, произведен расчет запасов фитомассы макрофитобентоса и доминирующих видов (цистозира, филлофора и zostера) на верхней и нижней границе, поскольку величина этих показателей наиболее существенно отличается на границах контура ДПК и зависит от совокупности абиотических и биотических факторов [Блинова с соавт., 2005].

Согласно разработанным оценочным шкалам вышеперечисленных критериев, каждому контуру ДПК присвоена балльная оценка для его верхней и нижней границы на основе количественных показателей запаса фитомассы макрофитов. Интегральная оценка состояния ДПК равна сумме среднеарифметических значений балльных оценок критериев.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для ландшафтной структуры б. Ласпи, как показали исследования за период 1983–2016 гг., характерны

четыре ДПК с участием ключевых видов макрофитов (цистозира, филлофора и zostера), которые регистрировались в течение длительного периода наблюдений:

1. ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозиры, выделяли вдоль побережья в течение всего изучаемого периода (рис. 2). Однако глубина его распространения и площадь существенно варьировали по годам (табл.). В 1983 г. величина запаса фитомассы макрофитов на границах ДПК отличалась более чем вдвое; у видов цистозиры этот показатель снижался более чем в 7 раз при увеличении глубины от 0,5 до 10 м. В этом же диапазоне глубин запас фитомассы филлофоры возрастал на три порядка. В 1998 г. ДПК зарегистрирован в том же интервале глубин (см. табл.). Запас фитомассы макрофитов снижался почти в 4 раза, а видов цистозиры – в 15 раз в направлении от верхней к нижней границе ДПК, тогда как данный показатель филлофоры возрос всего в 26 раз. За 15-летний период на верхней границе ДПК запас фитомассы макрофитов, цистозиры и филлофоры несколько увеличился, а на нижней – эти показатели уменьшились в 1,6; 1,5 и 3 раза, соответственно. В 2008 г. зафиксированы минимальные значения запаса фитомассы макрофитов и доминирую-

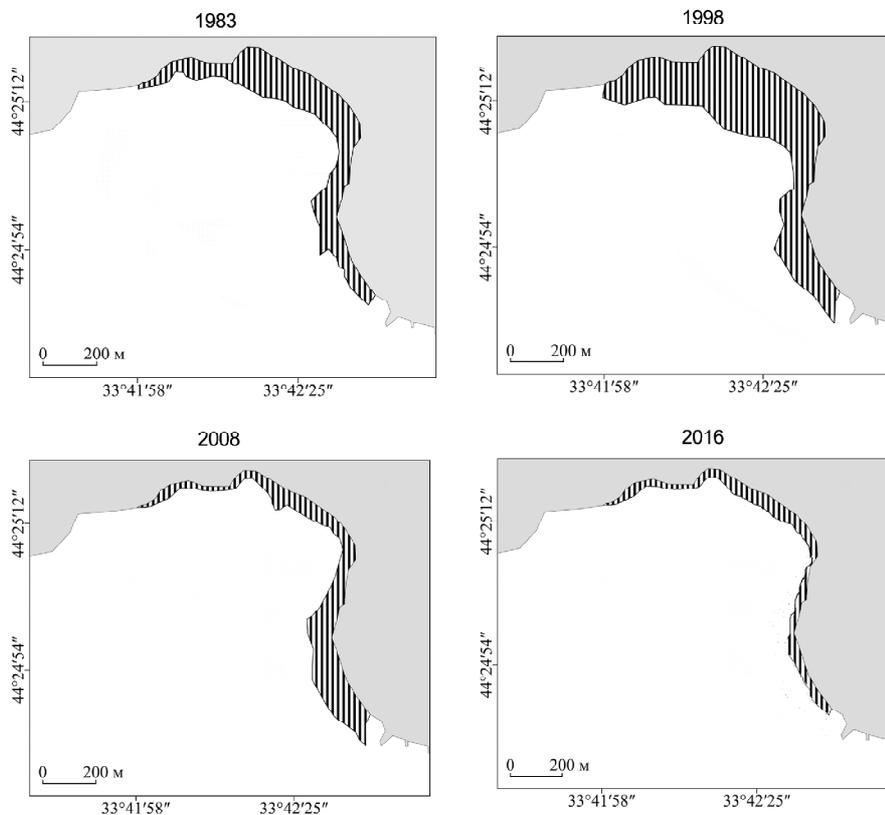


Рис. 2. Пространственно-временные изменения ДПК на подводном береговом абразионном склоне, сложенном псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозиры

Fig. 2. Spatiotemporal changes of BNC of an abrasion upper shoreface slope built of psephitic (rudaceous) sediments with dominance of the *Cystoseira* species

**Изменение запаса фитомассы макрофитов, доминирующих видов водорослей и балльной оценки на верхней и нижней границе ДПК по годам**

ДПК	Год	Глубина, м	Площадь, га	Запас фитомассы, т·га <sup>-1</sup>									Сумма баллов
				макрофитов			видов цистозир			филлофоры			
				границы ДПК		Средний балл	границы ДПК		Средний балл	границы ДПК		Средний балл	
				верхняя	нижняя		верхняя	нижняя		верхняя	нижняя		
1	1983	0,5–10	28,6	<u>52.7</u> 4	<u>24.3</u> 2	3	<u>42.4</u> 3	<u>5.8</u> 1	2	<u>0.03</u> 0	<u>13.4</u> 5	2,5	7,5
	1998	0,5–10	35,5	<u>58.9</u> 4	<u>15.0</u> 1	2,5	<u>55.4</u> 4	<u>3.8</u> 1	2,5	<u>0.2</u> 1	<u>5.2</u> 2	1,5	6,5
	2008	0,5–15	23,5	<u>30.8</u> 2	<u>5.0</u> 1	1,5	<u>22.8</u> 2	<u>1.0</u> 1	1,5	<u>0.01</u> 0	<u>0.4</u> 1	0,5	3,5
	2016	0,5–5	16,1	<u>59.9</u> 4	<u>19.6</u> 2	3	<u>53.3</u> 4	<u>15.0</u> 2	3	<u>0.02</u> 0	<u>0.5</u> 1	0,5	6,5
2	1983	10–15	2,3	<u>33.8</u> 2	<u>28.8</u> 2	2	<u>7.5</u> 1	<u>2.7</u> 1	1	<u>14.2</u> 5	<u>20.9</u> 5	5	8
	2008	10–15 (20)	15,8	<u>2.9</u> 0	<u>1.4</u> 0	0	<u>2.5</u> 1	<u>0.7</u> 0	0,5	<u>0.2</u> 1	<u>0.5</u> 1	1	1,5
	2016	5–10	10,0	<u>20.8</u> 2	<u>13.2</u> 1	1,5	<u>13.2</u> 1	<u>7.2</u> 1	1	<u>1.4</u> 1	<u>1.7</u> 2	1,5	4
3	1983	10–20 (25)	34,1	<u>13.9</u> 1	<u>44.4</u> 3	2	<u>1.5</u> 1	<u>0.01</u> 0	0,5	<u>6.6</u> 5	<u>36.4</u> 5	5	7,5
	1998	10(15)–20	7,3	<u>10.0</u> 1	<u>8.6</u> 1	1	<u>0.14</u> 0	<u>0.01</u> 0	0	<u>7.5</u> 5	<u>1.7</u> 2	3,5	4,5

*Примечание:* в числителе – запас фитомассы макрофитов, видов цистозир и филлофоры на верхней и нижней границе ДПК, в знаменателе – балльная оценка. 1 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозир; 2 – подводный береговой абразионный склон, сложенный псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозир и с чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушкой, где преобладает филлофора курчавая; 3 – слабонаклоненная аккумулятивная равнина, сложенная псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки и преобладанием филлофоры курчавой.

ших видов водорослей. В 2016 г. ширина контура ДПК существенно сузилась, соответственно, площадь сократилась более чем вдвое по сравнению с данными за 1998 г. Однако величина запаса фитомассы макрофитов как на верхней, так и нижней границе ДПК оказалась соизмеримой с таковыми показателями 18-летней давности (см. табл.). В то же время запас фитомассы цистозир был почти в 4 раза выше, а филлофоры – на порядок ниже из-за уменьшения глубины регистрации нижней границы ДПК. Перевод полученных результатов в интегральную оценку показал, что общее количество баллов для ДПК было максимальным в 1983 г., тогда как в 1998 и 2016 гг. величины были одинаковыми. Минимальная сумма баллов зарегистрирована в 2008 г.

2. ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозир и с чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушкой, где преобладает филлофора курчавая, описан в течение всего периода наблюдений, за исключением 1998 г., когда он не был обнаружен (рис. 3). Глубина

распространения и площадь этого ДПК существенно колебались по данным многолетней серии наблюдений (см. табл.). В 1983 г. его площадь была наименьшей, при этом в границах ландшафтного контура запас фитомассы макрофитов с увеличением глубины изменялся незначительно, тогда как запас фитомассы цистозир снижался примерно втрое, а филлофоры – возрастал в 1,5 раза. В 2008 г. площадь ДПК увеличилась в 7 раз, хотя запас фитомассы макрофитов, цистозир и филлофоры в направлении от его верхней к нижней границе снизился в 12–21, 3–4 и 71–42 раза, соответственно, по сравнению с таковыми показателями за 1983 г. В 2016 г. эти величины существенно возросли по сравнению с данными за 2008 г. Однако, по сравнению с этими же показателями в 1983 г., запас фитомассы макрофитов и филлофоры сократился в 1,5–2 и 10–12 раз, соответственно, а запас фитомассы цистозир увеличился в 2–3 раза, что связано с уменьшением глубины регистрации ДПК (см. табл.). Таким образом, за 33-летний период интегральная оценка снизилась вдвое, при этом минимальной она была в 2008 г.

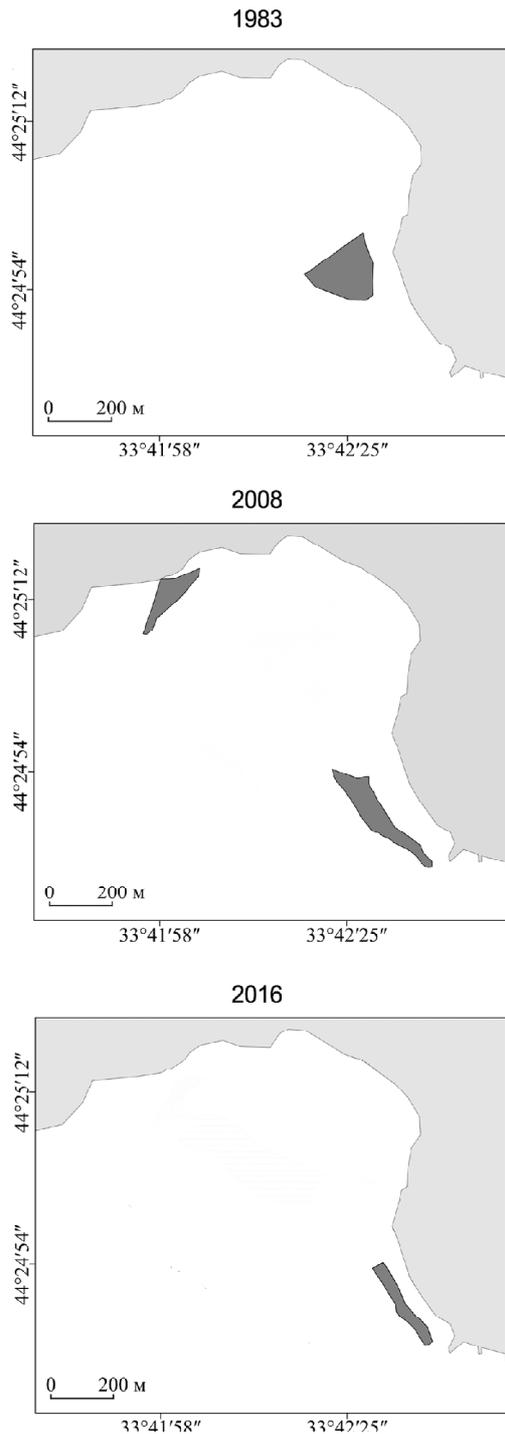


Рис. 3. Пространственно-временные изменения ДПК на подводном береговом абразионном склоне, сложенном псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры и с чередованием галечно-гравийных отложений с битой ракушей, где преобладает филлофора курчавая

Fig. 3. Spatiotemporal changes of BNC of an abrasion upper shoreface slope built of psephitic (rudaceous) sediments with dominance of the *Cystoseira* species and the complex of pebble-gravel deposits and broken shell with dominance of *Phyllophora crispata*

3. ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракуши и преобладанием филлофоры курчавой, был зарегистрирован только в 1983–1998 гг. (рис. 4), за этот период его площадь уменьшилась примерно в 5 раз (табл.). В 1983 г. ДПК протянулся вдоль всей бухты на глубине от 10 (15) до 20 (25) м, тогда как в 1998 г. он встречался фрагментарно на отдельных участках на этих же глубинах. В 1983 г. запас фитомассы макрофитов и филлофоры при увеличении глубины в изучаемом диапазоне возрастал более чем в 3 и 5 раз, соответственно, а в 1998 г. варьирование величины первого показателя было незначительно, а второго – снижалось более чем вчетверо (см. табл.). За 15-летний период запас фитомассы макрофитов и филлофоры на нижней границе ДПК сократился более чем в 5 и 21 раз соответственно. В 2008–2016 гг. этот ДПК не был обнаружен. Таким образом, интегральная оценка уменьшилась примерно вдвое, а в последующие годы составила 0 баллов.

4. ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной алеврито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием видов зостеры значительно изменял границы контура и глубину простираения (рис. 5). В 1983 г. ДПК занимал центральную часть бухты на глубине от 5 до 10 м, площадью 17,1 га. Запас фитомассы зостеры колебался в пределах 2,9–3,6 т·га<sup>-1</sup>. Через 15 лет ДПК был распространен в центральной и северо-западной части бухты на глубине 10–15 м. Его площадь незначительно увеличилась, а запас фитомассы зостеры снизился в 4–5 раз (0,6–0,9 т·га<sup>-1</sup>). В 2008 г. ДПК не обнаружили. В 2016 г. ДПК описан на тех же участках бухты и на той же глубине, что и в 1998 г., хотя за 18 лет его площадь уменьшилась в 1,5 раза. В 2016 г. запас фитомассы видов зостеры варьировал от 0,9 до 1,9 т·га<sup>-1</sup>. Таким образом, интегральная оценка снижалась первоначально с 10 (1983 г.) до 2,5 (1998 г.), затем до 0 баллов (2008 г.). В 2016 г. сумма баллов не превышала 4.

Как показали результаты наблюдений, за более чем 30-летний период (1983–2016 гг.) в бухте отмечены изменения не только в конфигурации границ и глубины распространения контуров ДПК, но также выявлена существенная структурная перестройка растительной компоненты подводного ландшафта.

К антропогенным факторам, вызывающим трансформацию донной растительности, большинство исследователей относят эвтрофикацию и снижение прозрачности воды [Максимова, Лучина, 2002; Болтачев, Мильчакова, 2004; Мильчакова с соавт., 2011]. Ряд авторов, помимо вышеперечисленных факторов, добавляют изменение климата, приводящее к изменениям температуры воды и режима ее циркуляции, усилению волновой активности и колебаний уровня моря [Горячкин, Иванов, 2008].

В начале 80-х гг. прошлого века хозяйственная деятельность в береговой зоне бухты Ласпи была представлена несколькими объектами рекреационной инфраструктуры. В это время воды бухты были

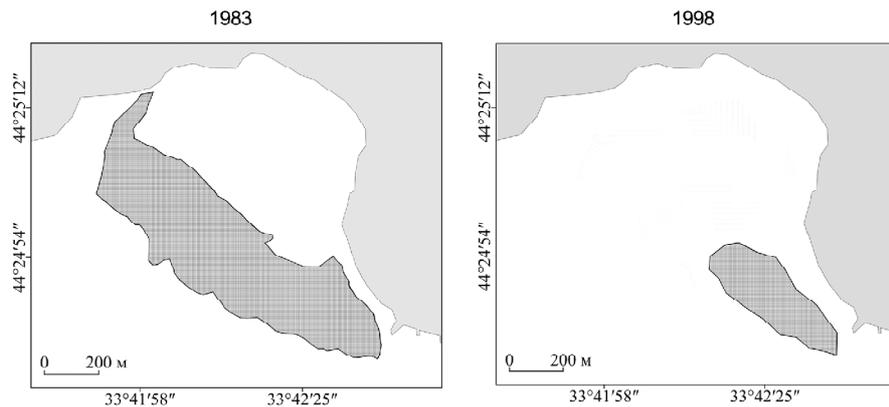


Рис. 4. Пространственно-временные изменения ДПК на слабонаклонной аккумулятивной равнине, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки и преобладанием филлофоры курчавой

Fig. 4. Spatiotemporal changes of BNC of a gently sloping accumulation plain built of psammitic deposits with broken shell inclusions and the dominance of *Phyllophora crispata*

хорошо аэрированы от поверхности до дна, фиксировалась высокая степень их обновления с водами открытого моря, а незначительные суточные колебания кислорода отражали сбалансированность продукционно-деструкционных процессов [Ациховская, Чекменева, 2002].

Гидробиологические исследования, проведенные в 1983 г., позволяли рассматривать бухту Ласпи как эталон природной экосистемы Черного моря, находящийся в естественном или близком к нему состоянии, где поддерживалось экологическое равновесие береговой зоны, а растительная компонента ДПК отличалась высокой степенью сохранности. В это время ДПК, где были зарегистрированы цистозировый, филлофоровый и зостеровый фитоценозы, имели поясное распространение вдоль побережья бухты и характеризовались высокими запасами фитомассы. Для них отмечена высокая доля эдификаторов и низкая – эпифитирующих видов водорослей, так же, как и для ДПК, где описан цистозирово-филлофоровый фитоценоз. Вклад эпифитов в структуру сообществ изменялся от 1 до 19% общих запасов. В этот период для каждого ДПК были характерны максимальные суммы баллов, которые изменялись от 10 до 7,5.

В конце 80-х гг. прошлого столетия в восточной части бухты было построено гидротехническое сооружение, которое частично перекрыло ее вершину. Известно, что строительство гидротехнических и берегозащитных сооружений приводит к перестройке гидродинамических процессов, снижению уровня волновой динамики, затуханию вдольбереговых течений, при этом значительно уменьшается степень их включенности в систему прибрежной циркуляции, вследствие чего происходит перераспределение участков абразии и аккумуляции [Преображенский с соавт., 2000].

К 1998 г. в ДПК, где доминировали виды цистозир, отмечены существенные количественные и качественные изменения в структуре фитоценоза, при этом наиболее выраженные перестройки про-

изошли на нижней границе (рис. 2). Так, за 15-летний период вклад эпифитов в состав сообщества на нижней границе данного ДПК возрос более чем вдвое и достиг 41% общих запасов. ДПК с преобладанием филлофоры сохранился лишь в восточной и юго-восточной части бухты, где резкое снижение количественных показателей фитоценоза сопровождалось усложнением его структуры и существенным повышением доли эпифитов (от 1–2 до 7–19% общих запасов) (рис. 3). ДПК с доминированием зостеры сместился на большую глубину, при этом вклад эпифитирующих видов водорослей в составе фитоценоза увеличился примерно вдвое (от 1–4 до 5–9% общих запасов) (рис. 4). Суммарная величина баллов изучаемых ДПК существенно снизилась и составляла от 6,5 до 2,5, при этом наиболее выраженное уменьшение интегральной оценки выявлено для ДПК слабонаклонной равнины, для которой характерны мягкие грунты.

За период с 1998 по 2008 гг. антропогенная нагрузка на береговую зону бухты значительно возросла. Наибольшее негативное влияние на ее экологическое состояние оказало строительство стационарных объектов рекреационной инфраструктуры. Так, в юго-восточной части бухты, непосредственно у уреза воды, появился новый гостиничный комплекс. При его строительстве выполнены масштабные берегоукрепительные работы, что привело к изменению конфигурации берега и подводного берегового склона. Усиление хозяйственной деятельности вызвало активизацию гравитационных процессов с поступлением дополнительного терригенного материала и увеличение эвтрофирования водной среды. Проведенный в 2007–2009 гг. гидролого-гидрохимический мониторинг бухты Ласпи показал слабое вертикальное перемешивание вод акватории, преобладание нагонной циркуляции и практически отсутствие типичных для района южного берега Крыма летних апвеллингов [Кuftаркова с соавт., 2010].

В 2008 г. в бухте отмечена дальнейшая негативная трансформация растительной компоненты

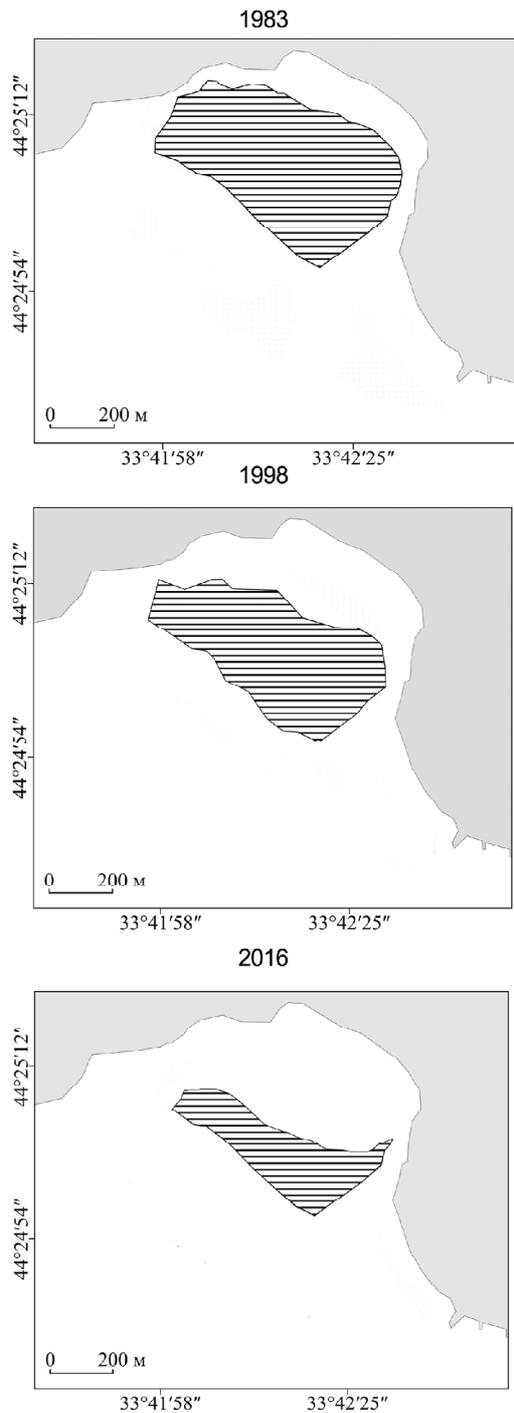


Рис. 5 Пространственно-временные изменения ДПК на слабо-наклонной аккумулятивной равнине, сложенной алеврито-псаммитовыми отложениями, с преобладанием видов *Zostera* species

Fig. 5. Spatiotemporal changes of BNC of a gently sloping accumulation plain built of silty-psammitic (arenaceous) sediments with the dominance of *Zostera* species

ДПК. В ДПК, где представлен цистозировый фитоценоз, доля эпифитов достигла максимума за весь период наблюдений (5–50% общих запасов). Значительное увеличение площади ДПК, где зарегистрирован цистозирово-филофоровый фитоценоз, сопровождалось резким снижением запаса фитомассы доминирующих видов и возрастанием вклада эпи-

фитирующих водорослей до 15–23% общих запасов. За прошедшие 25 лет (1983–2008 гг.) наиболее выраженные отрицательные изменения ландшафтной структуры произошли на илисто-песчаных и песчаных с примесью битой ракушки донных отложениях, где к 2008 г. ДПК с доминированием филофоры и zostеры не были обнаружены. На их месте обильно представлена зеленая водоросль – кладофора, что является откликом экосистемы на деградацию коренных фитоценозов [Болтачев, Мильчакова, 2004]. В этот период для всех ДПК была характерна минимальная сумма баллов, которая изменялась от 3,5 до 0.

Деградации и разрушению прибрежных ДПК, вероятно, способствовал экстремальный шторм, который произошел в ноябре 2007 г., когда на акваторию Черного моря вторгся южный циклон, вызвав резкое усиление ветра до 27–32 м/с, при этом высота волн достигала 4 м [Доценко, Иванов, 2013]. В пользу этого предположения свидетельствует полное уничтожение донной растительности на глубине 0–10 м после сильнейшего шторма, зарегистрированного в районе Карадага в 1992 г. [Костенко с соавт., 2008].

Исследование бухты в 2016 г. показало, что отрицательные изменения ландшафтной структуры продолжались. Нижняя граница ДПК, где преобладали виды цистозеры, поднялась до глубины 5 м. Доля эпифитирующих водорослей в структуре фитоценоза осталась достаточно высокой (4–25% общих запасов). ДПК, где зарегистрирован цистозирово-филофоровый фитоценоз, отличается неоднородностью литологического состава отложений и, соответственно, характеризуется разнообразием и мозаичностью донной растительности. Анализ направленности многолетних изменений макрофитобентоса на этом ДПК выявил дальнейший подъем нижней границы произрастания многих глубоководных видов, а также сужение границ фитали. Для него также характерен высокий вклад эпифитов (23–34% общих запасов). В этом году вновь был зарегистрирован ДПК с доминированием видов zostеры. Заросли морской травы, вероятно, восстановились после разрушительного шторма в 2007 г. Интегральная сумма баллов изученных ДПК возросла по сравнению с таковыми показателями за 2008 г. и изменялась от 6,5 до 4.

Таким образом, на основе анализа полученного материала, выявлено, что ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями, с доминированием видов цистозеры еще выдерживает негативные перестройки, происходящие в акватории бухты, обусловленные изменением гидродинамических и литодинамических процессов, в свою очередь, вызванные увеличением антропогенной нагрузки. Это, вероятно, связано с устойчивостью литогенной основы, которая является субстратом для прочного прикрепления макрофитов. Анализ состава донной растительности фитоценоза сохранилась, хотя в нем произошла существенная трансформация. Так, к 1998 г., по срав-

нению с данными за 1983 г., запас фитомассы видов цистозеры на верхней границе ДПК возрос в 1,3 раза, а доля эпифитов не изменилась (1–4% общих запасов). По-видимому, на глубине 0,5–1 м развитию эпифитной синузии препятствуют гидродинамические условия и быстрый вынос поступающих биогенов, высокая степень освещенности, а также доминирование в популяции цистозеры ювенильных растений, средний возраст которых редко превышает 2–3 года [Мильчакова с соавт., 2011]. В то же время для нижней границы этого ДПК характерна деградация растительной компоненты (см. табл.). Здесь отмечено значительное снижение вклада видов-эдификаторов и увеличение роли эпифитных водорослей. В конце прошлого столетия подобные изменения были описаны для цистозировых фитоценозов открытых побережий Крыма и Кавказа [Максимова, Лучина, 2002; Костенко с соавт., 2008; Мильчакова с соавт., 2011]. Существенное возрастание доли эпифитов, вероятно, является откликом фитоценозов на повышение уровня трофности вод из-за возросшей антропогенной деятельности и объемов хозяйственно-бытовых стоков. Данные водоросли имеют более высокую скорость роста и большую удельную поверхность слоевищ, которая способна поглощать биогены, по сравнению с видами цистозеры и филлофоры [Миничева, 1990]. В целом за период с 1983 по 1998 гг. запас фитомассы макрофитов и их ключевых видов изменился незначительно, поэтому значение интегральной оценки варьирует в небольшом диапазоне 7,5–6,5 баллов.

В 2008 г. в пределах данного ДПК после разрушительного шторма отмечено резкое снижение всех количественных показателей макрофитобентоса, в связи с этим сумма баллов уменьшилась до 3,5. В 2016 г. на верхней границе ДПК запас фитомассы макрофитов и цистозеры достиг показателей, сравнимых с данными за 1998 г. На нижней границе ДПК запас фитомассы видов цистозеры оказался максимальным за весь период наблюдений, что связано со смещением границы контура на меньшую глубину. Таким образом, интегральная балльная оценка ДПК практически вернулась к первоначальным значениям. Это, вероятно, может свидетельствовать о том, что этот ДПК наиболее устойчив к природно-антропогенным изменениям и является основной средообразующей морской геосистемой региона, которая выполняет буферные функции между бережной и прибрежной зонами.

В то же время ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью битой ракушки и преобладанием филлофоры курчавой, а также сложенной алевритопсаммитовыми отложениями с доминированием зостеры, крайне неустойчивы, их характеристики и пространственное распределение макрофитов в значительной степени зависят от значений действующих факторов, из которых основными считаются гидродинамика и степень освещенности. Так, после 1998 г. ДПК с преобладанием краснокнижной *Phyllophora crispa* не был обнаружен, хотя в 1983 г.

для него были характерны высокие показатели запаса фитомассы вида-эдификатора – интегральная оценка при этом достигала 7,5.

ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями с доминированием видов цистозеры и с чередованием галечно-гравийных с битой ракушкой отложений, где преобладает филлофора курчавая, занимает промежуточную зону между ДПК с господством цистозирового и филлофорового фитоценоза. На существование «переходной полосы», где на одной глубине встречаются одновременно несколько фитоценозов, еще в конце прошлого века обращала внимание А.А. Калугина-Гутник [1975]. По данным У.В. Симаковой, этот участок представляет собой экоклин – зону с постепенным изменением состава донной растительности вдоль градиента освещенности [2009]. Показательно, что наряду с уменьшением запаса фитомассы филлофоры на нижней границе фитоценоза отмечено значительное увеличение его на глубине от 0,5 до 5 м (см. табл.). Это свидетельствует об изменении эколого-фитоценотического оптимума вида, сокращении его ареала. Такие изменения были зарегистрированы ранее на многих участках крымского побережья [Мильчакова с соавт., 2011].

Проведенные исследования подводных ландшафтов могут быть использованы для разработки научно-практических основ оптимизации морского природопользования. В дальнейшем мониторинг ДПК позволит получать репрезентативные данные о состоянии черноморских морских экосистем и давать рекомендации по созданию морских охраняемых акваторий, которые будут способствовать сохранению ландшафтного и биологического разнообразия региона. Однако многие из высказанных положений требуют дальнейшей проработки и проведения дополнительных полевых исследований.

#### **Выводы:**

– на основе проведенных исследований и применения интегральной балльной оценки показана возможность многолетнего анализа распределения количественных показателей запаса фитомассы макрофитобентоса и ключевых черноморских видов макрофитов в прибрежной зоне Крыма. Согласно результатам наблюдений, за более чем 30-летний период (1983–2016 гг.) в бухте отмечены изменения не только в конфигурации границ и глубины распространения контуров ДПК, но и выявлена существенная структурная перестройка растительной компоненты подводного ландшафта;

– выявлено, что в количественной и балльной оценках наиболее устойчивым к природно-антропогенным нагрузкам в акватории бухты является ДПК подводного берегового абразионного склона, сложенного псефитовыми отложениями с доминированием видов цистозеры, у которого в границах контура отмечены наименьшие изменения интегральной оценки за период с 1983 по 2016 гг. В то же время ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной псаммитовыми отложениями с примесью

битой ракуши, где преобладает филофора курчавая, и ДПК слабонаклонной аккумулятивной равнины, сложенной алевроито-псаммитовыми отложениями с доминированием видов зоостеры оказались более подвержены трансформации (минимальные интегральные оценки), что нашло отражение в изменении глубины их распространения, деградации растительной компоненты и резком снижении вклада видов-эдификаторов;

– устойчивость ДПК, где преобладают виды цистозеры, определяется устойчивостью литогенной основы дна, которая является субстратом для прикрепления макрофитов. Однако в составе и структу-

ре макрофитобентоса этого ДПК произошли существенные перестройки, которые, по-видимому, являются откликом на изменения условий окружающей среды. Перераспределение запаса фитомассы видов цистозеры в пределах ландшафтного контура, регистрация в его границах филофоры, ранее встречавшейся в более глубоководной зоне, вероятно, связаны со снижением прозрачности воды. Обильное развитие эпифитных видов, произрастающих на талломах цистозеры и обладающих высокой площадью поверхности слоевищ, возможно, является ответной реакцией ДПК на увеличение содержания растворенной органики в прибрежной зоне моря.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ИМБИ (гос. рег. № АААА-А18-118021350003-6). Отбор проб и первичная обработка макрофитобентоса в 2016 г. проведена в рамках госзадания ФГБУН ИМБИ № 1001-2014-0014, в которой помимо авторов, принимали участие сотрудники лаборатории фиторесурсов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ациховская Ж.М., Чекушева Н.И.* Оценка динамической активности вод района бухты Ласпи (Черное море) // Экология моря. 2002. Вып. 59. С. 5–8.
- Блинова Е.И., Пронина О.А., Штрик В.А.* Методические рекомендации по учету запасов промысловых морских водорослей прибрежной зоны // Методы ландшафтных исследований и оценки запасов донных беспозвоночных и водорослей морской прибрежной зоны. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. М.: Изд-во ВНИРО, 2005. Вып. 3. С. 80–127.
- Болтачев А.Р., Мильчакова Н.А.* О причинах и возможных последствиях вспышки обилия зеленой водоросли кладофоры (*Cladophora sericea*) на шельфе юго-западного Крыма весной 2004 г. // Рыб. хоз-во Украины. 2004. № 5. С. 4–7.
- Горячкин Ю.Н., Иванов В.А.* Изменения климата и динамика берегов Украины // Доп. НАН України. 2008. № 10. С. 118–122.
- Доценко С.Ф., Иванов В.А.* Катастрофические природные явления Азово-Черноморского региона // Морской гидрофизический ин-т. Севастополь, 2013. 193 с.
- Калугина-Гутник А.А.* Фитобентос Черного моря. Киев: Наукова думка, 1975. 248 с.
- Костенко Н.С., Дикий Е.А., Заклецкий А.А.* Тенденции многолетних изменений фитоценозов «цистозирового пояса» Карадагского природного заповедника (Крым, Черное море) // Морской экологический журнал. 2008. Т. 7. № 3. С. 25–36.
- Куфтаркова Е.А., Щуров С.В., Родионова Н.Ю.* Результаты гидролого-гидрохимического мониторинга мидийной фермы в прибрежной зоне южного берега Крыма (бухта Ласпи) // Наук. зап. Тернопільського нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. 2010. № 3(44). С. 133–136.
- Максимова О.В., Лучина Н.П.* Современное состояние макрофитобентоса у побережья северного Кавказа: реакция фитали на эвтрофикацию черноморского бассейна // Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря. М.: Изд-во Наука, 2002. С. 297–308.
- Мильчакова Н.А., Миронова Н.В., Рябогина В.Г.* Морские растительные ресурсы // Промысловые биоресурсы Черного и Азовского морей / Под ред. В.Н. Еремеева и др. Севастополь: Экокси-Гидрофизика, 2011. Гл. 4. С. 117–139.
- Мишечева Г.Г.* Прогнозирование структуры фитобентоса с помощью показателей поверхности водорослей // Ботанический журнал. 1990. Т. 75. № 11. С. 1611–1618.
- Панкеева Т.В., Мильчакова Н.А., Миронова Н.В. и др.* Ландшафтный подход к оценке состояния макрофитобентоса в условиях конфликтного природопользования // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: Экокси-Гидрофизика, 2014. Т. 10(29). С. 70–79.
- Панкеева Т.В., Миронова Н.В., Ковардаков С.А.* Количественные показатели макрофитобентоса как критерии обоснования природоохранной ценности акваторий (регион Севастополя) // Проблемы региональной экологии. 2017. № 1. С. 28–33.
- Папунов Д.В.* Макрофитобентос как индикатор динамики подводных ландшафтов береговой зоны моря // Вопросы современной альгологии. 2012. № 2(2). URL: <http://algology.ru/121>.
- Петров К.М.* Подводные ландшафты: теория, методы исследования. Л.: Наука, 1989. 126 с.
- Преображенский Б.В., Жариков В.В., Дубейковский Л.В.* Основы подводного ландшафтоведения: управление морскими экосистемами. Владивосток: Дальнаука, 2000. 352 с.
- Симакова У.В.* Влияние рельефа дна на сообщества цистозеры Северокавказского побережья Черного моря // Океанология. 2009. Т. 49. № 5. С. 725–733.

Поступила в редакцию 19.04.2018

После доработки 01.03.2019

Принята к публикации 28.06.2019

T.V. Pankeeva<sup>1</sup>, N.V. Mironova<sup>2</sup>RESERVES OF MACROPHYTES AS AN INDICATOR  
OF THE STATE OF UNDERWATER LANDSCAPES  
(THE BLACK SEA)

The criteria for the assessment of the stability of underwater landscapes (bottom natural complexes, BNC) are proposed (using the scorecard approach) on the basis of the analysis of spatial distribution of phytomass reserves of macrophytobentos and principal Black Sea macrophyte species in the coastal zone of Crimea. The suggested criteria were tested for the Laspi Bay, where there is a series of long-term (1983–2016) observations of bottom vegetation changes with regard to the bottom landscape structure. The phytomass reserves of macrophytes and their dominant species (*Cystoseira* spp., *Phyllophora crispa*, *Zostera* spp.) for the upper and lower boundaries of the contours of various bottom natural complexes were estimated. An abrasion upper shoreface slope built of psephitic (rudaceous) sediments with dominance of *Cystoseira* species is the most stable BNC in the water area of the bay with the smallest recorded changes of integrated assessment. A gently sloping accumulation plain built of psammitic deposits with broken shell inclusions and dominant *Phyllophora crispa* and a gently sloping accumulation plain formed by silty-psammitic (arenaceous) sediments with dominant common eelgrass (*Zostera marina*) were more prone to transformation (minimum integrated assessments), which reflects in the change of the depth of their distribution, degradation of plant component and sharp reduction of the contribution of species-edifiers.

*Key words:* the Laspi Bay, bottom vegetation, phytomass reserves, macrophytes, bottom natural complexes

**Acknowledgements.** The research was carried out under the state scientific task of the A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of RAS (IMBR) (№ АААА-А18-118021350003-6). Sampling and primary processing of macrophytobenthos in 2016 was carried out as part of the state task from Kovalevskii Institute for Marine Biological Research, project № 1001-2014-0014, in which, in addition to the authors, the employees of the phytoresource laboratory took part.

## REFERENCES

- Atsihovskaja Zh.M., Chekmeneva N.I.* Ocenka dinamicheskoj aktivnosti vod rajona buhty Laspi (Chernoe more) [Assessment of the dynamic activity of the Laspi Bay waters (the Black Sea)] // *Jekologija morja*. 2002. Vol. 59. P. 5–8. (in Russian)
- Boltachev A.R., Mil'chakova N.A.* O prichinah i vozmoznykh posledstvijah vspyshki obilija zelenoj vodorosli kladofory (*Cladophora sericea*) na shel'fe jugo-zapadnogo Kryma vesnoj 2004 g. [About the causes and possible consequences of 2004 spring outbreak of *Cladophora sericea* green alga on the shelf of south-western Crimea] // *Ryb. hoz-vo Ukrainy*. 2004. № 5. P. 4–7. (in Russian)
- Blinova E.I., Pronina O.A., Shtrik V.A.* Metodicheskie rekomendatsii po uchetu zasobov promyslovykh morskikh vodoroslej pribrezhnoj zony [Methodical recommendations on the accounting of commercial seaweed reserves of the coastal zone] In: *Metody landshaftnykh issledovanii i otsenki zasobov donnykh bespozvonochnykh i vodoroslei morskoj pribrezhnoj zony. Izuchenie ekosistem rybokhozyaistvennykh vodoemov, sbor i obrabotka dannykh o vodnykh biologicheskikh resursakh, tekhnika i tekhnologiya ikh dobychi i pererabotki*. M.: Izd-vo VNIRO, 2005. Issue 3. P. 80–127. (in Russian)
- Gorjachkin Ju.N., Ivanov V.A.* Izmenenija klimata i dinamika beregov Ukrainy [Climate change and the dynamics of the coasts of Ukraine] // *Dop. NAN Ukraïni*. 2008. № 10. P. 118–122. (in Russian)
- Docenko S.F., Ivanov V.A.* Katastroficheskie prirodnye javlenija Azovo-Chernomorskogo regiona [Catastrophic natural phenomena in the Azov-Black Sea region]. *Morskoy gidrofizicheskij in-t. Sevastopol'*, 2013. 193 p. (in Russian)
- Kalugina-Gutnik A.A.* Fitobentos Chjornogo morja [Phytobenthos of the Black Sea]. K.: Nauk. dumka, 1975. 248 p. (in Russian)
- Kostenko N.S., Dikij E.A., Zakleckij A.A.* Tendencii mnogoletnih izmenenij fitocenozov «cistozirovogo pojasa» Karadagskogo prirodnogo zapovednika (Krym, Chjornoe more) [Trends of perennial changes of the «cystose belt» phytocoenoses of the Karadag Nature Reserve (Crimea, the Black Sea)] // *Morskoy jekologicheskij zhurnal*. 2008. T. VII. № 3. P. 25–36. (in Russian)
- Kuftarkova E.A., Shhurov S.V., Rodionova N.Ju.* Rezul'taty gidrologo-gidrohimicheskogo monitoringa midijnoj fermy v pribrezhnoj zony juzhnogo berega Kryma (buhta Laspi) [The results of hydrologic-hydrochemical monitoring of a mussel farm in the coastal zone of the southern coast of Crimea (the Laspi Bay)] // *Nauch. zap. Ternopil'skogo nac. ped. un-tu. Ser. Biologija*. 2010. №3(44). P. 133–136. (in Russian)
- Maksimova O.V., Luchina N.P.* Sovremennoe sostojanie makrofitobentosa u poberezh'ja severnogo Kavkaza: reakcija fitali na jevtrofikaciju chernomorskogo bassejna. In: *Kompleksnye issledovanija severo-vostochnoj chasti Chernogo morja* [The current state of macrophytobenthos off the coast of the northern Caucasus: the response of the phytale to the eutrophication of the Black Sea basin. Comprehensive research of the northeastern part of the Black Sea]. M.: Izd-vo Nauka, 2002. P. 297–308. (in Russian)
- Mil'chakova N.A., Mironova N.V., Rjabogina V.G.* Morskie rastitel'nye resursy [Marine plant resources] / *Promyslovyje bioresursy Chjornogo i Azovskogo morej* (pod red. V.N. Eremeeva i dr.). Sevastopol': Jekosi-Gidrofizika, 2011. Gl. 4. P. 117–139. (in Russian)

<sup>1</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS (Sevastopol), Department of Biotechnologies and Phyto Resources; MSU Branch in Sevastopol; Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: tatyapankeeva@yandex.ru

<sup>2</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Marine Biological Research of the RAS (Sevastopol), Department of Biotechnologies and Phyto Resources, Senior Scientific Researcher, PhD. in Biology; e-mail: dr.nataliya.mironova@yandex.ru

*Minicheva G.G.* Prognozirovanie struktury fitobentosa s pomosh'ju pokazatelej poverhnosti vodoroslej [Forecasting the structure of phytobenthos using the parameters of the algae surface] // *Botanicheskij zhurnal*. 1990. № 75. № 11. P. 1611–1618. (in Russian)

*Pankeeva T.V., Mil'chakova N.A., Mironova N.V. I dr.* Landshaftnyj podhod k ocenke sostojaniya makrofitobentosa v usloviyah konfliktnogo prirodopol'zovaniya [Landscape approach to the assessment of the state of macrophytobenthos in the context of conflict nature management] // *Jekologicheskaja bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*. Sevastopol': Jekosi-Gidrofizika, 2014. № 10(29). P. 70–79. (in Russian)

*Pankeeva T.V., Mironova N.V., Kovardakov S.A.* Kolichestvennye pokazateli makrofitobentosa kak kriterii obosnovanija prirodohrannoj cennosti akvatorij (region Sevastopolja) [Quantitative parameters of macrophytobenthos as criteria for validation of water areas Nature conservation value (Sevastopol region)] // *Problemy regional'noj jekologii*. 2017. № 1. P. 28–33. (in Russian)

*Papunov D.V.* Makrofitobentos kak indikator dinamiki podvodnyh landshaftov beregovoj zony morja [Macrophytobenthos as an indicator of the dynamics of underwater landscapes of the marine coastal zone] // *Voprosy sovremennoj al'gologii*. 2012. № 2(2). URL: <http://algology.ru/121>. (in Russian)

*Petrov K.M.* Podvodnye landshafty: teorija, metody issledovanija [Underwater landscapes: theory and research methods]. L.: Nauka, 1989. 126 p. (in Russian)

*Preobrazhenskij B.V., Zharikov V.V., Dubejkovskij L.V.* Osnovy podvodnogo landshaftovedenija (upravlenie morskimi jekosistemami) [Fundamentals of underwater landscape studies (management of marine ecosystems)]. Vladivostok: Dal'nauka, 2000. 352 p. (in Russian)

*Simakova U.V.* Vliyanie rel'efa dna na soobshhestva tsistoziry Severokavkazskogo poberezh'ya Chernogo morya [Influence of the sea bottom relief on the *Cystoseira* communities of the North Caucasian coast of the Black Sea] // *Okeanologiya*. 2009. T. 49. № 5. P. 725–733. (in Russian)

Received 19.04.2018

Revised 01.03.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 631.4

Л.Б. Исаченкова<sup>1</sup>, М.И. Герасимова<sup>2</sup>, М.Д. Богданова<sup>3</sup>, Е.В. Терская<sup>4</sup>**ОТРАЖЕНИЕ ИСТОРИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В СВОЙСТВАХ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ САТИНСКОГО ПОЛИГОНА МГУ**

С целью определения влияния смены видов антропогенных воздействий на почвенный покров обобщены данные многолетних полевых исследований на территории Сатинского учебно-научного полигона МГУ имени М.В. Ломоносова, составлена карта сценариев землепользования на основе дешифрирования аэрофото- и космических снимков, начиная с 1951 г., выделены новообразованные свойства, признаки и характеристики антропогенно-измененных почв. На основе полученных материалов приводится характеристика нескольких вариантов дерново-подзолистых почв – пахотных и лесных, дифференцируемых по морфологическим и химическим свойствам. Выявленные различия позволили авторам выделить более дробные подразделения таксономических единиц антропогенно-измененных почв и уточнить традиционную почвенную карту.

*Ключевые слова:* дерново-подзолистые почвы, почвенная карта, сценарии землепользования, антропогенные изменения, свойства почв

**Введение.** Большинство почвенных карт ориентировано на представление природного почвенного покрова, тогда как его реальное состояние сильно изменено антропогенными воздействиями, среди которых рубка леса и земледелие осуществляются на обширных пространствах, в том числе и в Подмоскowie. Почвы водораздельных равнин, в нашем случае дерново-подзолистые, в первую очередь подвержены этим воздействиям и служат достаточно частым объектом исследований. Изменениям свойств дерново-подзолистых почв, связанным с использованием земель под пашню – окультуриванием или деградацией, начиная с середины прошлого века посвящено значительное количество научных работ. Позднее изучались процессы трансформации постагрогенных почв на залежах, под лугами и лесами [Люри с соавт., 2010; Караваева с соавт., 1985; Сорокина с соавт., 2013; Хохлов, 2015]. Особое место занимают публикации о почвообразовании в сукцессионных рядах растительных сообществ на вырубках [Баранова с соавт., 1989; Герасимова, Исаченкова, 2008; Исаченкова, 2007; Карпачевский с соавт., 1986; Телесни-на с соавт., 2017; Экосистемы ..., 2006].

При картографировании антропогенно измененных почв возникают определенные трудности, связанные с недостаточной разработанностью методологии, динамичностью объектов в рамках одного вида воздействий, а тем более при сменах видов землепользования. Для крупномасштабных карт накоплен определенный опыт изображения агрогенных почв, в основном почв разной степени окультуренности и эродированности [Сорокина, 1993]. Детальные характеристики свойств почв бывших па-

шен и вырубок, запечатленные в их памяти, пока не учитываются при составлении почвенных карт.

В данном исследовании предполагается выявить влияние разных видов землепользования и их смен в течение последних 75 лет на свойства дерново-подзолистых почв с целью актуализации традиционной почвенной карты.

**Объекты и методы исследования.** В качестве объекта изучения выбрана территория Сатинского учебно-научного полигона МГУ имени М.В. Ломоносова в юго-западном Подмоскowie (вблизи границы Московской и Калужской областей), где с 1974 г. проводятся учебные практики студентов географического факультета МГУ. Территория хорошо изучена, имеется традиционная почвенная карта масштаба 1:10 000, аналогичные по масштабу тематические карты, монографии и материалы специальных исследований [Исаченкова, 2007; Микляева с соавт., 2018; Общегеографическая ..., 2007; Экосистемы ..., 2006].

В почвенном покрове доминируют дерново-подзолистые почвы, причем ненарушенные почвы занимают крайне ограниченные участки, что связано как с географическим положением, так и с давним освоением территории. Различия между природными дерново-подзолистыми почвами невелики и проявляются в степени поверхностной глееватости, небольших колебаниях мощности гумусового и элювиального горизонтов, составляющих в среднем 10–13 см и 10–20 см, соответственно. На водораздельных поверхностях с палеокриогенным микро-рельефом иногда встречаются участки со следами второго гумусового горизонта. Основными видами воздействия на почвы являются: вырубки, распаш-

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. преподаватель, канд. геогр. н.; *e-mail*: isalida@mail.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, докт. биол. н.; *e-mail*: maria.i.gerasimova@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. науч. с, канд. геогр. н.; *e-mail*: md-bogdanova@yandex.ru

<sup>4</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч. с.; *e-mail*: elena\_terskaya@mail.ru

ка, организация садов, создание садовых участков. Дальнейшая эволюция почв вырубок происходила либо в условиях стихийного зарастания, либо под лесопосадками. Пашни забрасывались, как и во многих других районах, зарастали травами и мелколесьем. Сады закладывались достаточно давно (в нашем случае – 40–50 лет назад); почвы при этом перемешивались на глубину более полуметра, но в дальнейшем почти не нарушались, не считая внесения малых доз удобрений и средств защиты растений. Возраст садовых участков и огородов колеблется от 5 до 100 и более лет; почвы под ними испытывают разные воздействия, но обычно они ежегодно перекапываются на глубину 15–25 см и в них вносятся органические удобрения, зола и известь.

При каждом виде воздействия и последующих событиях природные почвы модифицируются, что отражается в их свойствах, режимах, процессах, номенклатуре.

Исследование включало два блока: историко-картографический и почвенный.

Основой первого была традиционная почвенная карта, аэрофотоснимки за 2000, 1986, 1951 гг. и современный космический снимок. Дешифрирование разновременных снимков позволило выявить и систематизировать смены землепользования за последние 75 лет, на основании чего была составлена карта сценариев землепользования. Имеющаяся информация о более раннем состоянии землепользования на территории [Борсук, Антонов, 1997] не была использована в силу ее общего характера и менее точной привязки к почвенным объектам; кроме того, работа была ориентирована на изучение свойств почв с малыми характерными временами, на выявление деталей, достоверно свидетельствующих о произошедших событиях.

Почвенный блок основывался на многолетних полевых наблюдениях авторов – в основном описаниях почвенных разрезов в пределах территории станции (более 300 разрезов), а также детальных морфологических, мезоморфологических и аналитических исследованиях на ключевых участках. На основании оценки свойств почв были составлены почвенные карты участков с разными сценариями землепользования. Для диагностики почв использовалась новая классификация почв России [Классификация ..., 2004], которая позволяет более детально описать свойства почв по сравнению с традиционной классификацией почв СССР [Классификация ..., 1977].

**Результаты и обсуждение.** На основании дешифрирования снимков была составлена карта сценариев землепользования масштаба 1:10 000. В качестве ключевых объектов были выбраны контрастные участки с разной историей земельных угодий; среди них имеются участки с устойчивым землепользованием – постоянно лесные и постоянно пахотные, и со сменой угодий. На картах ключевых участков выделяются 13 вариантов сценариев (рис. 1).

*Лесной ключевой участок.* Лесной участок расположен в бассейне ручья Язвицы (рис. 1, А). На снимках был зафиксирован постоянно лесной массив (№ 1) и разновозрастные вырубки, зарастающие естественным образом (№ 2, 3, 4) и с посадками ели (№ 5, 6). Изучались почвы вырубок разного возраста (0–5, 5–10, 10–20, 20–40, 40–60 лет) и условно-коренных лесов. Для изучения морфологических и химических свойств почв было заложено более 200 разрезов [Исаченкова, 2007; Экосистемы ..., 2006].

Антропогенные воздействия на почвы максимальны в момент рубки и посадки лесных культур, однако их влияние при санитарных рубках, заготовке и вывозе древесины также значительно. Лесная территория бассейна ручья Язвицы неоднократно подвергалась сплошным вырубкам с последующим лесовозобновлением (как естественным путем, так и с посадками ели). В масштабах жизни почвы эффект проводимых лесохозяйственных процедур недолговечен и проявляется почти исключительно в верхних горизонтах; текстурные горизонты с их высокой устойчивостью почти не реагируют на смену растительных сообществ. С лесотехническими мероприятиями прямо или косвенно связаны процессы оглеения, вторичная одернованность и гумусонакопление, формирование грубогумусового горизонта.

Изучение разновозрастных вырубок позволяет проследить полный цикл восстановления почв от стадии молодой вырубки (меньше 5 лет) до восстановления леса, близкого к условно-коренному (около 60 лет). Каждому этапу восстановления вырубки соответствуют особые варианты дерново-подзолистых почв, которые не всегда имеют строгое классификационное положение.

Дерново-подзолистые почвы условно-коренных мелколиственно-еловых лесов имеют следующий набор диагностических горизонтов: АУ-ЕL(g)-ВЕL(g)-ВТ-С (рис. 2). Для них характерна высокая степень текстурной дифференциации, небольшая мощность серогумусового (дернового) горизонта АУ (10–15 см: вид «мелкие»), средняя глубина нижней границы осветленного горизонта ЕL (20–30 см: вид «неглубокоосветленные»; [Классификация ..., 2004]). Как правило, ясно выражен субэлювиальный горизонт ВЕL, отмечаются признаки поверхностной глееватости в виде охристых пятнышек и мягких мелких гумусово-марганцево-железистых стяжений и конкреций.

Сплошные рубки приводят к значительному изменению свойств почв: активизируется процесс оглеения, разрушается исходная структура верхних горизонтов почв. Местами они отсутствуют – так на поверхности оказывается текстурный горизонт ВТ с плохими фильтрационными свойствами. В пределах молодой вырубки (0–5 лет) существенное влияние на почвы оказывают не только технологии рубки, но и приемы лесовосстановления, что усиливает мозаичность почвенного покрова. Верхняя часть «усредненного» профиля состоит из смеси фрагмен-

тов горизонтов АУ, ЕL, ВЕL в разных соотношениях; к ней примешивается большое количество мелких плохо разложившихся растительных остатков – порубочный материал, или детрит (№ 6). На схеме данная часть профиля обозначена как смесь минеральных морфонов и детрита (О), который местами сохранился и на поверхности почвы (см. рис. 2). Нижележащие горизонты ВТ(г), иногда ВЕL(г), аналогичны таковым в почвах условно-коренных лесов, хотя могут быть сильнее оглеены. Почвенный покров молодых вырубок отличается высокой неоднородностью, приобретенной в результате лесохозяйственных мероприятий. В качестве центрального образа почв молодых вырубок (№ 6) были приняты почвы с повторяющимися на молодых вырубках процессами и характерными свойствами, названные дерново-подзолистыми турбированными вторично поверхностно оглеенными.

По мере зарастания вырубок под влажнолуговыми злаково-разнотравными сообществами и молодым мелколиственным лесом создаются благоприятные условия, с одной стороны, для гумусообразования, а с другой – для «разболачивания». На вырубках 5–10-летнего возраста растительный по-

кров становится сомкнутым и относительно однородным, увеличивается доля злаков, в частности щучки, формируется плотная дернина мощностью 3–6 см (признак гз в Классификации ..., [2004]. Турбированный материал предыдущей стадии трансформируется в серогумусовый горизонт мощностью 5–6 см, светло-серый, порошисто-комковатый, с редкими охристыми пятнами и значительным количеством детрита разной степени разложения. Ниже сохраняются фрагменты морфонов с общим серовато-сизым фоном, мелкими марганцево-железистыми конкрециями, детритом. Признаков оглеения меньше, что свидетельствует об ослаблении периодических восстановительных процессов. Среднее значение рН составляет 5,4, содержание гумуса достигает 3,4%. Основные тенденции почвообразования со временем не меняются: ослабление процессов оглеения продолжается, наблюдается возрастание гумусонакопления, активизация почвенной мезофауны; горизонт АУ приобретает свои характерные признаки (№ 5). Горизонт хорошо оструктурен, его мощность возрастает до 7–9 см (на данную стадию восстановления леса приходится самый мощный гумусовый горизонт). Коричневато-серого

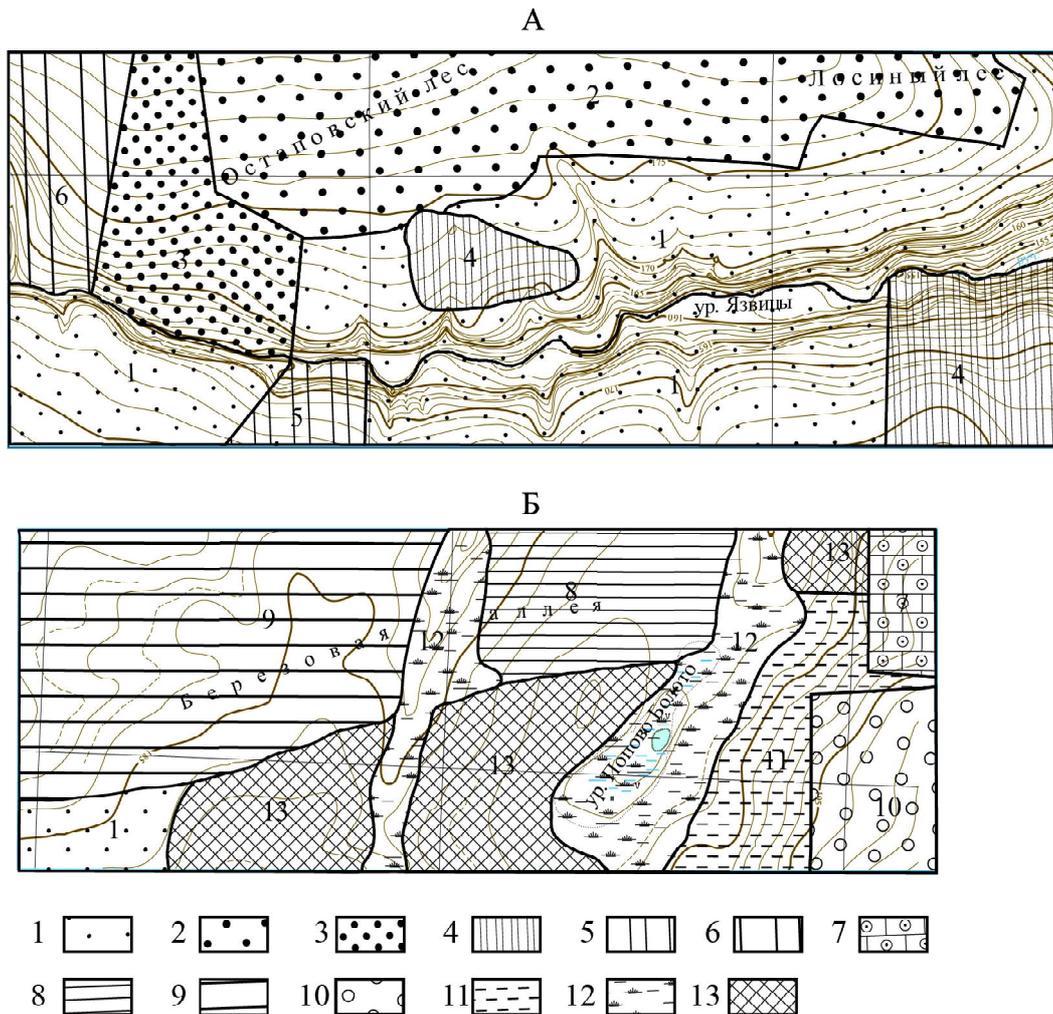


Рис. 1. Фрагменты карты сценариев землепользования. А – лесной ключевой участок; Б – пахотный ключевой участок

Fig. 1. Fragments of the map of land-use scenarios. А – forest key site; Б – arable key site

Легенда к рис. 1

№№	Типы землепользования по 4 срокам съемки				Почвы
	2017	2000	1986	1951	
1	Елово- мелколиственный лес	Елово- мелколиственный лес	Елово- мелколиственный лес	Елово- мелколиственный лес	Дерново-подзолистые (поверхностно-глееватые) неглубокоосветленные
2	Елово- мелколиственный лес	Елово- мелколиственный лес	Елово- мелколиственный лес 40–60 лет на месте вырубki	Еловый лес 20–40 лет на месте вырубki	
3	Елово- мелколиственный лес 40–60 лет на месте вырубki	Еловый лес 20–40 лет на месте вырубki	Зарастающая вырубka 10–20 лет	Елово- мелколиственный лес	Дерново-подзолистые
4	Еловый лес 20–40 лет на месте вырубki	Посадки ели 10–20 лет на месте вырубki	Елово- мелколиственный лес	Елово- мелколиственный лес	Дерново-подзолистые грубогумусированные
5	Посадки ели 10–20 лет на месте вырубki	Посадки ели 5–10 лет на месте вырубki	Елово- мелколиственный лес 40–60 лет на месте вырубki	Еловый лес 20–40 лет на месте вырубki	Дерново-подзолистые остаточные турбированные поверхностно-глееватые
6	Посадки ели 0–5 лет на месте вырубki	Еловый лес 20–40 лет на месте вырубki	Зарастающая вырубka 5–10 лет	Елово- мелколиственный лес	Дерново-подзолистые турбированные вторично поверхностно оглеенные
7	Липовый лес	Липовый лес	Липовый лес	Посадки липы	Серогумусовые глинистоиллювирированные
8	Пашня	Пашня	Пашня	Пашня	Агродерново-подзолистые глубокопахотные, в том числе стратифицированные и абрадирированные, агроземы текстурно-дифференцированные
9	Залежь	Пашня	Пашня	Пашня	Дерново-подзолистая постагrogenная поверхностно-глееватая
10	Яблоневый сад	Яблоневый сад	Яблоневый сад	Пашня	Агрозем текстурно-дифференцированный турбированный реградированный
11	Низинный луг с ивой	Низинный луг с ивой	Низинный луг	Пашня	Дерново-подзолистые глеевые
12	Низинный луг с ивой	Заболоченный луг с ивой	Заболоченный луг	Луг	Дерново- (перегнойно-) подзолистые глеевые
13	Садовые участки	Садовые участки	Пашня	Пашня	Антропогенные почвы

цвета, однородный, он содержит значительное количество полусгнившего детрита, множество копролитов; признаки оглеения практически не проявляются. На месте турбированного горизонта находится слой мощностью 10–15 см, палево-белесый с сизоватым оттенком, неоднородный, с многочисленными мелкими рыжевато-охристыми и сизовато-белесыми пятнами и конкрециями, плотный, встречаются сгнившие остатки стволов и веток. Содержание гумуса 4,0–4,5%, значения pH – до 5,5.

Формирование лесного ценоза с преобладанием ели через 20–40 лет после рубки с искусственным лесовосстановлением или под еловыми парцеллами при естественном возобновлении приводит к завершению «разболачивания» почв (№ 4). Признаки оглеения как локального перераспределения оксидов и гидроксидов железа выражены слабо – по

анalogии с лесными дерново-подзолистыми почвами, они приурочены к элювиальным горизонтам и связаны с сезонным переувлажнением. По сравнению с предыдущей стадией мощность серогумусового горизонта сокращается и над ним образуется маломощный (3–5 см) грубогумусовый горизонт АО, состоящий преимущественно из опада ели различных стадий гумификации. Серогумусовый горизонт серовато-палевый, однородный, с редкими бурыми (остатки горизонта BEL) и мелкими охристыми пятнами, комковато-плитчатый; из порубочных остатков сохраняются только фрагменты коры и стволов. Содержание гумуса составляет 2,2–2,7%, значения pH понижаются до 4,7.

На вырубках старше 40–60 лет (№ 3) произрастают еловые зеленомошные, еловые кислично-зеленомошные, реже еловые мертвopoкpовные леса

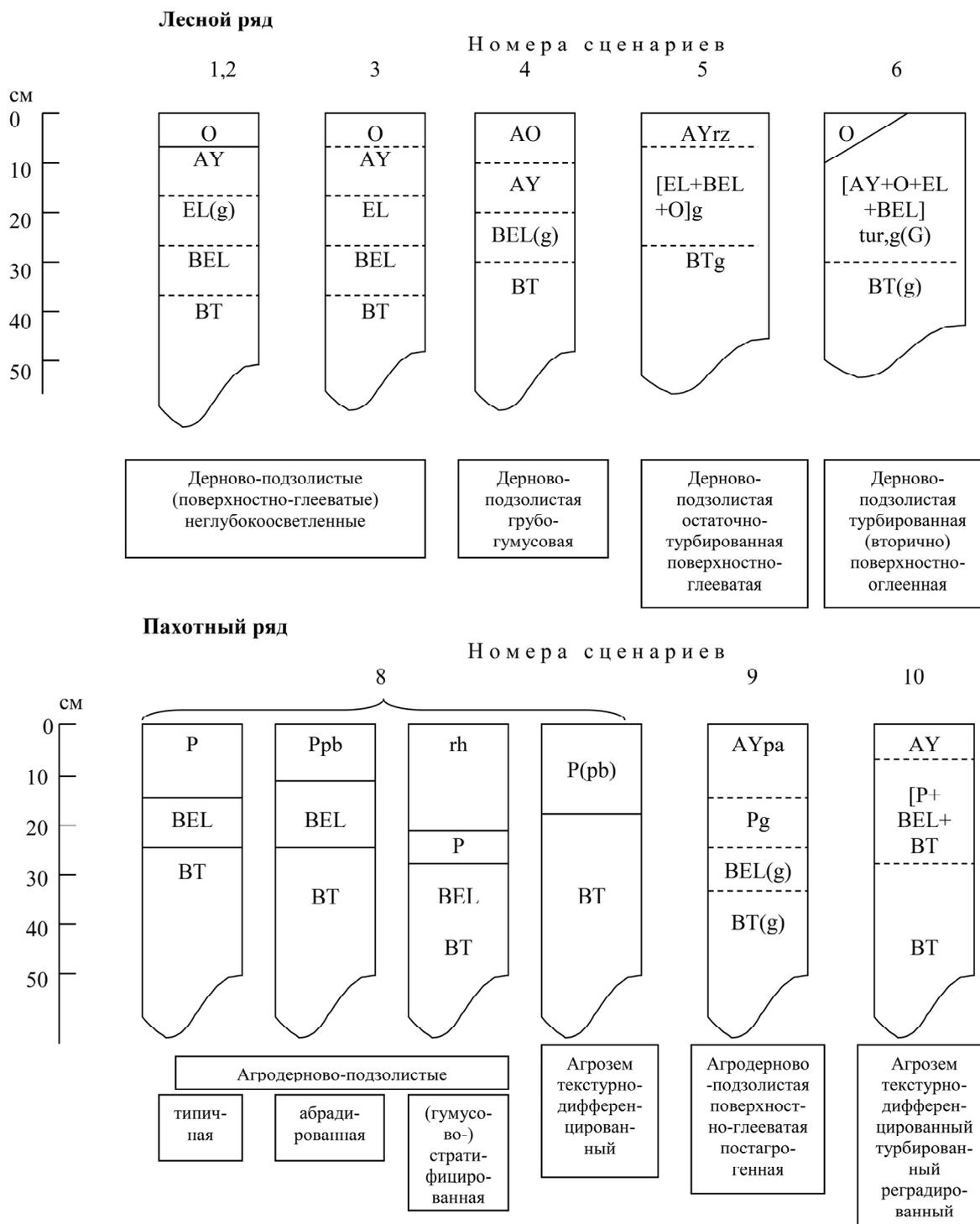


Рис. 2. Схемы профилей почв разных сценариев (индекс в скобках означает возможное присутствие признака)

Fig. 2. Schemes of soil profiles for different land-use scenarios (the symbol in brackets means possible presence of a property)

с редкими папоротниками и осиново-еловые и березово-еловые леса с папоротниками и бореальным разнотравьем. По морфологическим и химическим свойствам они практически не отличаются от дерново-подзолистых почв с контрастным дифференцированным профилем условно-коренных лесов. О «вырубочном» прошлом свидетельствуют единичные хорошо разложившиеся порубочные остатки в виде фрагментов стволов деревьев.

Таким образом, каждому этапу восстановления вырубки соответствует особая разность дерново-подзолистых почв с разной степенью выраженности морфологических проявлений процессов гумусонакопления и оглеения. Если в почвах молодых вырубок условия для протекания гумусово-аккумулятивного процесса неблагоприятны, то на вырубках 10–20 лет формируются самые «дерновые» почвы, отличающиеся наибольшей мощностью гумусового горизонта и

содержанием гумуса. В почвах вырубок 20–40-летнего возраста гумусово-аккумулятивный процесс не такой интенсивный, формируются грубогумусовые горизонты.

*Пахотный ключевой участок.* Пахотный ключевой участок (рис. 1, Б) занимает часть водораздельной поверхности междуречья р. Протвы и Чолоховской балки, где охватывает современную пашню, залежь, луг и садовые участки и липовый лес. В течение 200 лет пахотные угодья занимали основные площади на поверхности междуречий и пологих склонов в пределах учебно-научного полигона. Однако за последние десятилетия характер землепользования на значительных площадях существенно изменился.

Площади земель, постоянно распахиваемых с 1950-х гг (№ 8), в силу близости к поселку и дорогам поддерживаются в хорошем состоянии; на них проводились регулярные обработки, вносились удобрения. Данные почвы были отнесены к агродерново-подзолистым глубокопахотным пылевато-среднесуглинистым [Классификация ..., 2004], поскольку в их профиле агрогоризонт (P) с резкой, местами неровной границей, сменяется субэлювиальным горизонтом (BEL) со светлыми морфонами или линзами, а не текстурным горизонтом BT, что, однако, изредка отмечается в пределах указанного участка. В последнем случае почва определяется как агрозем текстурно-дифференцированный (см. рис. 2).

Агрогоризонту основного массива почв свойственны зернисто-комковатая или ореховато-комковатая структура, наличие копролитов дождевых червей, небольшое уплотнение (на глубине более 10 см) и серовато-бурая однородная окраска при мощности около 33–35 см. В горизонте периодически встречаются фрагменты неплотной плужной подошвы, к которым приурочены темные гумусово-железистые стяжения. Цвет и структура позволяют предположить вовлечение в массу агрогоризонта материала горизонтов EL и BEL.

Помимо морфологических признаков, хорошее состояние почвы подтверждается величинами pH, варьирующими в пределах 6,2–6,8. Наиболее низкие значения pH отмечены в агрогоризонтах с ясными бурыми оттенками. В агрогоризонте содержание гумуса невысокое (от 1,8 до 2,6%) и равномерное. Почвы варианта постоянной пашни представляют собой типичный и стандартный образ давно освоенных агродерново-подзолистых почв, используемых в полевых севооборотах с травами и пропашными культурами на слабовыпуклых водораздельных поверхностях. При условии преобладания бурых тонов в агрогоризонтах почв на склонах и наличия включений агрегатов нижележащего горизонта BT, почвы могут быть отнесены к подтипу абрадированных.

Таким образом, почвы постоянной пашни (сценарий № 8), представлены агродерново-подзолистыми типичными, на склонах – агродерново-подзолистыми абрадированными разновидностями, на кру-

тых склонах или на равнинах с палеокриогенным микрорельефом – агроземами текстурно-дифференцированными. В последнем случае ареалы не превышают первых метров в поперечнике, так как они приурочены к микроповышениям – блокам. Дополнением к комбинации почв в сценарии № 8 могут быть агродерново-подзолистые гумусово-стратифицированные почвы нижних частей склонов [Герасимова, 2007].

Сценарий № 9: 15-летняя залежь на той же поверхности, что и постоянная пашня (№ 8). Отличие участка заключается в его увеличенной площади и уплощенности, что провоцирует временное переувлажнение почв. В настоящее время представляет собой луг с злаково-разнотравным покровом высотой 30–40 см, отдельными деревьями и куртинами березы и ивы высотой до 2 м и редкими елями высотой 30 см, чередующиеся с парцеллами хвоща полевого и осота. В верхних 8–10 см серовато-бурого компактного и слабо структурного прежнего агрогоризонта с ясной ровной, местами слегка размытой нижней границей выделяется серогумусовый горизонт, разрыхленный, насыщенный корнями, с комковатой структурой. Ниже серогумусового горизонта много железистых стяжений и сизо-белесых пятен, переходящих ниже в субэлювиальный оглеенный горизонт BEL. Можно предположить, что поверхностное оглеение, связанное с природной слабодренированностью профиля, усиливается при переходе почвы в залежь. Вероятно, в условиях недостаточной транспирации восстанавливаемым фитоценозом оглеение провоцируется также отсутствием регулярной вспашки и мер по поддержанию структуры почвы и весенне-раннелетним испарением с открытой поверхности. Описанная выше почва может быть названа дерново-подзолистой постагрогенной поверхностно-глееватой.

Почвы яблоневого сада (№ 10) имеют свойства, наследованные от прежней пашни, однако они «подавляются» последующими воздействиями. Несмотря на то, что сад функционирует более 50 лет, регулярная обработка почвы проводится не везде. Ряды 40–50-летних яблонь располагаются на микроповышениях (высотой до 0,5 м), на расстоянии 3–5 м друг от друга. Междурядья в целом ровные (5–7 м), порой нарушенные колеями, ямами, бугорками, среди которых есть земляные муравейники. Густой травяной покров высотой 30–40 см встречается повсеместно. Неровность поверхности, однако, не нарушает простой и однородный профиль почв. Он состоит из буровато-серого агрогенного в прошлом горизонта (25–30 см) с единичными угольками и обломками кирпича, комковатого с зернистостью, местами с ясной ровной границей с нижележащим тускло-бурым горизонтом BT. Как и в почве залежи, в верхней части прежнего агрогоризонта выделяется современный серогумусовый горизонт. В турбированную часть профиля был, вероятно, вовлечен материал горизонта BT, о чем можно судить по включениям его морфонов с нерезкими границами и тусклой окраской. От других пахотных почв

почвы под садом отличаются повышенной биогенностью – встречается множество копролитов, муравьев, грибных мицелий. Предполагается, что при создании сада почвенный профиль был сильно перемешан, вероятно, не только в местах посадочных ям саженцев. В результате образовалась относительно однородная буровато-серая суглинистая масса с включениями самых устойчивых морфонов ВТ и артефактов, после чего производилась ограниченная вспашка между рядов, вносились органические удобрения, так что образовался однородный верхний слой над текстурным горизонтом. В между рядах агрогоризонт с признаками перемещения масс почвы местами сохранился. В целом, почвы сценария № 10 могут быть определены как агрозёмы текстурно-дифференцированные турбированные реградированные.

Почвы под лугом (сценарии № 11 и 12) относятся к переувлажненным дерново(перегнойно)-подзолисто-глеевым, они использовались эпизодически для выпаса и сенокоса.

В пределах садовых участков, расположенных на водораздельной поверхности, формируются разные варианты дерново-подзолистых почв: проградированные, турбированные, а также агрозёмы и насыпные грунты; их ареалы, как правило, мозаичны.

Особое место среди лесных объектов исследования занимают почвы липового леса, посаженного в 1940-х гг. рядом с поселком Сатино (№ 7). В верхнем ярусе преобладает липа, в подросте – ясень и клен. В травяном покрове доминируют неморальные виды – зеленчук и осока волосистая, опад почти отсутствует. Почвы отличаются темным гумусовым горизонтом с прочной комковато-зернистой структурой, с большой долей копролитов дождевых червей; в переходном горизонте (с глубины 12–15 см) частично сохраняются эти признаки. Глубже 30 см находится нечетко выраженный текстурный горизонт ВТ, серовато-бурый, с тусклыми фрагментарными кутанами на гранях сглаженно-ореховатых агрегатов. Можно предположить, что горизонт ВТ в последние десятилетия существует не столько в своем исходном элювиально-иллювиальном режиме, сколько трансформируется процессами гумусонакопления в условиях повышенной биологической активности под неморальным липняком. В связи с тем, что содержание гумуса в нем составляет 4,2%, почву можно назвать серогумусовой глинисто-иллювиальной среднегумусированной.

**Благодарности.** Авторы выражают благодарность А.А. Сучилину и Н.В. Рябовой за помощь и предоставленные материалы.

### **Выводы:**

– анализ разновозрастных снимков в сочетании с изучением дополнительных материалов позволил выделить на территории Сатинского учебно-научного полигона несколько вариантов сценариев землепользования в пределах водораздельных равнин с дерново-подзолистыми почвами. На основании многолетнего изучения почв и почвенного покрова территории, а также детальных исследований на ключевых участках для каждого сценария были выявлены особенности дерново-подзолистых почв, в той или иной мере фиксирующие антропогенные эффекты, связанные с лесным и сельским хозяйством. Результаты воздействий проявляются в верхней части почвенного профиля и могут быть отражены в категориях новой классификации почв России;

– почвы, измененные при лесопользовании, сохраняют типовую принадлежность («дерново-подзолистые»); характер изменений, в свою очередь, соответствует уровню подтипов, передающих особенности процессов оглеения и гумусонакопления, а также наличие механических нарушений;

– результаты использования почв в земледелии более разнообразны. Большая часть почв относится к типу агродерново-подзолистых, меньшая – к типу агрозёмов текстурно-дифференцированных. Первые приурочены к хорошо дренированным поверхностям в условиях регулярной обработки; среди данных ареалов встречаются агрозёмы и абрадированные агродерново-подзолистые почвы, переходные между ними по свойствам и тяготеющие к склонам, либо к повышениям палеокриогенного микрорельефа. На нижних частях склонов формируются стратифицированные агродерново-подзолистые почвы. В почвах залежей сочетаются процессы поверхностного оглеения с гумусонакоплением природного типа; фиксируются дерново-подзолистые поверхностно-глееватые постагрогенные почвы. Заложение яблоневого сада на бывшей пашне около 50 лет назад привело к появлению агрозёмов текстурно-дифференцированных реградированных;

– сравнительно быстрые изменения свойств почв в разных сценариях землепользования можно объяснить экотонным положением территории исследования – на южной границе полосы хвойно-широколиственных лесов и северной лесостепи. Не исключено также, что в последние десятилетия почвенные процессы протекают особенно интенсивно в связи с общим потеплением климата.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранова О.Ю., Номеров Г.Б., Строганова М.Н. Изменение свойств пахотных дерново-подзолистых почв при зарастании их лесом // Почвообразование в лесных биогеоценозах. М., 1989. С. 60–78.
- Борсук О.А., Антонов С.И. Межевой план XVIII века усадьбы Сатино – источник сведений о рациональном природопользовании // Исторический вестник. Человек и пространство. М., 1997. С. 215–217.
- Герасимова М.И. Агродерново-подзолистые почвы юго-западного Подмосковья: опыт анализа свойств пахотного горизонта // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: Геогр. 2007. № 2. С. 16–27.
- Герасимова М.И., Исаченкова Л.Б. «Короткая память» дерново-подзолистых почв в лесовосстановительных сукцессиях // Память почв. М.: URSS, 2008. С. 638–649.
- Исаченкова Л.Б. Изменение свойств дерново-подзолистых почв в сукцессионных рядах восстановления широколиственно-хвойных лесов (на примере юго-западного Подмосковья). Диссертация на соискание уч. степени канд. геогр. наук. М., 2007. 158 с.
- Караваева Н.А., Жариков С.Н., Кончин А.Е. Пахотные почвы Нечерноземья: процессно-эволюционный подход к изучению // Почвоведение. 1985. № 11. С. 114–125.
- Карпачевский Л.О., Строганова М.Н., Баранова О.Ю. и др. Эволюция почвенного покрова при лесовосстановлении // Успехи почвоведения. Материалы Международного съезда почвоведов. М., 1986. С. 135–142.
- Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 223 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
- Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефёдова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
- Микляева И.М., Кадетов Н.Г., Сулова Е.Г., Вахнина О.В. Многолетняя динамика растительного покрова полигона Сатинской учебно-научной станции // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 5. С. 89–95.
- Общегеографическая практика в Подмосковье. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 361 с.
- Сорокина Н.П. Крупномасштабная картография почв в связи с агроэкологической типизацией земель // Почвоведение. 1993. № 9. С. 37–46.
- Сорокина Н.П., Козлов Д.Н., Кузнецова И.В. Оценка постагрогенной трансформации дерново-подзолистых почв: картографическое и аналитическое обоснование // Почвоведение. 2013. № 10. С. 1193–1205.
- Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. и др. Динамика почв и состава растительности в ходе постагрогенной эволюции в разных биоклиматических зонах // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.
- Хохлов С.Ф. Постагрогенные дерново-подзолистые почвы под лесом и лугом в Подмосковье: свойства, эволюция и элементы водного баланса. Автореферат диссертации на соискание уч. степени канд. с/х. наук. М., 2015. 24 с.
- Экосистемы широколиственно-хвойных лесов Южного Подмосковья. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2006. 182 с.

Поступила в редакцию 16.05.2018

После доработки 20.02.2019

Принята к публикации 28.06.2019

L.B. Isachenkova<sup>1</sup>, M.I. Gerasimova<sup>2</sup>,  
M.D. Bogdanova<sup>3</sup>, E.V. Terskaya<sup>4</sup>

LAND-USE HISTORY AS EVIDENCED BY  
THE PROPERTIES OF SODDY-PODZOLIC SOILS  
(SATINO RESEARCH AND TRAINING STATION)

The data of long-time field studies within the territory of the Satino research and training station were summarized to reveal the effect of land use changes on the soil cover. As a result, the map of land-use scenarios has been compiled basing on the interpretation of space and aerial photographs since 1951; human-induced changes in soddy-podzolic soils (Albic Retisols) properties were recorded in detail. Basing on the resulting materials several variants of soddy-podzolic soils, both arable and forest, are described which are different in their morphological and chemical properties. The revealed differences made it possible to propose a more detailed subdivision of taxonomic units of anthropogenically modified soils and actualize the traditional soil map.

*Key words:* soil map, land-use scenarios, soddy podzolic soil, human-induced changes, soil properties

*Acknowledgements.* The authors are grateful to A.A. Suchilin and N.V. Riabova for their assistance and remote sensing materials provided.

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Senior Assistant, PhD. in Geography; *e-mail:* isalida@mail.ru

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Biology; *e-mail:* maria.i.gerasimova@gmail.com

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; *e-mail:* md-bogdanova@yandex.ru

<sup>4</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Research Scientist; *e-mail:* elena\_terskaya@mail.ru

## REFERENCES

- Baranova O.Yu., Nomerov G.B., Stroganova M.N.* Izmenenie svojstv pahotnyh dernovo-podzolistykh pochv pri zarastanii ih lesom [Transformation of the properties of arable soddy-podzolic soils after regeneration of forests // *Pochvoobrazovanie v lesnyh biogeocenoazah*. M., 1989. P. 60–78. (in Russian)
- Borsuk O.A., Antonov S.I.* Mezhevoj plan XVIII veka usad'by Satino – istochnik svedenij o racional'nom prirodopol'zovanii [The 18<sup>th</sup> century demarcation plan of the Satino country estate as a source of information about the nature management] // *Istoricheskij vestnik. Chelovek i prostranstvo*. M., 1997. P. 215–217. (in Russian)
- Ekosistemy shirokolistvenno-hvojnyh lesov Yuzhnogo Podmoskov'ya [Ecosystems of broadleaved-coniferous forests in the southern part of the Moscow region]. M.: Geogr. f-t MGU, 2006. 182 p. (in Russian)
- Gerasimova M.I.* Agrodernovo-podzolistye pochvy yugo-zapadnogo Podmoskov'ya: opyt analiza svojstv pahotnogo gorizonta [Agro-soddy-podzolic soils of the south-western part of the Moscow region: experience of the analysis of arable horizon properties] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 2007. № 2. P. 16–27. (in Russian)
- Gerasimova M.I., Isachenkova L.B.* «Korotkaya pamyat» dernovo-podzolistykh pochv v lesovostanovitel'nyh sukcesijah [Short memory of soddy-podzolic soils within forest regeneration successions] // *Pamyat' pochv*. M.: URSS, 2008. P. 638–649. (in Russian)
- Isachenkova L.B.* Izmenenie svojstv dernovo-podzolistykh pochv v sukcesionnyh ryadah vosstanovleniya shirokolistvenno-hvojnyh lesov (na primere yugo-zapadnogo Podmoskov'ya) [Transformation of soddy-podzolic soils properties within succession series of broadleaved-coniferous forest regeneration (case study of the south-western part of the Moscow region)]. Diss ... kand. geogr. nauk. M., 2007. 158 p. (in Russian)
- Karavaeva N.A., Zharikov S.N., Konchin A.E.* Pahotnye pochvy Nechernozem'ya: processno-evolyucionnyj podhod k izucheniyu [Arable soils of the Non-Chernozem region: process-evolutionary approach to their investigation] // *Pochvovedenie*. 1985. № 11. P. 114–125. (in Russian)
- Karpachevsij L.O., Stroganova M.N., Baranova O.YU. i dr.* Evolyuciya pochvennogo pokrova pri lesovosstanovlenii [Evolution of soil cover under forest regeneration] // *Uspekhi pochvovedeniya. Mat-ly Mezhd. siezda pochvovedov*. M., 1986. P. 135–142. (in Russian)
- Khokhlov S.F.* Postagrogennye dernovo-podzolistye pochvy pod lesom i lugom v Podmoskov'e: svojstva, evolyuciya i elementy vodnogo balansa [Post-agrogenic soddy-podzolic soils under forests and meadows in the Moscow region: properties, evolution and the elements of water balance]. Avtoreferat diss ... kand. s/h nauk. M., 2015. 24 p. (in Russian)
- Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of the soils of Russia]. Smolensk: Ojkumena. 2004. 341 p. (in Russian)
- Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR [Classification and diagnostics of soils of the USSR]. M.: Kolos, 1977. 223 p. (in Russian)
- Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G.* Dinamika sel'skohozyajstvennyh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv [Dynamics of agricultural lands of Russia in the 20<sup>th</sup> century and the post-agrogenic regeneration of soils and vegetation]. M.: GEOS, 2010. 416 p. (in Russian)
- Miklyeva I.M., Kadetov N.G., Suslova E.G., Vahnina O.V.* Mnogoletnyaya dinamika rastitel'nogo pokrova poligona Satinskoj uchebno-nauchnoj stancii [Long-time dynamics of vegetation cover within the territory of the Satino research and training station] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 2018. № 5. P. 89–95. (in Russian)
- Obshchegeograficheskaya praktika v Podmoskov'e [General geographical training in the Moscow region]. M.: Geogr. f-t MGU, 2007. 361 p. (in Russian)
- Sorokina N.P.* Krupnomasshtabnaya kartografiya pochv v svyazi s agroekologicheskoj tipizaciej zemel' [Large-scale mapping of soils in relation to the agroecological tipization of lands] // *Pochvovedenie*. 1993. № 9. P. 37–46. (in Russian)
- Sorokina N.P., Kozlov D.N., Kuznecova I.V.* Ocenka postagrogennoj transformacii dernovo-podzolistykh pochv: kartograficheskoe i analiticheskoe obosnovanie [Assessment of post-agrogenic transformation of soddy-podzolic soils: cartographic and analytical background] // *Pochvovedenie*. 2013. № 10. P. 1193–1205. (in Russian)
- Telesnina V.M., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O. i dr.* Dinamika pochv i sostava rastitel'nosti v hode postagrogennoj evolyucii v raznyh bioklimaticheskikh zonah [Dynamics of soils and plant composition in the process of post-agrogenic evolution within different bioclimatic zones] // *Pochvovedenie*. 2017. № 12. P. 1514–1534. (in Russian)

Received 16.05.2018

Revised 20.02.2019

Accepted 28.06.2019

УДК 551.501, 551.584

В.С. Платонов<sup>1</sup>, Г.В. Суркова<sup>2</sup>, П.И. Константинов<sup>3</sup>**МИКРОКЛИМАТ САТИНСКОГО УЧЕБНО-НАУЧНОГО ПОЛИГОНА МГУ**

В статье приводится обзор результатов исследований микроклимата Сатинского полигона, типичного режима и распределение важнейших метеорологических показателей в зависимости от разнообразного сочетания условий и характеристик рельефа, растительности и других компонентов ландшафта. Рассмотрены основные существующие подходы к исследованию микроклимата, реализуемые на Сатинском полигоне, в том числе и в рамках практики, методы изучения приземного слоя, в том числе автоматизированными измерительными комплексами. Выдвигаются предложения по внедрению и развитию новой современной приборной базы для наблюдений и возможной постановке новых научно-исследовательских задач на основе комплексного подхода. Важнейшим направлением развития исследований является компьютерное моделирование метеорологических процессов микро- и мезомасштаба, учитывающее полную информацию о компонентах ландшафта, получаемую в рамках комплексных наблюдений кафедр факультета на Сатинской УНС. В качестве примеров можно указать наблюдения за процессами тепло- и влагообмена, потоками парниковых газов в различных контрастных местоположениях на полигоне с учетом данных о фитоценозе, почвенном покрове и рельефе различных масштабов. Кроме того, региональное моделирование климата высокого разрешения может стать консолидирующим методом, на базе которого могут быть объединены географические и экологические науки, ставящие своей целью описание и прогноз состояния природной среды и, в частности, климатической системы. Результаты климатического моделирования могут быть использованы для самых разнообразных оценок компонентов ландшафта, во многом определяемых климатическими ресурсами, в том числе и в условиях изменений климата.

*Ключевые слова:* микроклиматические исследования, классификация микроклиматов, автоматические метеостанции, автоматизированные измерения, моделирование микроклиматов, региональное моделирование климата

**Введение.** Метеорологические исследования на Сатинской учебно-научной базе в силу пространственно-временных масштабов полигона относятся в первую очередь к решению задач микроклиматологии. Понятие масштаба процессов является одним из важнейших в метеорологии, их классификация строго физически обоснована и базируется на балансных соотношениях и представлении о непрерывности спектра энергии в климатической системе [Вельтищев, Степаненко, 2006]. Принадлежность процессов к тому или иному масштабу определяет специфику законов и уравнений, используемых для их описания, а также методику и необходимое пространственно-временное разрешение для наблюдений за ними. При этом важно понимать, что в данных наблюдений находит свое отражение изменчивость характеристик разнотипных масштабов – от локального до синоптического.

К масштабам микроклиматических процессов, согласно общепринятой классификации [Orlanski, 1975], относится диапазон от первых метров до 2 км (с подразделением на микро- $\alpha$ , микро- $\beta$  и микро- $\gamma$  диапазоны), что сопоставимо с масштабом основных объектов, формирующих разнообразие микроклиматических различий в пределах Сатинского полигона. Временная изменчивость микромасштаб-

ных процессов варьирует от минут до первых часов.

Под термином «микроклимат» понимается метеорологический режим самого нижнего, прилегающего к земной поверхности слоя воздуха вместе с приповерхностным слоем почвы, где сосредоточена основная масса корневой системы растений. Микроклимат характеризуется большой пространственной неоднородностью метеорологического режима и наличием четкой связи с суточной периодичностью притока солнечной радиации. Микроклимат зависит, с одной стороны, от горизонтальной и вертикальной структуры ландшафта, а с другой – формируется под воздействием общих фоновых факторов климатообразования, характерных для данной широтной зоны [Несмелова, Филиппова, 2006]. Своеобразие свойств подстилающей поверхности, их пространственная изменчивость на указанных масштабах является источником формирования различий в режиме тепло- и влагообмена с приземным слоем атмосферы. При этом неоднородность подстилающей поверхности формируют такие факторы, как различные формы рельефа, водные объекты, растительные сообщества и урбанизированные территории, а также их сочетания.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail*: vplatonov86@gmail.com

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, доц., докт. геогр. н.; *e-mail*: galina.surkova@gmail.com

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, ст. преподаватель, канд. геогр. н.; *e-mail*: kostadini@mail.ru

В рамках общегеографических задач, решаемых на Сатинском полигоне, в том числе и на практике, микроклимат является важнейшим и неотъемлемым компонентом ландшафтной дифференциации полигона, и в большинстве случаев соответствует уровню фации [Общегеографическая практика ..., 2007].

Актуальность микроклиматических исследований не вызывает сомнений, поскольку с приземным слоем атмосферы связана среда обитания человека. Большое значение для целого ряда прикладных задач, в том числе для изучения опасных явлений (заморозки, засушливость, загрязнение воздуха), оценки дискомфорта состояний человека при различных погодных условиях, прогнозирования условий произрастания сельскохозяйственных культур и многих других имеют микроклиматические вариации метеорологического режима.

Проведение микроклиматических наблюдений на территории небольшого полигона и в контрастных условиях среды также имеет значимый аспект, связанный с моделированием процессов в приземном слое. Стремительное развитие вычислительных технологий и представлений о физических процессах в приземном слое воздуха и почве позволяет включать в современные климатические модели детальное описание механизмов обмена теплом, влагой, парниковыми газами, взаимодействия между приземным слоем воздуха и подстилающей поверхностью, почвой, растительными сообществами, урбанизированными территориями. Для их адекватного физического представления требуется целый набор данных о состоянии географической среды с высоким пространственным разрешением, представленных множеством различных параметров, полученных в ходе исследований эмпирическим или полуэмпирическим путем. Именно комплексные наблюдения за метеорологическим режимом приземного слоя и характеристиками окружающей среды, непосредственно оказывающими на него влияние, являются важнейшим источником информации для проверки и верификации разрабатываемых моделей. Таким образом, проводимые измерения стандартных метеорологических элементов, потоков тепла, влаги, импульса в различных растительных сообществах и на разных уровнях с высокой временной дискретностью позволяют внести существенный вклад в понимание физических процессов, управляющих микроклиматом приземного слоя и способствуют повышению качества их воспроизведения моделями.

В связи с необходимостью высокой пространственно-временной детализации микроклиматических наблюдений все большую актуальность приобретает внедрение современных автоматизированных методов измерений большинства метеорологических характеристик, позволяющих улавливать флуктуации масштаба менее 1 часа и исследовать ответственные за них физические процессы, в частности, тонкую структуру турбулентных потоков, их спектр, прохождение мезомасштабных погодных

систем (таких как линии шквалов, грозы, мезомасштабные комплексы и др.). В настоящее время существует большое разнообразие автоматических средств метеорологических измерений, различающихся по классу, области применения, точности. Среди успешно применяемых в рамках Сатинской практики – автоматическая метеорологическая станция (АМС) Davis VantagePro (<https://www.davis.com>), где помимо стандартных измерений температуры и влажности воздуха, скорости ветра и атмосферного давления возможно подключение датчиков солнечной радиации, температуры и влажности почвы, влажности листвы и др. [Константинов, 2014]. АМС более высокого, профессионального уровня активно применяются в экспедиционных исследованиях горных и труднодоступных районов, при экстремальных погодных условиях, например такие как: Campbell Scientific MetPRO Research-Grade Meteorological Station (<https://www.campbellsci.com>), Vaisala AWS310 (<https://www.vaisala.com>) и Aanderaa AWS 2700 (<https://www.aanderaa.com>). В рамках Сатинской практики и экспедиций кафедры широкое применение нашли надежные и компактные датчики температуры (имеются модели и с датчиком влажности) iButton (<https://www.maximintegrated.com/en.html>), а также датчики TinyTags (<https://www.geminidataloggers.com/>) в качестве более точной и надежной альтернативы. Одним из удобных приборов, позволяющих проводить измерения температуры поверхности со сколь угодно малой пространственной детализацией (сантиметры) является пирометр, определяющий поток инфракрасной радиации, излучаемой поверхностью. Температура далее автоматически рассчитывается согласно известному закону Стефана-Больцмана. Расширение этой приборной базы может послужить хорошей материальной основой для проведения комплексных наблюдений за окружающей средой в рамках возможных совместных изысканий с географами других специальностей.

Актуальным направлением комплексных исследований на Сатинском полигоне является оценка различных климатических ресурсов, в частности, биометеорологических индексов, описывающих комфортность погодных и климатических условий для человека и общества в целом.

Известно, что климат и совокупность различных его показателей можно рассматривать как природный ресурс. Непосредственно климатические ресурсы можно определить как «запасы энергии, вещества и информации в климатической системе, ... которые используются или могут быть использованы для решения конкретной задачи в экономике или социальной сфере» [Энциклопедия ..., 2005]. Индексы эффективных температур, холодового стресса, суровости климата, комфортности, продолжительности волн тепла и холода и др. находят широкое применение в энергетике, экологии, медицине, курортологии, рекреации, спорте, обеспечении безопасности работ и т. п. Комплексная оценка ресурсного потенциала может выполняться с

учетом биологической продуктивности, экономического эффекта, их социальной значимости [Суркова, 2017]. Существует много подходов к типизации биоклиматических индексов, например, А.А. Исаев [Исаев, 2001] разделяет их на группы в зависимости от сочетания описываемых ими метеорологических величин, выделяя при этом температурно-влажностные, температурно-ветровые и температурно-влажностно-ветровые типы индексов. Особенности физиологии человека учитываются при расчете комплексного индекса комфортности – физиологически эквивалентной температуры (РЕТ), широко используемой в зарубежной биоклиматологии [Matzarakis et al., 2007].

Метеорологические измерения, проводимые учащимися в рамках летней Сатинской общегеографической практики и в периоды специальных экспедиций, служат основой в том числе и для оценки индексов климатического потенциала, что служит демонстрацией прикладных составляющих метеорологических исследований для студентов.

Главной задачей данной статьи является рассмотрение основных существующих подходов к исследованию микроклимата, реализуемых на Сатинском полигоне, в том числе и в рамках практики (с приведением нескольких примеров). Выдвигаются предложения по внедрению и развитию новой современной приборной базы для наблюдений и возможной постановке новых научно-исследовательских задач на основе комплексного подхода.

В первой части работы рассматривается типизация микроклиматов Сатинского полигона с обоснованием ее методики. Далее приводятся некоторые результаты микроклиматических исследований, проведенных в том числе в зимний период в рамках экспедиций Научного студенческого общества кафедры метеорологии и климатологии МГУ им. М.В. Ломоносова. В заключении сформулированы выводы по полученным результатам и описаны возможные перспективы проведения комплексных исследований.

**Материалы и методы исследований.** Многолетние полевые исследования сотрудников и студентов кафедры метеорологии и климатологии, а также географического факультета МГУ в рамках общегеографической практики и отдельных экспедиций кафедры легли в основу типизации микроклиматов территории Сатинского полигона. Для летних условий эта работа была выполнена на основе наблюдений за режимом температуры и влажности, для зимних – по характеристикам снежного покрова.

*Типизация микроклиматов Сатинского полигона для летних условий.* Сатинский полигон характеризуется значительным разнообразием условий рельефа и большой пестротой растительного покрова, что проявляется в заметных различиях метеорологического режима как в воздухе, прилежащем к земной поверхности, так и на самой поверхности и в верхних слоях почвы (открытых участках), а также под пологом леса (от подстилки до вершины крон). Такое разнообразие требует мето-

дического подхода к систематизации различных типов местоположений, характеризующихся схожими микроклиматическими условиями.

Следующие принципы были положены в основу классификации микроклиматов Сатинского полигона для летнего периода, когда их различия проявляются наиболее ярко.

В первую очередь, для проведения типизации выбирается так называемый «опорный» участок, который лучше всего соответствует климатическому фону окружающего ландшафта. Применительно к Сатинскому полигону в этом качестве использовались участки открытого луга или посева зерновых на междуречье (например, Дедюевский холм, Бутовский холм). Далее метеорологические показатели с других участков, используемых для типизации, сравниваются с соответствующими значениями на опорном участке, и вычисляются разности между ними. Полученные разности группируются по грациям, каждой из которых присваивается название (например, «умеренно теплый», «влажный» и др.).

Необходимо отметить, что в результате тщательного анализа базы данных было отобрано 34 дня наблюдений. Выборка по различным местоположениям варьирует в зависимости от частоты наблюдений за указанные дни (в пределах 25–45 случаев) в соответствующих точках.

Данная методика была применена к имеющейся базе данных наблюдений за 1980–2005 гг. за летние сезоны при различных условиях погоды для дней, когда съемка охватывала практически все основные формы рельефа и типы растительности. В качестве основных показателей, характеризующих метеорологический режим каждого участка, брались температура воздуха и парциальное давление водяного пара, как наиболее важные для характеристики свойств приземного слоя атмосферы и описания гидротермических условий местоположения, а также измеряемые с наименьшими погрешностями. Наблюдения проводились в дневное время (с 10 ч до 18 ч) каждые полчаса. Измерялись температура и влажность воздуха на высоте 0,25 и 1,25 м над поверхностью земли, температура поверхности почвы с естественным растительным покрытием, а также на глубине 0,1 м, скорость ветра на высоте 1 м.

Для дальнейшего выделения типов летних микроклиматов на выбранных участках полигона были вычислены средние многолетние отклонения значений температуры и парциального давления водяного пара от «опорных» величин, средних для междуречий. Микроклиматический режим междуречий получил название «теплый» по температурным показателям и «слабо влажный» по содержанию водяного пара. Отклонения температуры и влажности на других участках от соответствующих значений были сгруппированы по грациям, результаты систематизации обсуждаются далее – в разделе, посвященном результатам.

*Типизация участков Сатинского полигона по характеристикам снежного покрова.* Микрокли-

матические различия сохраняются на Сатинском полигоне и в зимний период. Влияние растительного покрова проявляется, например, в ослаблении радиации при проникновении под полог леса. В отличие от летнего периода, зимой самые холодные участки – пойма и открытые пространства между речий, самые теплые, как и летом, – склоны южной экспозиции. Стоит отметить, что в целом пространственные различия температурного режима разных участков меньше, чем летом.

Важнейшим метеорологическим элементом, формирующим микроклиматические особенности тепло- и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой в зимний период, является снежный покров. Изучение распределения его высоты и плотности в зависимости от типа ландшафта является необходимым для лучшего понимания процессов снегоотложения, метелевого переноса и прочих, формирующих микроклиматические различия.

Данные многочисленных снегомерных съемок на Сатинском полигоне в ходе экспедиций НСО кафедры метеорологии и климатологии были обобщены и использованы в качестве основы карты высоты и плотности снежного покрова. Для взаимного сравнения рассматриваемых участков Сатинского полигона рассчитывалось отношение высоты снежного покрова, плотности и влагозапаса на каждом из них к соответствующим значениям данных показателей на опорных участках «поле», «междуречье». Таким образом, подход с применением полученных коэффициентов позволяет в дальнейшем количественно оценивать характеристики снежного покрова для разных местоположений. Для этого будет достаточно проводить снегомерную съемку только на опорном участке и, используя известные соотношения, рассчитывать высоту, плотность и влагозапас снега для остальных типов.

*Теплообмен атмосферой с подстилающей поверхностью в зимних условиях.* Одним из ключевых направлений полевых исследований на Сатинском полигоне в зимний период, помимо стандартной микроклиматической съемки, явились измерения и расчеты компонентов теплового баланса – потоков явного скрытого тепла над снегом на открытых и залесенных участках. Расчеты потоков

могут проводиться различными методами – теплового баланса, Мони́на–Обухова и др. [Матвеев, 2000; Монин, Яглом, 1992]. Подобные вычисления требуют наличия данных измерений температуры поверхности и в толще снега, радиационного баланса, температуры и влажности воздуха. Исследование различий в структуре теплового баланса, его суточной изменчивости и зависимости от фоновых погодных условий позволяет лучше описывать процессы теплообмена заснеженной поверхности с атмосферой в мезомасштабных моделях прогноза погоды и, соответственно, стремиться к более адекватному воспроизведению термического режима приземного слоя в зимний период. Проведенные в рамках зимней экспедиции 2009 г. измерения позволили рассчитать потоки явного и скрытого тепла методом теплового баланса. Данные наблюдений за снежным покровом и рассчитанные значения потоков тепла были использованы для тестирования одномерной модели тепловлагопереноса в почве и взаимодействия ее с атмосферой ИВМ РАН [Мачульская, Лыкосов, 2002; Володин с соавт., 2017], являющейся одной из ведущих в мире в своем классе. Численные эксперименты с использованием этой модели выполнялись с учетом начальных и граничных условий, характерных для различных местоположений Сатинского полигона.

**Результаты исследований и их обсуждение.**

*Летний период.* Рассмотрим полученную типизацию микроклиматов Сатинского полигона для летних условий. Было выявлено 8 типов метеорологических режимов как по температуре, так и по влажности воздуха с интервалом градаций 1,0°C и 1,0 гПа (табл. 1). Выделенные интервалы обосновывались статистическим анализом базы данных с учетом погрешностей измерений, различий между аналогичными местоположениями, ошибок осреднения и возможных вариаций метеорологических условий. Они дают представление о средней дневной пространственной неоднородности метеорологического режима для различных сочетаний температуры и влажности в сложных условиях рельефа и растительного покрова.

Из табл. 1 следует, что градаций с положительными отклонениями температуры от значений на

Таблица 1

**Типы режимов температуры и влажности по средним за день отклонениям для Сатинского полигона, летние условия**

Температура воздуха		Влажность воздуха	
Градации отклонений $\delta t$ , °C	Тип	Градации отклонений $\delta e$ , гПа	Тип
>+1,0	жаркий	>+3,0	переувлажненный
+0,2...+1,0	очень теплый	+2,1...+3,0	очень влажный
0,0...±0,1	теплый	+1,1...+2,0	влажный
-0,2...-1,0	умеренно теплый	+0,2...+1,0	умеренно влажный
-1,1...-2,0	прохладный	0,0...±0,1	слабо влажный
-2,1...-3,0	умеренно холодный	-0,2...-1,0	умеренно сухой
-3,1...-4,0	холодный	-1,1...-2,0	сухой
>-4,0	очень холодный	>-2,0	очень сухой

междуречье меньше (две градации), чем градаций с отрицательными отклонениями (пять градаций). Это обусловлено разнообразием рельефа и растительного покрова на территории полигона, по-разному «ослабляющих» поступление солнечной радиации к подстилающей поверхности, что приводит к большой дифференциации отрицательных отклонений температуры.

Среди типов режимов влажности большее число градаций получилось для положительных отклонений. Причина в том, что при достаточном количестве осадков воздух в лесах и в отрицательных формах рельефа оказывается более влажным по сравнению с «опорным» участком, что приводит к разным условиям испарения и транспирации и, как следствие, к различному влагосодержанию воздуха.

Итоговые материалы легли в основу классификации летних микроклиматических режимов, наиболее типичных для Сатинского полигона. Генерализация физико-географических условий, сочетание различных градаций, оценка достоверности различий метеорологического режима позволила в итоге выделить 6 основных типов микроклимата рассматриваемой территории (табл. 2).

Полученная классификация была взята за основу при создании карты микроклиматов Сатинского полигона для летних условий (рис. 1). Для проведения границ участков с различным микроклиматическим режимом были использованы топографическая, геоботаническая и геоморфологическая карты мас-

штаба 1:15 000, выполненные на кафедре картографии и геоинформатики географического факультета МГУ и согласованные с кафедрами геоморфологии и палеогеографии, а также биогеографии. Данные, приведенные в табл. 2, обобщены в легенде к карте. Подробное описание каждого из типов микроклимата приведено в работе Несмеловой [1992], *Общегеографической практике ...* [2007].

*Зимний период.* По данным снегомерных съемок были вычислены соотношения основных характеристик снежного покрова для различных местоположений полигона относительно междуречья (табл. 3). Полученные значения рассматривались как средние, типичные для указанных местоположений в пределах полигона, поскольку относительные величины значительно меньше зависят от конкретных условий снегонакопления в текущем году. Видно, что наибольшая высота снежного покрова (до 40 см) наблюдается для садов, болот, полей, мелколиственных лесов. Средняя высота снежного покрова на полях составляет около 35 см. Минимальные зафиксированные значения характерны для еловых, а также густых смешанных лесов, в составе которых есть хвойные породы. Максимальной измеренной плотности снег достигает в пределах поля; большие значения характерны для поймы р. Протвы, березовых лесов, наименьшие установлены на болотах и в садах.

В рамках экспедиции НСО кафедры метеорологии и климатологии в 2009 г. проводился анализ результатов маршрутных снегомерных съемок с це-

Таблица 2

## Типизация микроклиматов Сатинского полигона для летнего периода по средним многолетним данным

Местоположение	Индекс на карте (рис. 1)	Типы			
		По теплу	По влажности		
Междуречья, поля, луга	1а	теплый	слабо влажный		
Пойма, луг	1б	теплый	умеренно влажный		
Склоны южной экспозиции, луг	1в	очень теплый	умеренно сухой		
Склоны северной экспозиции, луг	1г	прохладный	умеренно влажный		
Река, над водой у берега	2	прохладный	влажный		
Заболоченные понижения и расширенные участки днищ балок, большие поляны, молодые вырубки	3	очень теплый	влажный		
Леса смешанные и лиственные – на междуречье и пойме – на склонах: южной экспозиции северной экспозиции	4а } 4б } 4в }	умеренно холодный	влажный		
Леса хвойные – на междуречье сухие влажные	4г			холодный	умеренно влажный
– на склонах южной экспозиции, сухие; южной экспозиции, влажные	4д			умеренно холодный	умеренно влажный
северной экспозиции		нет данных	нет данных		
Лесные балки, днище	5	холодный	очень влажный		
Лесные овраги, тальвег, днище	6	очень холодный	очень влажный		



1а	Теплый, слабо влажный (поля и луга на междуречье)
1б	Теплый, умеренно влажный (поля и луга на пойме)
1в	Очень теплый, умеренно сухой (луга на склоне южной экспозиции)
1г	Прохладный, умеренно влажный (луга на склоне северной экспозиции)
2	Прохладный, влажный (река, урез воды)
3	Очень теплый, влажный (болота, расширенные участки балок, западины, большие поляны, молодые вырубки)
4а, 4б, 4в	Умеренно холодный, влажный (лес смешанный и лиственный: а - междуречье и пойма; б, в - склоны южной и северной экспозиции)
4г, 4д	Умеренно холодный, влажный (лес хвойный: г - междуречье, пойма, д - склоны)
5	Холодный, очень влажный (лесные балки, днище)
6	Очень холодный, очень влажный (лесные овраги, днище)

Рис. 1. Карта микроклиматов Сатинского полигона (Е.И. Несмелова, Г.В. Суркова). Масштаб 1:15 000

Fig. 1. Microclimates map of the Satino field base (E.I. Nesmelova, G.V. Surkova). Scale 1:15 000. Legend to the microclimate map

Таблица 3

Отношение высоты снежного покрова ( $K_h$ ), плотности ( $K_{\text{плот}}$ ) и влагозапаса ( $K_{\text{влаг}}$ ) для разных местоположений Сатинского полигона к значениям этих показателей для опорного участка «поле, междуречье»

№	Участки	$K_h$	$K_{\text{плот}}$	$K_{\text{влаг}}$
1	леса еловые	0,73	0,68	0,79
2	склоны залесенные, южной экспозиции, мелколиственные	0,77	0,72	0,98
3	склоны незалесенные южной экспозиции	0,77	–	–
4	пойма Протвы	0,78	0,89	1,03
5	леса смешанные (ель+береза)	0,80	0,79	0,90
6	склоны залесенные северной экспозиции (ель+береза)	0,88	0,80	0,97
7	тальвеги и днища оврагов	0,91	0,79	1,09
8	березовые леса	0,94	0,91	0,85
9	вырубки (мелколиственный молодой лес)	0,96	0,79	1,11
10	пойма Исьмы	0,98	0,84	1,13
11	склоны залесенные северной экспозиции, мелколиственные	0,89	0,85	0,93
12	склоны залесенные южной экспозиции (ель+береза+подлесок)	0,99	0,84	1,16
13	поле, междуречье	1,00	1,00	1,00
14	кустарник	1,02	0,73	0,88
15	склоны залесенные восточной экспозиции (ель+осина)	1,04	–	–
16	склоны незалесенные северной экспозиции	1,04	–	–
17	склоны залесенные западной экспозиции (мелколиственные)	1,06	–	–
18	опушки	1,06	–	–
19	леса смешанные, мелколиственные	1,08	0,72	0,99
20	болота	1,12	0,26	0,60
21	поляны	1,19	–	–
22	сад	1,23	0,47	0,90

люю оценки теплообмена полигона с атмосферой. Была рассчитана повторяемость высот снега в различных ландшафтах полигона, кроме того, на основе классификации местоположений микроклиматов Сатинского полигона была построена карта распределения средних высот и плотностей снежного покрова по ландшафтам полигона, которая может быть использована в учебных и образовательных целях (рис. 2).

Наблюдения и расчеты компонентов теплового баланса, проведенные в рамках экспедиции НСО в 2009 г. на Сатинском полигоне в пределах открытого и залесенного участков, позволили установить, что, согласно методу теплового баланса, лесной полог в несколько раз (от 3 до 8) снижает величины потоков. Влияние синоптических условий для лесной точки прослеживается слабее, чем для открытой; значения потоков увеличиваются в периоды

ясной погоды и выхолаживания. Ход суммы потоков явного и скрытого тепла в основном повторяет динамику радиационного баланса, а расхождения наблюдаются, как правило, в случаях сильной адвекции (около  $10^{\circ}\text{C}$  за сутки) и существенном отрицательном потоке тепла в снег. Поток тепла в снег в основном небольшой, но в отдельные сроки сравним с радиационным балансом (от  $-40$  до  $30 \text{ Вт/м}^2$ ). Подобные ситуации были зафиксированы на открытом участке в случаях сильной адвекции тепла и холода, а также иногда при больших значениях баланса.

Последующее сравнение данных наблюдений за снежным покровом и потоками тепла было использовано для верификации расчетов одномерной термодинамической модели ИВМ РАН [Мачульская, Лыкосов, 2002; Володин с соавт., 2017]. Совокупный анализ результатов полевых исследований и мо-

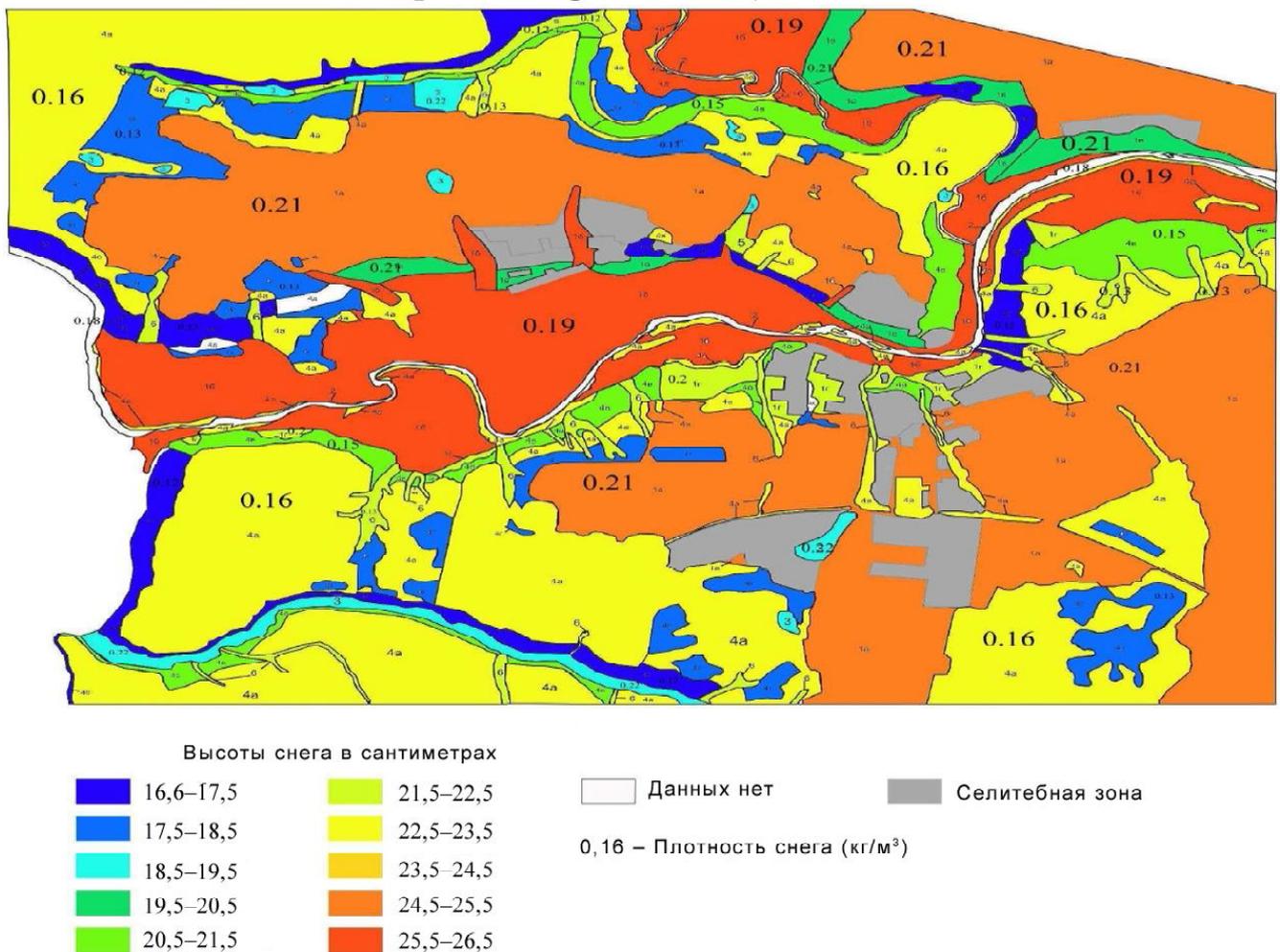


Рис. 2. Распределение средних значений высоты и плотности снежного покрова на полигоне по результатам маршрутных снегомерных съемок 26–31.01.2009 г.

Fig. 2. Distribution of the average values of snow height and density on the field base according to the results of snow-measuring surveys on 26–31.01.2009

делирования показал, что модель хорошо воспроизвела реальные значения физических характеристик снега (высоты и температуры поверхности) и может считаться адекватным инструментом для получения полей компонентов теплового баланса и характеристик подстилающей поверхности (снега) в дальнейших исследованиях. В ходе моделирования турбулентных потоков в масштабах Сатинского полигона было установлено, что модель уловила несоответствия в значениях турбулентных потоков, обусловленные различиями в подстилающей поверхности и типе растительности, причем наибольшее сходство с реальностью достигается в условиях слабой неустойчивости приземного слоя.

**Выводы:**

– результаты исследований микроклиматических различий на Сатинском полигоне на современном этапе заключаются в сформировавшихся представлениях о типичном режиме температуры и влажности, а также распределения характеристик снежного покрова в зависимости от разнообразного

сочетания условий и характеристик рельефа, растительности и других компонентов ландшафта. Дальнейшие исследования на Сатинском полигоне целесообразно развивать с использованием комплексного подхода к измерениям на основе современных, в том числе автоматизированных измерительных комплексов и привлечения компьютерного моделирования метеорологических процессов микро- и мезомасштаба. Такой подход является актуальным в свете текущего развития приборной и наблюдательной базы, научных представлений о физических закономерностях переноса энергии, биомассы, химических элементов в почве и приземном слое в результате взаимодействия компонентов природной среды, актуальности оценок климатических ресурсов и биоклиматической комфортности среды для человека. Важной областью применения результатов таких работ является моделирование процессов тепло-, влаго- и массообмена, с верификацией по данным полевых наблюдений. В широкой перспективе данный подход применим к использованию

в моделях Земной системы, в том числе для оценок состояния природной среды в других регионах;

– с учетом опыта многолетних исследований на Сатинской УНС в качестве одного из перспективных направлений комплексных исследований следует указать наблюдение за процессами тепло- и влагообмена, потоками парниковых газов в различных контрастных местоположениях на полигоне с учетом полных данных о фитоценозе, почвенном покрове, рельефе. В России существуют единичные примеры реализации подобных комплексных систем наблюдений различной оснащенности и входящих в международные сети мониторинга (Международная совместная программа комплексного мониторинга воздействий загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) (International Co-operative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM)), [http://www.igce.ru/page/icp\\_im](http://www.igce.ru/page/icp_im)). На практике полученные результаты могли бы применяться в различных работах – от исследования ландшафтно-геохимических барьеров до особенностей формирования стоков наносов, а также моделирования различных типов экосистем на основе максимально подробной эмпирической информации [Oltchev et al., 1997; Ольчев с соавт., 2008, 2017];

– в качестве перспективного метода получения комплексной информации об окружающей среде в свете развития суперкомпьютерных технологий и физико-математического описания процессов в климатической системе в целом необходимо использо-

вать моделирование климата, в первую очередь на региональном масштабе. Данный подход может стать консолидирующим методом, на базе которого могут быть объединены географические и экологические науки, ставящие своей целью описание и прогноз состояния природной среды и, в частности, климатической системы. Результаты климатического моделирования могут быть использованы для самых разнообразных оценок компонентов ландшафта, во многом определяемых климатическими ресурсами. Актуальность такого подхода подкрепляется тем, что происходящие и прогнозируемые изменения климата очевидно ведут к значительным откликам и в других компонентах географической оболочки, и требуют всесторонней оценки [Кислов А.В. с соавт., 2019];

– кафедра метеорологии и климатологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова имеет успешный опыт применения регионального моделирования климата высокого разрешения (с горизонтальным шагом в первые км) на длительные периоды времени (первые десятилетия) при помощи региональной негидростатической модели COSMO-CLM [Варенцов с соавт., 2017; Platonov et al., 2017a,b]. Использование данной технологии является перспективным, например, для воспроизведения мезоклиматических особенностей климата Калужской области, а также валидации модели на данных комплексных наблюдений, проводимых на Сатинской УНС.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № АААА-А16-116032810086-4.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Варенцов М.И., Самсонов Т.Е., Кислов А.В., Константинов П.И. Воспроизведение острова тепла Московской агломерации в рамках региональной климатической модели COSMO-CLM // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: Геогр. 2017. № 6. С. 25–37.
- Вельтищев Н.Ф., Степаненко В.М. Мезометеорологические процессы. М., 2006. 101 с.
- Володин Е.М., Мортиков Е.В., Кострыкин С.В., Галин В.Я., Лыкосов В.Н., Грицун А.С., Дианский Н.А., Гусев А.В., Яковлев Н.Г. Воспроизведение современного климата в новой версии модели климатической системы ИВМ РАН // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 2. С. 164–178.
- Исаев А.А. Экологическая климатология. М., Научный мир, 2001. 458 с.
- Кислов А.В., Торопов П.А., Платонов В.С., Ольчев А.В., Варенцов М.И. Региональное моделирование климата для географического анализа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5: Геогр. 2019. № 5. С. 3–12.
- Константинов П.И. Инновационная практика по метеорологии и климатологии. М.: 2014. 71 с.
- Матвеев Л.Т. Физика атмосферы. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 752 с.
- Мачульская Е.Е., Лыкосов В.Н. Моделирование термодинамической реакции вечной мерзлоты на сезонные и межгодовые вариации атмосферных параметров // Физика атмосферы и океана. 2002. Т. 38. № 1. С. 20–33.
- Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика. В 2-х т. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 695 с.
- Несмелова Е.И., Филиппова М.Г. Микроклиматология: Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 186 с.
- Несмелова Е.И. Микроклимат Сатинского полигона. М.: Изд-во МГУ, 1992. 74 с.
- Общегеографическая практика в Подмоскowie / Под ред. Г.И. Рычагова. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 360 с.
- Ольчев А.В., Курбатова Ю.А., Варлагин А.В., Выгодская Н.Н. Модельный подход для описания переноса CO<sub>2</sub> между лесными экосистемами и атмосферой // Лесоведение. 2008. № 3. С. 3–13.
- Ольчев А.В., Мухартова Ю.В., Левашиова Н.Т., Волкова Е.М., Рыжова М.С., Манура П.А. Влияние пространственной неоднородности растительного покрова и рельефа на вертикальные потоки CO<sub>2</sub> в приземном слое атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 5. С. 612–623.
- Суркова Г.В. Климатические ресурсы и их прогнозируемые изменения в XXI веке в России. Диссертация на соискание уч. степени докт. геогр. наук. М., 2017. 287 с.
- Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова / Под ред. Н.В. Кобышевой, К. Ш. Хайруллина. СПб.: Гидрометеоздат, 2005. 319 с.
- Matzarakis A., Rutz F., Mayer H. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Application of the RayMan model // International Journal of Biometeorology. 2007. Vol. 51. P. 323–334.
- Oltchev A., Constantin J., Gravenhorst G., Ibrom A. A six-layer SVAT model for a simulation of water vapour and sensible heat fluxes in a spruce forest // Journal of Hydrology and Hydromechanics. 1997. Vol. 45. P. 5–37.

*Orlanski I.* A rational subdivision of scales for atmospheric processes // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1975. Vol. 56. S. 5. P. 527–530.

*Platonov V., Kislov A., Rivin G., Varentsov M., Rozinkina I., Nikitin M., Chumakov M.* Mesoscale atmospheric modelling technology as a tool for creating a long-term meteorological dataset // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2017(a). Vol. 96. DOI: 10.13140/RG.2.2.12263.24484

*Platonov V.S., Konstantinov P.I., Varentsov M.I., Samsonov T.Ye., Chubarova N.Ye., Zhdanova E.Yu.* Technology of creating a long-term data archive of meteorological and radiation fields with high spatial and temporal resolution for the Moscow region // *Report series in aerosol science, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Conference and the 7th PEEX Meeting*. Helsinki. 2017(b). Vol. 201. P. 391–394.

Поступила в редакцию 06.04.2018

После доработки 01.09.2018

Принята к публикации 28.06.2019

**V.S. Platonov<sup>1</sup>, G.V. Surkova<sup>2</sup>, P.I. Konstantinov<sup>3</sup>**

### MICROCLIMATE OF THE SATINO TEACHING AND RESEARCH FIELD STATION MSU

The article provides an overview of the results of studying the microclimate of the Satino research station, typical behavior and distribution of the most important meteorological variables depending on the diverse combinations of conditions and characteristics of relief, vegetation and other landscape components. There are considered the principal existing approaches of microclimate investigation, implemented at the Satino research station, in particular, for the students' field training, as well as methods of surface layer study, including the application of automatic measurement complexes. It is proposed to introduce and develop a novel modern instrumental base and new research activities based on an integrated approach. Computer modeling of micro- and mesoscale meteorological processes is the most important area of research development, because it allows considering the complete information about landscape components obtained as a result of complex observations of faculty's departments at the Satino research station. The examples include observations on the heat and moisture exchange processes and the greenhouse gas fluxes within several contrasting locations, taking into account data about phytocenosis, soil type and relief on different scales. In addition, high-resolution regional climate modeling could be a consolidating method of the geographical and environmental sciences aimed to understand and predict environment state and, in particular, the climate system. The results of climate modeling could be used for a wide variety of landscape components assessment, largely determined by climatic resources, in particular, under the climate change.

*Key words:* microclimatic studies, classification of microclimates, automatic meteorological stations, automatic measurements, microclimate modeling, regional climate modeling

*Acknowledgements.* The study was carried out under the state scientific task № AAAA-A16-116032810086-4.

#### REFERENCES

Enciklopediya klimaticheskikh resursov Rossiyskoy Federacii [Encyclopedia of Climate Resources of Russian Federation] / Feder. sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy, Gl. Geofiz. observatoriya im. A.I. Voeykova; ed. by N.V. Kobysheva, K.Sh. Khayrullin. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. 319 p. (in Russian)

*Isaev A.A.* Ekologicheskaya klimatologiya [Ecological climatology] M.: Nauchnyi mir, 2001. 458 p. (in Russian)

*Konstantinov P.I.* Innovacionnaya praktika po meteorologii i klimatologii [Innovation training in meteorology and climatology]. M., 2014. 71 p. (in Russian)

*Machulskaya E.E., Lykossov V.N.* Modelirovanie termodinamicheskoi reakcii vechnoi merzloty na sezonnye i mezhgodovye variacii atmosferykh parametrov [Modelling of the permafrost thermodynamic response to the seasonal and interannual

variations of atmospheric parameters] // *Fizika atmosfery i okeana*. 2002. Vol. 38. № 1. P. 20–33. (in Russian)

*Matveev L.T.* Fizika atmosfery [Physics of the atmosphere]. SPb.: Gidrometeoizdat, 2000. 752 p. (in Russian)

*Matzarakis A., Rutz F., Mayer H.* Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Application of the RayMan model // *International Journal of Biometeorology*. 2007. Vol. 51. P. 323–334.

*Monin A.S., Yaglom A.M.* Statisticheskaya gidromekhanika [Statistical hydromechanics] (2 Volumes). SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. 695 p. (in Russian)

*Nesmelova E.I.* Mikroklimat Satinskogo poligona [Microclimate of the Satino field base]. M.: Izdatelstvo MGU, 1992. 74 p. (in Russian)

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail:* vplatonov86@gmail.com

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Associate Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* galina.surkova@gmail.com

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Senior Assistant, PhD. in Geography; *e-mail:* kostadini@mail.ru

*Nesmelova E.I., Filippova M.G.* Mikroklimatologia. Uchebnoe posobie [Microclimatology. Tutorial]. M.: Geograficheskiy fakultet MGU, 2006. 186 p. (in Russian)

Obshchegeograficheskaya praktika v Podmoskovie [General geographical practice in the Moscow region] / Ed. by G.I. Rychagov. M.: Geogr. fakultet MGU, 2007. 360 p. (in Russian)

*Oltchev A., Constantin J., Gravenhorst G., Ibrom A.* A six-layer SVAT model for a simulation of water vapour and sensible heat fluxes in a spruce forest // *Journal of Hydrology and Hydromechanics*. 1997. Vol. 45. P. 5–37.

*Oltchev A.V., Kurbatova Yu.A., Varlagin A.V., Vygodskaya N.N.* Modelnyi podkhod dlya opisaniya perenosa CO<sub>2</sub> mezhdru lesnymi ekosistemami i atmosferoi [Model approach to the description of CO<sub>2</sub> transfer between forest ecosystems and the atmosphere] // *Lesovedenie*. 2008. № 3. P. 3–13. (in Russian)

*Oltchev A.V., Mukhartova Yu.V., Levashova N.T., Volkova E.M., Ryzhova M.S., Mangura P.A.* Vliyaniye prostranstvennoi neodnorodnosti rastitel'nogo pokrova i reliefa na vertikalniye potoki CO<sub>2</sub> v prizemnom sloe atmosfery [Influence of the spatial heterogeneity of vegetation and relief on the vertical CO<sub>2</sub> fluxes at the atmospheric boundary layer] // *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*. 2017. Vol. 53. № 5. P. 612–623. (in Russian)

*Orlanski I.* A rational subdivision of scales for atmospheric processes // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1975. Vol. 56. S. 5. P. 527–530.

*Platonov V.S., Konstantinov P.I., Varentsov M.I., Samsonov T.Ye., Chubarova N.Ye., Zhdanova E.Yu.* Technology of creating a long-term data archive of meteorological and radiation

fields with high spatial and temporal resolution for the Moscow region // Report series in aerosol science. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Conference and the 7<sup>th</sup> PEEX Meeting. Helsinki, 2017(b). Vol. 201. P. 391–394.

*Platonov V., Kislov A., Rivin G., Varentsov M., Rozinkina I., Nikitin M., Chumakov M.* Mesoscale atmospheric modelling technology as a tool for creating a long-term meteorological dataset // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2017(a). Vol. 96. DOI: 10.13140/RG.2.2.12263.24484

*Surkova G.V.* Klimaticheskie resursy i ih prognoziруemye izmeneniya v XXI veke v Rossii [Climate resources and their projected changes in the 21<sup>st</sup> century in Russia]. Dissertation for the degree of Doctor of Science. 2017. 287 p. (in Russian)

*Varentsov M.I., Samsonov T.Ye., Kislov A.V., Konstantinov P.I.* Vosproizvedeniye ostrova tepla Moskovskoy aglomeratsii v ramkah regional'noy klimaticheskoy modeli COSMO-CLM [Simulation of the urban heat island of Moscow agglomeration within the COSMO-CLM regional climate model] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.* 2017. № 6. P. 25–37. (in Russian)

*Veltishchev N.F., Stepanenko V.M.* Mesometeorologicheskie processy [Mesoscale atmospheric processes]. M., 2006. 101 p. (in Russian)

*Volodin Ye.M., Mortikov Ye.V., Kostykin S.V., Galin V.Ya., Lykossov V.N., Gritsun A.S., Diansky N.A., Gusev A.V., Yakovlev N.G.* Vosproizvedeniye sovremennogo klimata v novej versii modeli klimaticheskoy sistemy IVM RAN [Simulation of the modern climate by a new version of INM RAS climate system model] // *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*. 2017. Vol. 53. № 2. P. 164–178. (in Russian)

Received 06.04.2018

Revised 01.09.2018

Accepted 28.06.2019

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 502.51:504

П.А. Лозовик<sup>1</sup>, Н.Е. Галахина<sup>2</sup>**ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И НОРМИРОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА НИХ**

Действующий в настоящее время подход к оценке загрязненности водной среды не учитывает региональные особенности вод и не может отразить ее реальной картины. Для решения этой проблемы была разработана методика расчета регионального индекса загрязненности воды с использованием регионального фона элементов и их токсичности по критерию ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Для нормирования допустимой антропогенной нагрузки на водную среду предложено использовать показатель количества загрязненных вод, учитывающий как объем загрязненных вод, так и степень их загрязнения по приоритетным показателям. Данные подходы были апробированы на двух водных объектах – системе р. Кенти (Республика Карелия) и оз. Имандра (Мурманская область), подверженных антропогенному влиянию. Показано, что разработанные методики могут быть использованы для любых регионов и различных типов сточных вод.

*Ключевые слова:* фоновая концентрация, ПДК, система р. Кенти, оз. Имандра

**Введение.** Официальной методикой оценки загрязненности поверхностных вод в России является методика Росгидромета [РД 52.24.643-2002], включающая расчет комбинаторного и удельного комбинаторного индексов загрязненности воды (**КИЗВ** и **УКИЗВ**), а также установление критических показателей загрязненности (**КПЗ**). Ряд авторов [Lozovik, Kulakova, 2014; Двуреченская, Булычева, 2015; и др.] сходятся во мнении, что индексы, рассчитанные с учетом предельно допустимых концентраций (**ПДК**), значения которых являются единичными для всей территории Российской Федерации, не отражают реальной картины загрязненности воды, поскольку они не учитывают региональные особенности вод.

Оценка допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты является важной задачей, и она направлена на предотвращение их загрязнения и истощения. Нормирование сброса сточных вод в Российской Федерации в настоящее время осуществляется по методике [Методика ..., 2007] в соответствии с приказом МПР РФ № 333 от 17.12.2007 г. В этой методике нормирование касается только выпуска сточных вод, а состояние всего объекта при этом не учитывается. Расчет нормируемого допустимого сброса (**НДС**) в этой методике осуществляется исходя из принципа, чтобы концентрация загрязняющего вещества была на уровне ПДК в контрольном створе с учетом кратности разбавления сточных вод в этой точке.

При нормировании допустимого сброса загрязняющих веществ важным условием является правильный выбор компонентов, отражающих загрязнение водного объекта. Ряд специалистов предла-

гают нормировать только те вещества, для которых зафиксировано превышение ПДК [Савичев с соавт., 2009]. При этом необходимо помнить, что в поверхностных водах могут присутствовать вещества, природные (фоновые) концентрации которых выше ПДК. Учет такого рода компонентов в расчете НДС приводит к необоснованным санкциям к предприятию за сброс «загрязняющих» веществ природного происхождения.

Цель работы с учетом вышеизложенного заключалась в разработке методик оценки загрязненности водной среды с учетом регионального фона элементов и нормирования допустимого антропогенного воздействия на них токсическими веществами.

**Материалы и методы исследований.** До появления [РД 52.24.643-2002] оценку загрязненности вод проводили путем расчета индекса загрязнения воды (**ИЗВ**) согласно методическим рекомендациям [Временные методические ..., 1986]:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{6} \sum \frac{C_i}{\text{ПДК}_i},$$

где  $C_i$  – концентрация  $i$ -го компонента,  $\text{ПДК}_i$  – предельно допустимая концентрация  $i$ -го компонента, 6 – количество показателей, среди которых обязательными являются содержание  $\text{O}_2$  и величина  $\text{БПК}_5$ , а остальные выбираются по признаку наибольшей токсичности.

В работе [Лозовик, Платонов, 2005] была предложена методика расчета региональных ПДК (**РПДК**) с учетом геохимического фона элементов ( $C_{\text{фон}}$ ) для незагрязненных территорий и их токсичности с учетом ПДК для рыбохозяйственных

<sup>1</sup> Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», лаборатория гидрохимии и гидрогеологии, науч. с., докт. хим. н.

<sup>2</sup> Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», лаборатория гидрохимии и гидрогеологии, науч. с., канд. хим. н.; e-mail: kulakovanata@mail.ru

водоемов:  $\text{РПДК} \sqrt{C_{\text{фон}} \cdot \text{ПДК}_i}$ , если  $\text{ПДК} \gg C_{\text{фон}}$ ; для элементов, у которых фоновая концентрация одного порядка, что и ПДК, используется их сумма:  $\text{РПДК} = C_{\text{фон}} + \text{ПДК}$ . В некоторых водах  $C_{\text{фон}}$  может быть больше, чем ПДК. В частности, для поверхностных вод гумидной зоны характерно высокое содержание Fe, Mn, фенолов, и их наблюдаемые концентрации зачастую выше ПДК. Для этих веществ требуется специальная разработка РПДК и их не следует учитывать при оценке загрязненности вод.

Оценку загрязненности водных объектов предложено осуществлять по региональному индексу загрязненности воды (**РИЗВ**) на основе РПДК:

$$\text{РИЗВ} = \frac{1}{n} \sum \frac{C_i}{\text{РПДК}_i}$$

гично методике [Временные методические ..., 1986], но при этом учитываются только приоритетные загрязняющие вещества, у которых  $C_i \geq \text{РПДК}_i$ , а остальные, включая вещества, отражающие региональную специфику вод, во внимание не принимаются. На основании значений РИЗВ оценивается загрязненность воды по шкале, принятой для ИЗВ [Временные методические ..., 1986].

Для нормирования антропогенной нагрузки на водные объекты загрязняющими веществами предложена методика, учитывающая степень загрязненности этих объектов, оцениваемая по РИЗВ, и объем стока из них [Лозовик, Галахина, 2016]. В данной методике введено понятие количества загрязненных вод (КЗВ), рассчитываемое как произведение РИЗВ на среднегодовой сток из водного объекта ( $V_{\text{сток}}$ ):  $\text{КЗВ} = \text{РИЗВ} \cdot V_{\text{сток}}$ . Этот критерий показывает, какому количеству разбавленных загрязненных вод будет соответствовать РИЗВ = 1,0 или до какого объема следует разбавить загрязненные воды, чтобы РИЗВ стал равным 1,0.

С использованием предложенных методик выполнена оценка загрязненности подверженных ант-

ропогенному воздействию водных объектов системы р. Кенти (Республика Карелия) и оз. Имандра (Мурманская область), путем расчета ИЗВ и РИЗВ и их сопоставления, а также проведено нормирование допустимых нагрузок на эти объекты загрязняющими веществами.

#### Результаты исследований и их обсуждение.

Система р. Кенти находится под влиянием техногенных вод Костомукшского горно-обогатительного комбината (**ГОК**). Показателями, отражающими специфику производства и его воздействия на водную среду, являются  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Li и Ni [Кулакова, Лозовик, 2012; Lozovik, Kulakova, 2014]. Для этих компонентов с учетом их фоновых концентраций и ПДК были определены РПДК необходимые для расчета РИЗВ (табл. 1). В качестве  $C_{\text{фон}}$  использовались региональные концентрации этих компонентов, установленные для поверхностных вод Республики Карелия, не подверженных антропогенному воздействию [Лозовик, 2006].

Согласно ИЗВ, все водоемы системы р. Кенти, за исключением «умеренно загрязненного» оз. Окуневое, относятся к категории «чистых», оз. Среднее Куйто – «очень чистое» (табл. 1). Что касается РИЗВ, то их значения существенно отличаются от ИЗВ и по ним выявлена высокая степень загрязнения верхних озер системы и слабая – нижних, что согласуется с данными гидробиологических наблюдений системы р. Кенти [Куликова, Калинин, 2007].

Проведена оценка загрязненности воды системы р. Кенти по [РД 52.24.643-2002] на основе ПДК для рыбохозяйственных водоемов и РПДК с использованием следующих показателей качества воды: содержание  $\text{O}_2$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , Li, Mn,  $\text{Fe}_{\text{общ}}$ , Ni, Al, Cu и величина БПК<sub>5</sub>. Расчеты показали, что при использовании ПДК загрязнение выявляется только по веществам, отражающим региональную специфику вод (Mn) (табл. 2). Полученные результаты комбинаторного и удельного комбинаторного индексов загрязненности воды с уче-

Таблица 1

Содержание приоритетных показателей (по данным наблюдений 2009–2012 гг.) в системе р. Кенти и оз. Среднее Куйто, их ПДК и РПДК

	$\text{K}^+$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{NO}_3^-$	Li	Ni	ИЗВ	РИЗВ
	мг/л		мгN/л	мкг/л			
Оз. Окуневое	117	245	3,34	54	4,3	1,3	12,1
Оз. Поппалиярви	70	187	2,16	35	3,6	0,9	8,0
Оз. Койвас	35	77	0,76	18	0,8	0,4	3,5
Оз. Кенто	24	55	0,26	12	0,8	0,3	2,3
Оз. Среднее Куйто	2,1	5,0	0,05	2	0,3	0,03	0,3
$C_{\text{фон}}$	0,5	2,5	0,01	0,5	0,5		
ПДК	50	100	9,1	80	10		
РПДК	5	16	0,3	6,3	2,2		

Таблица 2

**Индексы загрязненности воды системы р. Кенти и оз. Среднее Куйто (среднеарифметические значения наблюдений 2009–2012 гг.)**

Озеро	КИЗВ	УКИЗВ	КПЗ	КИЗВ	УКИЗВ	КПЗ
	С учетом ПДК			С учетом РПДК		
Окуневое	52,3	3,7	1(Mn)	87,2	6,2	5(K <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Mn, Li)
Поппаллярви	44,1	3,2	1(Mn)	73,8	5,3	4(K <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Li)
Койвас	25,1	1,8	0	46,9	3,4	2(K <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> )
Кенто	36,5	2,6	1(Mn)	50,5	3,6	1(K <sup>+</sup> )
Среднее Куйто	29,2	2,0	0	6,0	0,4	0

Таблица 3

**Приоритетные показатели воды оз. Имандра [Антропогенные ..., 2002] и степень его загрязнения по ИЗВ и РИЗВ**

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Mn	Ni	Cu	ИЗВ	РИЗВ
	мг/л				мкг/л				
Большая Имандра	14,8	2,41	24,2	5,52	10,4	15	6,0	1,5	2,5
Июкостровская Имандра	12,5	2,30	21,2	5,0	5,5	10	4,5	1,1	1,8
Бабинская Имандра	6,99	1,36	11,8	2,84	1,5	4,0	3,0	0,6	0,9
ПДК	120	50	100	300	10	10	1,0		
РПДК	23	5	14	22	13	2,2	1,5		

том РПДК согласуются со значениями РИЗВ. Среди критических показателей загрязненности воды выявлены компоненты (K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Li), являющиеся приоритетными загрязнителями техногенных вод Костомукшского ГОК и их водоприемников.

Озеро Имандра – крупнейший водоем Мурманской области, подверженный многофакторному антропогенному воздействию целого ряда предприятий: горнодобывающей промышленности (ОАО «Апатит»), металлургической промышленности (Кольская ГМК, ОАО «Североникель»), железорудного производства (ОАО «Олкон»), энергетического комплекса (Кольская АЭС, Апатитская ТЭЦ, каскад Нивских ГЭС), а также хозяйственно-бытовых сточных вод городов [Валькова с соавт., 2012]. Водоем состоит из трех плесов: Большой, Июкостровской и Бабинской Имандры. Большая Имандра является самым загрязненным плесом, в который поступают сточные воды ОАО «Североникель», ОАО «Апатит» и Оленегорского ГОК [Валькова с соавт., 2012]. Медно-никелевый комбинат (ОАО «Североникель») – главный источник загрязнения оз. Имандра тяжелыми металлами. К приоритетным показателям его сточных вод можно отнести Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Mn, Ni и Cu, для которых с учетом регионального фона были рассчитаны РПДК. На основе ПДК и РПДК выполнена оценка загрязненности оз. Имандра по ИЗВ и РИЗВ (табл. 3). Индексы загрязненности воды оз. Имандра, рассчитанные по ПДК и РПДК, мало отличаются, что, по-видимому, связано с тем, что ПДК и РПДК по меди имеют близкие и низкие значения. При этом индексы закономерно уменьшаются от самого загрязненного плеса к самому чистому.

Расчеты КЗВ, выполненные для водоемов системы р. Кенти, показали близкие их значения независимо от месторасположения озер (вблизи выпусков

техногенных вод или вдали) (рис. 1). В среднем по системе КЗВ составляет 302 млн м<sup>3</sup>/год. Расчет КЗВ можно выполнить непосредственно и для сточных вод с учетом всех источников поступления загрязняющих веществ. Общий объем техногенных вод Костомукшского ГОК составляет 38,6 млн м<sup>3</sup>/год, а отвечающее им РИЗВ = 7,6, тогда КЗВ, рассчитанное для этих вод, будет достигать 293 млн м<sup>3</sup>/год. Это значение близко к КЗВ, рассчитанному для озер системы. Допустимое количество загрязненных вод (ДКЗВ) фактически приравнивается к объему стока из озера, когда РИЗВ = 1,0. Превышение количества загрязненных вод (ПКЗВ) дает разница между КЗВ и ДКЗВ. Из рис. 1 видно, что во всех озерах системы р. Кенти наблюдается превышение КЗВ.

Расчеты КЗВ и ДКЗВ для отдельных плесов оз. Имандра (рис. 2) показали, что превышение КЗВ наблюдается в Большой Имандре и Июкостровской

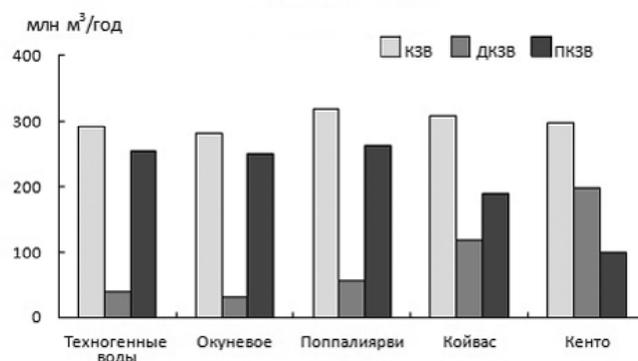


Рис. 1. Количество загрязненных вод, поступающих в систему р. Кенти

Fig. 1. The amount of contaminated water coming in the Kenti lake-river system

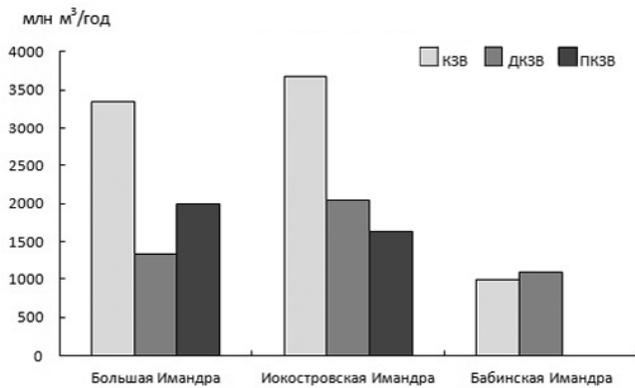


Рис. 2. Количество загрязненных вод, поступающих в оз. Имандра

Fig. 2. The amount of contaminated water coming in the Imandra Lake

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. М.: Наука, 2002. 399 с.

Валькова С.А., Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Сандимиров С.С. Структура и динамика сообществ зообентоса озера Имандра в зоне влияния медно-никелевого комбината // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. № 3. С. 23–40.

Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. Утв. Госкомгидрометом СССР 22.09.1986 г. № 250–1163. М., 1986. 5 с.

Двуреченская С.Я., Булычева Т.М. К вопросу о методических подходах к определению качества воды по интегральным показателям (на примере Новосибирского водохранилища) // Вода: химия и экология. 2015. № 10. С. 32–37.

Кулакова Н.Е., Лозовик П.А. Анализ влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду с учетом природно-техногенных факторов формирования и трансформации вод // Вода: химия и экология. 2012. № 2. С. 18–25.

Куликова Т.П., Калинин Н.М. Водоёмы района Костомукши. Озерно-речная система Кенти. Характеристика биоценозов. Зоопланктон // Состояние водных объектов Республики Карелия: по результатам мониторинга 1998–2006 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 115–124.

Лозовик П.А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию. Автореф. дисс. на соискание степени докт. хим. наук. М., 2006. 56 с.

Имандре, тогда как в Бабинской Имандре КЗВ не превышает допустимое благодаря большому разбавляющему эффекту в этой части озера.

#### Выводы:

– для надежной оценки загрязненности водных объектов и выявления последствий антропогенного влияния на них, помимо токсичности элементов по критерию ПДК, необходимо учитывать их региональный фон. Разработана методика расчета регионального индекса загрязненности воды;

– с использованием данных о степени загрязнения сточных вод и объема их поступления в водный объект представляется возможным нормировать их количество. Разработана методика нормирования допустимой антропогенной нагрузки на водные объекты. Показано, что она может быть использована для любых регионов и различных типов сточных вод.

Лозовик П.А., Галахина Н.Е. Последствия антропогенного влияния на водные объекты района Костомукши // Роль науки в решении проблем региона и страны: фундаментальные и прикладные исследования. Мат-лы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящ. 70-летию КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2016. С. 25–27.

Лозовик П.А., Платонов А.В. Определение региональных предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ на примере Карельского гидрографического района // Геоэкология. 2005. № 6. С. 527–532.

Методика разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные среды для водопользователей. Утв. МПР России от 17.12.2007 г. Приказ № 333. 41 с. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоздат, 2004. 50 с.

Савичев О.Г., Кузеванов К.И., Хвощевская А.А., Янковский В.В. Экологическое нормирование: методы расчета допустимых сбросов загрязняющих веществ в поверхностные водные объекты суши. Часть I. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 108 с.

Лозовик П.А., Кулакова Н.Е. Methodological approaches to pollution assessment in water bodies within the operation zone of mining plants // Water Resources. 2014. № 4. P. 464–472.

Поступила в редакцию 20.03.2019

После доработки 24.04.2019

Принята к публикации 24.05.2019

**P.A. Lozovik<sup>1</sup>, N.E. Galakhina<sup>2</sup>**

#### EVALUATION OF THE DEGREE OF WATER BODIES POLLUTION AND NORMALIZATION OF THE PERMISSIBLE ANTHROPOGENIC LOAD ON THEM

The current approach to assessing the pollution of the aquatic environment does not take into account regional characteristics of waters and cannot reflect its real picture. To solve this problem, a methodology was developed for calculating a regional water pollution index using the regional background concentrations of elements and their toxicity according to the MPC criterion for fishery reservoirs. To

<sup>1</sup> Northern Water Problems Institute, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Hydrochemistry and Hydrogeology, Scientific Researcher, D.Sc. in Chemistry

<sup>2</sup> Northern Water Problems Institute, Karelian Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Hydrochemistry and Hydrogeology, Scientific Researcher, PhD. in Chemistry; e-mail: kulakovanata@mail.ru

normalize the permissible anthropogenic load on the aquatic environment, it is proposed to use an indicator of the amount of polluted water, taking into account both the volume of polluted water and the degree of pollution according to priority indicators. The approaches were tested for two water bodies, i.e. the Kenti lake-river system (Republic of Karelia) and the Imandra Lake (Murmansk region), which are subject to anthropogenic influence. It is shown that suggested methods can be used for any region and for various types of wastewater.

*Key words:* surface waters, background concentration, maximum permissible concentration, the Kenti lake-river system, the Imandra Lake

## REFERENCES

- Antropogennyye modifikatsii ekosistemy ozera Imandra [Anthropogenic modifications of the Imandra Lake ecosystem]. M.: Nauka, 2002. 399 p. (in Russian)
- Val'kova S.A., Kashulin N.A., Dauval'ter V.A., Sandimirov S.S. Struktura i dinamika soobshhestv zoobentosa ozera Imandra v zone vliyanija medno-nikelevogo kombinata [The structure and dynamics of the Imandra Lake zoobenthos community in the impact zone of the copper-nickel plant] // Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN. 2012. № 3. P. 23–40. (in Russian)
- Vremennyye metodicheskie ukazaniya po kompleksnoj ocenke kachestva poverhnostnyh i morskikh vod [Provisionally recommended practices for the integral assessment of surface and sea waters quality]. Utv. Goskomgidrometom SSSR 22.09.1986 g. № 250–1163. M., 1986. 5 p. (in Russian)
- Dvurechenskaya S.Ja., Bulycheva T.M. K voprosu o metodicheskikh podhodah k opredeleniju kachestva vody po integral'nym pokazateljam (na primere Novosibirskogo vodohranilishha) [On the methodical approaches to water quality assessment by the integral indicators (case study of the Novosibirsk reservoir)] // Voda: himija i jekologija. 2015. № 10. P. 32–37. (in Russian)
- Kulakova N.E., Lozovik P.A. Analiz vliyanija Kostomukshskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata na okruzhajushhuyu sredu s uchedom prirodno-tehnogennyh faktorov formirovaniya i transformacii vod [The environmental impact of the Kostomuksha mining and processing plant: natural and man-made factors of the formation and transformation of waters] // Voda: himija i jekologija. 2012. № 2. P. 18–25. (in Russian)
- Kulikova T.P., Kalinkina N.M. Vodoemy rajona Kostomukshi. Ozerno-rechnaya sistema Kenti. Harakteristika biocenozov. Zooplankton [Water bodies of the Kostomuksha area. The Kenti lake-river system. Characteristics of biocenoses. Zooplankton] // Sostoyanie vodnyh ob'ektov Respubliki Kareliya: po rezul'tatam monitoringa 1998–2006 gg. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2007. P. 115–124. (in Russian)
- Lozovik P.A. Gidrogeohimicheskie kriterii sostoyaniya poverhnostnyh vod gumidnoj zony i ih ustojchivosti k antropogennomu vozdejstviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface waters of the humid zone and their resistance to anthropogenic impact]: Dissertation abstract for the degree of Doctor of Chemical Sciences M., 2006. 56 p. (in Russian)
- Lozovik P.A., Galahina N.E. Posledstviya antropogennogo vliyanija na vodnye ob'ekty rajona Kostomukshi [The effects of anthropogenic influence on water bodies in the Kostomuksha area] // Rol' nauki v reshenii problem regiona i strany: fundamental'nye i prikladnye issledovaniya. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashch. 70-letiyu KarNC RAN. Petrozavodsk, 2016. P. 25–27. (in Russian)
- Lozovik P.A., Kulakova N.E. Methodological approaches to pollution assessment in water bodies within the operation zone of mining plants // Water Resources. 2014. № 4. P. 464–472.
- Lozovik P.A., Platonov A.V. Opredelenie regional'nyh predel'no dopustimyh koncentracij zagriznjajushhih veshhestv na primere Karel'skogo gidrograficheskogo rajona [Evaluation of the regional maximum permissible concentrations of pollutants as in the case of the Karelian hydrographic district] // Geojekologija. 2005. № 6. P. 527–532. (in Russian)
- Metodika razrabotki normativov dopustimyh sbrosov veshhestv i mikroorganizmov v vodnye sredy dlja vodopol'zovatelej [Methodology for the development of water-users standards of permissible discharges of substances and microorganisms in the aquatic environment]. Utv. MPR Rossii ot 17.12.2007 g. Prikaz № 333. 41 p. (in Russian)
- RD 52.24.643-2002. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagriznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazateljam [The method of complex assessment of the degree of contamination of surface water using the hydrochemical indicators]. SPb.: Gidrometeoizdat, 2004. 50 p. (in Russian)
- Savichev O.G., Kuzevanov K.I., Hvashhevskaja A.A., Jankovskij V.V. Jekologicheskoe normirovanie: metody rascheta dopustimyh sbrosov zagriznjajushhih veshhestv v poverhnostnye vodnye ob'ekty sushi [Environmental regulation: methods of calculating the permissible discharge of pollutants into surface water bodies]. Chast' I. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2009. 108 p. (in Russian)

Received 20.03.2019

Revised 24.04.2019

Accepted 24.05.2019

## УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ И МАТЕРИАЛОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ В 2019 Г.

Авторы	№	Стр.
Авессаломова И. А., Иванов А. Н. Биогеохимические особенности ландшафтов острова Матуа (Центральные Курилы) .....	5	77
Агибалов А. О., Сенцов А. А., Зайцев В. А. Влияние активизированных докембрийских разрывных нарушений на рельеф котловины Ладожского озера .....	3	99
Андреева Е. С., Лазарева Е. О., Липовицкая И. Н. Прогноз уровня загрязнения атмосферного воздуха в Санкт-Петербурге с применением алгоритма принятия решений .....	2	55
Антонов С. И., Гунова В. С., Рычагов Г. И., Судакова Н. Г. Развитие долины р. Протвы в позднем неоплейстоцене .....	4	88
Бабурин В. Л. Устойчивость экономики регионов России к конъюнктурным циклам .....	1	46
Бабурин В. Л., Бадина С. В., Деркачева А. А., Сократов С. А., Хисматуллин Т. И., Шныпарков А. Л. Оценка селевого риска в экономических показателях на примере Сибирского федерального округа .....	4	3
Балдина Е. А., Михайлюкова П. Г., Трошко К. А. Опыт использования данных радиолокационной космической съемки для создания тематических карт .....	4	110
Баранов Д. В., Панин А. В., Антонов С. И., Беляев В. Р., Большов С. И., Еременко Е. А., Зарецкая Н. Е. Влияние гляциоизостатических движений земной коры в приледниковой зоне на развитие верховий р. Волги .....	6	90
Баранов К. В., Сафронов С. Г. Развитие территориальной структуры крупносетевой торговли продовольственными товарами в России .....	4	100
Безухов Д. А., Этин А. Л. Вероятностный подход к прогнозированию формирования промывной сети в пределах распаиваемых междуречий .....	5	39
Беляев Ю. Р., Луговой Н. Н., Бредихин А. В. Типы берегов острова Матуа (Центральные Курильские острова) .....	3	106
Бердникова А. А., Долгова Е. А., Курбанов Р. Н. Дендроклиматические исследования сосны кулундинской Казахского мелкосопочника .....	5	86
Бобровский М. В., Лойко С. В. Возраст и особенности генезиса темногумусовых почв «Калужских Засек» .....	5	108
Боков В. А., Смирнов В. О. О смыслах способов оценки увлажнения ландшафтов .....	1	83
Болиховская Н. С., Макшаев Р. Р. Раннехвалынский этап развития Каспия: палинофлора и климато-фитоценотические реконструкции .....	3	57
Бондарев В. П., Болховитинова Ю. А. Социальные последствия катастрофических наводнений .....	5	21
Бочарников М. В., Смирнова М. А. Парцеллярная структура среднетаежных плакорных биоценозов юго-востока Устьянского плато .....	3	114
Власов Д. В., Шинкарева Г. Л., Касимов Н. С. Металлы и металлоиды в донных отложениях водоемов восточной части Москвы .....	4	43
Герасимова М. И. Международная классификация почв и возможности ее применения в географических исследованиях .....	3	49
Дегтярев К. С. Потенциал возобновляемых источников энергии в Республике Калмыкия .....	1	75
Дьяконов К. Н., Бочкарев Ю. А. Дендрохроноиндикация эволюции парагенетической системы «бугры пучения – термокарстовые озера» .....	4	15
Еремина И. Д. Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений .....	3	3

Авторы	№	Стр.
Замятина Н.Ю., Елманова Д.С., Потураева А.В., Акимова В.В., Алов И.Н., Киселев И.В., Ловягин К.Д., Мацур В.А., Нененко А.В., Петрова А.Н., Плеханов И.В., Ряпухина В.Н., Хусаинова А.С. Особенности миграционной ситуации в Белгородской области: факторы повышенной привлекательности территории для мигрантов из северных регионов России .....	5	97
Зубаревич Н.В., Сафронов С.Г. Доля продуктов питания в структуре расходов населения регионов России как индикатор уровня жизни и модернизации потребления .....	2	61
Исаченкова Л.Б., Герасимова М.И., Богданова М.Д., Терская Е.В. Отражение истории землепользования в свойствах дерново-подзолистых почв Сатинского полигона МГУ .....	6	113
Карачурина Л.Б., Флоринская Ю.Ф. Миграционные намерения выпускников школ малых и средних городов России .....	6	82
Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Чалов С.Р., Шинкарева Г.Л. Парагенетические ассоциации химических элементов в ландшафтах .....	6	20
Кислов А.В., Гущина Д.Ю. Научное наследие Михаила Арамаисовича Петросянца (к 100-летию со дня рождения) .....	6	3
Кислов А.В., Торопов П.А., Платонов В.С., Ольчев А.В., Варенцов М.И. Региональное моделирование климата для географического анализа .....	5	3
Кошелева Н.Е., Тимофеев И.В., Касимов Н.С. Распределение тяжелых металлов и металлоидов в почвенных катенах горнопромышленных ландшафтов на примере Закаменска (Россия) и Эрдэнэта (Монголия) .....	2	16
Кошкин С.П. Оценка потенциала развития ветровой энергетики на региональном уровне (на примере штата Риу-Гранди-ду-Норти, Бразилия) .....	3	93
Кравцова В.И. Картографирование природных и антропогенных геосистем дельты Дуная по космическим снимкам .....	1	3
Крашенинникова С.Б., Крашенинникова М.А. Оценка изменчивости скорости ветра в Причерноморском регионе России на основе выбранных моделей проекта СМIP5 .....	6	60
Крыстев В.К. Туристское районирование: дискурс о методе .....	5	50
Кулешова Л.А., Овсепян Е.А. Палеоокеанологические реконструкции для юго-западной части Атлантического океана в среднем–позднем плейстоцене на основе комплексов бентосных фораминифер .....	3	72
Курбанов Р.Н., Янина Т.А., Мюррей Э.С., Семиколенных Д.В., Свистунов М.И., Штыркова Е.И. Возраст карангатской трансгрессии (поздний плейстоцен) Черного моря .....	6	29
Лапченко В.А., Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю., Розенталь В.А. Пространственное распределение приземного озона, аэрозоля и солнечной ультрафиолетовой радиации в юго-восточном Крыму .....	2	33
Лебедева Л.С. О факторах географической дифференциации роста (длины тела) населения России .....	4	24
Левченко Е.А., Лозбенев Н.И., Козлов Д.Н. Диагностика внутриландшафтной дифференциации гидроморфизма почв лесостепи Вороно-Цнинского междуречья Приволжской возвышенности .....	3	38
Максимова В.Ф., Майорова Л.А., Петропавловский Б.С. Основные факторы среды, влияющие на усыхание пихтово-еловых лесов Дальнего Востока .....	1	61
Матлахова Е.Ю., Панин А.В., Беляев В.Р., Борисова О.К. Развитие долины Верхнего Дона в конце позднего плейстоцена .....	3	83
Мысленков С.А., Маркина М.Ю., Архипкин В.С., Тилинина Н.Д. Повторяемость штормового волнения в Баренцевом море в условиях современного климата .....	2	45

Авторы	№	Стр.
Нгуен Данг Хой, Данг Хунг Кыонг, Нго Чунг Зунг. Антропогенная сукцессия ландшафтов западных провинций Вьетнама .....	1	19
Нечаев В. Д., Чихарев И. А., Ирхин А. А., Маковская Д. В. Концепция геостратегического атласа Большого Средиземноморья .....	1	67
Овсепян Я. С., Аверкина Н. О., Талденкова Е. Е., Шпильхаген Р. Ф. Баух Х. А., Тихонова А. В. Бентосные фораминиферы как индикаторы проникновения атлантических вод в Арктический бассейн в конце позднего плейстоцена – голоцене .....	6	41
Панкеева Т. В., Миронова Н. В. Запасы макрофитов как показатель состояния подводных ландшафтов (Черное море) .....	6	102
Пискарева В. М., Кошовский Т. С., Бисикалова Е. А., Геннадиев А. Н., Белик А. Д. Влияние пожаров на свойства почв национального парка «Земля леопарда» (Приморский край)	3	11
Платонов В. С., Суркова Г. В., Константинов П. И. Микроклимат Сатинского учебно-научного полигона МГУ .....	6	122
Присяжная А. А., Круглова С. А., Хрисанов В. Р., Снакин В. В. Распространение редких и находящихся под угрозой исчезновения видов мохообразных на территории России .....	1	11
Романов А. А., Астахова М. А., Миклин Н. А., Шемякин Е. В. География фауны птиц северных отрогов Корякского нагорья .....	1	53
Романов А. А., Мелихова Е. В. География птиц в горах Северо-Восточной Азии .....	6	67
Румянцев И. Н., Смирнова А. А., Ткаченко А. А. Сельские населенные пункты «без населения» как географический и статистический феномен .....	1	29
Русанов А. В. Динамика дачного расселения Подмосковья .....	5	67
Савенко А. В., Савенко В. С., Иванов А. Н. Фтор в водных объектах острова Матуа (Центральные Курилы) .....	4	81
Савоскул М. С., Алексеев А. И., Кузнецова Г. Ю., Мозгунов Н. А. Сельское расселение и учет населения в зоне влияния Московской агломерации (на примере Боровского района Калужской области) .....	2	86
Семенов И. Н., Касимов Н. С., Терская Е. В. Латеральная дифференциация форм соединений металлов в почвенных суглинистых катенах центра Западно-Сибирской равнины .....	3	25
Слука Н. С., Ткаченко Т. Х. Китай на пороге третьего глобального интеграционного цикла .....	5	60
Сучилин А. А., Вахнина О. В. Исследование динамики природных процессов с использованием беспилотных летательных аппаратов и наземного спектрометрирования (на примере Сатинского полигона) .....	1	38
Тикунов В. С., Медведева О. Е., Черешня О. Ю. Кадастровая оценка недвижимости в России на основе методологии оценочного зонирования .....	5	13
Ткаченко А. А., Смирнов И. П., Смирнова А. А. Трансформация сети центров сельского расселения в низовом районе Центральной России .....	2	78
Харитонова Т. И., Новенко Е. Ю. Причины и периодичность возникновения низовых лесных пожаров в юго-восточной Мещере (по результатам дендрохронологического анализа) .....	4	53
Хорошев А. В., Косицкий А. Г., Лукьянова А. Н. Гидрологические и гидрохимические основания проектирования экологического каркаса агроландшафта юга Архангельской области .....	4	63
Хорошев А. В., Мерекалова К. А. Пространственная устойчивость межкомпонентных связей в среднетаежном ландшафте .....	2	5
Царев А. И. Понятие и методы определения внутренней периферии .....	4	33

<b>Авторы</b>	<b>№</b>	<b>Стр.</b>
Цешковская Е.А., Голубева Е.И., Цой Н.К., Оралова А.Т., Матонин В.В. Геоэкологические аспекты рекультивации нарушенных земель в Карагандинской области (Республика Казахстан) .....	4	73
Чалов Р.С. Гидролого-географические аспекты управления русловыми процессами .....	6	11
Шестакова А.А., Торопов П.А. Моделирование экстремальных осадков зимнего периода для южного побережья Каспийского моря .....	6	51
Шокурова И.Г., Медведев Е.В., Кондратьев С.И. Аппроксимация вертикального распределения содержания сероводорода в Черном море .....	5	30
Щитова Н.А., Белозеров В.С., Тикунов В.С. Социально-экономический компонент оценки качества жизни сельского населения Ставропольского края .....	2	69
<b>Краткие сообщения</b>		
Барышников Г.Я., Слажнева С.С., Сотников П.В. Распространение подземных вод с повышенным содержанием бора в Алтайском крае .....	1	97
Даценко Ю.С. Моделирование качества воды в водохранилище с использованием функции распределения времени пребывания водных масс .....	1	93
Зиновьев А.С., Морачевская К.А. Структура современных исследований в общественной географии за рубежом (по материалам съезда Ассоциации американских географов) .....	2	108
Котельянец Е.А., Соловьева О.В., Тихонова Е.А. Загрязнение донных отложений озера Донузлав .....	2	95
Лозовик П.А., Галахина Н.Е. Оценка загрязненности водных объектов и нормирование допустимой антропогенной нагрузки на них .....	6	133
Маргарян В.Г. Тренды изменения максимальных температур приземного слоя воздуха в пределах Араратской равнины и ее предгорной зоны .....	2	103
Савоскул М.С., Алексеев А.И. Сельско-городские сообщества в официально несуществующем населенном пункте .....	4	119
<b>Юбилеи</b>		
К 95-летию Георгия Ивановича Рычагова .....	2	3
<b>Указатель статей и материалов, опубликованных в журнале в 2019 г.</b>	6	138

## ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

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. К публикации также принимаются краткие сообщения (объем до 5 стр. или 9–10 тыс. знаков с пробелами, до 2 рисунков и до 10 позиций в списке литературы), информация о научных конференциях и событиях, рецензии на книги. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

**Комплектность.** Представленные в редакцию материалы должны включать направление с места работы (учебы) автора; текст статьи, подписанный всеми авторами; аннотацию статьи и ключевые слова на русском и английском языках; таблицы, рисунки и подписи к ним. Материалы (за исключением направления) представляются в распечатанном виде в двух экземплярах и в электронном виде.

**Структура и оформление статьи.** На первой странице статьи необходимо указать УДК (печатается над заголовком статьи слева), инициалы и фамилию автора, название статьи. Внизу страницы в виде цифровых сносок для каждого автора указываются место работы, должность, ученая степень, адрес электронной почты. Информация о выполнении работы в рамках программы (проекта), о ее финансовой поддержке указывается в конце статьи. Изложение должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Текст набирается шрифтом Times New Roman 14 кеглем через 1,5 интервала, с отступом абзацев 1,25 см. Страницы А4 имеют верхнее и нижнее поля 2 см, 2,5 см слева и 1,5 см справа; с нумерацией сверху страницы. Объем статьи не должен превышать 14–16 страниц (включая список литературы и таблицы) и не более 3–4 рисунков. Статьи большого объема могут быть опубликованы в исключительных случаях по решению редакционной коллегии.

Нумерация формул (сплошная по всей статье) указывается в скобках цифрами (1, 2 и т. д.) с правой стороны. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

Список литературы приводится в конце статьи: сначала в соответствии с русским алфавитом, затем – с английским, по тексту статьи даются ссылки в квадратных скобках [Иванов, 1985]. Библиографическое описание дается в следующем порядке: фамилии и инициалы авторов, полное название монографии, место издания, издательство, год издания, страницы; для периодических изданий – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год выпуска, том, номера страниц. Для списка References (рекомендуем пользоваться ресурсом <http://www.translit.ru>) для русскоязычных позиций сделать транслитерацию ФИО авторов и названия работы; в квадратных скобках дать перевод названия на английский язык, транслитерацию выходных данных, в скобках (in Russian). Ссылки на иностранных языках остаются в оригинальном варианте. Пример оформления первой страницы и списка литературы см. на сайте журнала.

Таблицы печатаются на отдельной странице каждая, кегль 14, через 1,5 интервала. Нумеруются по порядку упоминания их в тексте арабскими цифрами. После номера должно следовать название таблицы. Все графы в таблицах должны иметь заголовки и быть разделены вертикальными линиями.

Все рисунки необходимо присылать в формате JPEG, отдельным файлом. На иллюстрациях следует избегать лишних деталей и надписей (надписи рекомендуется заменять цифрами или буквами, разъяснение которых дается в подрисуночных подписях или в тексте). Линии на рисунках должны быть четкими (5–6 pix). Ширина рисунков не должна превышать 180 мм, высота – 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунке Times New Roman (9–10-й кегль). В рисунках рекомендуется применять разные типы штриховки (с размером шага, позволяющим дальнейшее уменьшение). Фотографии должны быть контрастными.

Возможна публикация цветных рисунков в online версии журнала. При этом они должны хорошо читаться и при черно-белой печати в «бумажной» версии.

Подрисуночные подписи представляются на отдельной странице, кегль 14, через 1,5 интервала.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)-939-29-23. Сайт журнала <http://geogrmsu.elpub.ru/jour/index> Электронная почта: [vestnik\\_geography@mail.ru](mailto:vestnik_geography@mail.ru)

*Плата за публикацию не взимается.*

**УЧРЕДИТЕЛИ:**

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;  
географический факультет МГУ

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**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)

**EDITORIAL BOARD:**

**S.A. DOBRULUBOV**, 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  
**K.N. D'YAKONOV**, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor  
**N.L. FROLOVA**, doctor of science, professor  
**A.N. GENNADIYEV**, doctor of science, professor  
**V.YU. IVANOV**, professor (Michigan University, USA)  
**N.S. KASIMOV**, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor  
**A.V. KISLOV**, doctor of science, professor  
**V.A. KOLOSOV**, doctor of science, professor  
**K.P. KOLTERMANN**, professor  
**M. KONECNY**, professor (Masaryk University, Faculty of Science, Czech Republic)  
**S.B. KROONENBERG**, professor (Delft University of Technology, Department of Applied Earth Sciences, Netherlands)  
**S.M. MALKHAZOVA**, doctor of science, professor  
**G. MOURI**, professor (University of Tokyo, Japan)  
**V.E. SHUVALOV**, candidate of science, associate professor  
**S.A. SOKRATOV**, candidate of science, PhD  
**P.E. TARASOV**, professor (Free Berlin University, Germany)  
**T.A. YANINA**, doctor of science, professor  
**V.V. YANKO-KHOMBACH**, doctor of science, professor (Avalon Institute of Applied Sciences, Winnipeg, Canada)  
**S.S. ZILITINKEVICH**, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)  
**O.G. ZOLINA**, professor (Fourier University, Grenoble, France)

*Номер подготовили члены редколлегии*

**С.М. МАЛХАЗОВА, Т.А. ЯНИНА**

Редактор **Е.А. Еременко**

*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 Суг. Бумага офсет. № 1. Офсетная печать. Усл. печ. л. 18  
Уч.-изд. л. 00,0. Тираж экз. Изд. № 00000. Заказ №

---

Типография МГУ.

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15.