

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 5

ГЕОГРАФИЯ

№ 6 • 2014 • НОЯБРЬ — ДЕКАБРЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

- Шполянская Н.А. О механизмах формирования подземных пластовых льдов (критический анализ сегрегационного механизма) 3

География и экология

- Ерина О.Н. Прогностические оценки изменения кислородного режима и качества воды в Можайском водохранилище в экстремально жаркую погоду 10
- Безухов Д.А., Беляев В.Р., Иванова Н.Н. Количественная оценка интенсивности и направленности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабатываемых склонах в пределах бассейна р. Плава (Тульская область) 16

Методы географических исследований

- Новенко Е.Ю., Цыганов А.Н., Волкова Е.М., Бабешко К.В., Мазей Ю.А. Динамика ландшафтов и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене 24
- Малышева Н.В., Золина Т.А., Владимирова Н.А. Локальный картографический сервис для визуализации статистических данных о лесах России. 32

Региональные исследования

- Магрицкий Д.В. Пространственно-временные характеристики наводнений на Черноморском побережье Российской Федерации 39
- Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Рец Е.П., Лошакова Н.А., Поповнин В.В., Васильчук Ю.К. Вариации изотопно-кислородного состава талого стока ледника Джанкуат на Центральном Кавказе 48
- Темиргалеев Р.Ф. Влияние иммиграции на сдвиги в размещении этнорасовых групп населения США в 2000-е гг. 57
- Герасимова М.И., Касимов Н.С., Горбунова И.А., Богданова М.Д., Рябова Н.В., Лычагин М.Ю. Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна Селенги 66
- Мысленков С.А., Зацепин А.Г., Сильвестрова К.П., Баранов В.И. Использование дрейфующих буев и буксируемого профилографа для исследования течений на шельфе Черного моря 73

Юбилеи

- Юбилей Эммы Петровны Романовой 81
- 70-летие Евгения Константиновича Семенова. 82

Некролог

- Алла Константиновна Даниленко 83

- Указатель статей и материалов, опубликованных в журнале в 2014 г. 84

CONTENTS

Theory and methodology

- Shpolyanskaya N.A. About the mechanism of formation of massive ice beds
(critical analysis of segregation mechanism) 3

Geography and ecology

- Yerina O.N. Prognostic evaluation of changes of the oxygen regime and water quality
in the Mozhaisk reservoir under extremely hot weather 10
- Bezukhov D.A., Belyayev V.R., Ivanova N.N. Quantitative assessment of
intensity and trends of erosion and accumulation processes on cultivated slopes within
the Plava River basin (the Tula oblast). 16

Methods of geographical studies

- Novenko E.Yu., Tsyganov A.N., Volkova E.M., Babenko K.V.,
Mazei Yu.A. Landscape and climate dynamics of the north-western Sredneruss-
kaya Upland during the Holocen 24
- Malysheva N.V., Zolina T.A., Vladimirova N.A. Local cartographic ser-
vice for visualization of the forest statistics of Russia 32

Regional studies

- Magritsky D.V. Spatial-temporal parameters of floods at the Black Sea coast of the
Russian Federation 39
- Chizhova Yu.N., Budantseva N.A., Rets E.P., Loshakova N.A.,
Popovnin V.V., Vasilchuk Yu.K. Isotopic variation of runoff from the
Dzhan Khat glacier (Central Caucasus). 48
- Temirgaleev R.F. Impact of immigration on the changes of spatial distribution of
ethnic and racial population groups in the USA during the 2000-s 57
- Gerasimova M.I., Kasimov N.S., Gorbunova I.A., Bogdanova M.D.,
Ryabova N.V., Lychagin M.Yu. Landscape-geochemical regionalization of
the Selenga River basin 66
- Myslenkov S.A., Zatsepin A.G., Silverstova K.P., Baranov V.I.
Application of drift buoys and towed profiler for investigation of currents within the
Black Sea continental shelf. 73

Jubilees

- The jubilee of Emma Petrovna Romanova 81
- To the 70th birthday of Evgeny Konstantinovich Semenov.

Obituaries

- To the memory of Alla Konstantinovna Danilenko

- Index of articles and materials published in the journal in 2014*

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 551.345

Н.А. Шполянская¹**О МЕХАНИЗМАХ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПЛАСТОВЫХ ЛЬДОВ
(КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СЕГРЕГАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА)²**

Обсуждается происхождение крупных залежей подземных пластовых льдов, широко развитых на равнинах севера России. Подземные льды содержат большую палеогеографическую информацию, поэтому важно установить их генезис. Пластовые льды изучают с 1960-х гг., но до сих пор их генезис остается дискуссионной проблемой. Существует несколько концепций их генезиса, часто взаимоисключающих, — от утверждения о захоронении остатков древнего покровного оледенения до формирования непосредственно в субмаринных условиях. Согласно одной из ранних концепций пластовые льды формируются при эпигенетическом промерзании грунтов в результате миграции грунтовых вод из глубоких слоев вверх, к фронту промерзания. Это так называемый сегрегационный механизм, поддерживаемый молекулярными связями воды в грунтах, и один из ведущих механизмов формирования слоистых мерзлых толщ с текстурообразующими льдами. Статья посвящена критическому анализу этого механизма с точки зрения его возможности сформировать мощные ледяные пласты.

Рассмотрен большой экспериментальный материал, накопившийся к настоящему времени, из анализа которого вытекает, что миграция воды к фронту промерзания под действием молекулярных связей невозможна на большое расстояние, следовательно, невозможен длительный непрерывный подток воды, необходимый для роста крупного ледяного тела. Миграционный поток возможен только на небольшое расстояние, он многократно прерывается во время промерзания грунта, что обуславливает возникновение зон иссушения. С помощью этого механизма возможно формирование отдельных ледяных прослоев (шпиров), пронизывающих мерзлые грунты, но не формирование пластовых льдов.

Ключевые слова: пластовые льды, генезис подземных льдов, сегрегационное льдообразование, миграция воды, эпигенетическое промерзание.

Введение. На равнинах Западной Сибири, северо-востока европейской территории России и Чукотки широко распространены подземные пластовые льды — крупные тела неопределенной формы размером несколько десятков метров по горизонтали и вертикали (рис. 1). Установление их генезиса необходимо, потому что пластовые льды, как и все подземные льды, содержат большую палеогеографическую информацию. В их строении и свойствах сохраняются первоначальные черты времени их формирования, данные их изучения можно использовать для реконструкции природных условий прошлого. Однако, несмотря на то что их интенсивное изучение началось в 1960-е гг., происхождение подобных образований до настоящего времени остается остро дискуссионным вопросом. Практически не наблюдается развития мнений относительно генезиса льдов — все существующие концепции (дополняемые вариантами механизма льдообразования) до настоящего времени поддерживаются их авторами.

Две основные концепции содержат два взаимоисключающих мнения. Одни авторы [12, 17, 19, 28]

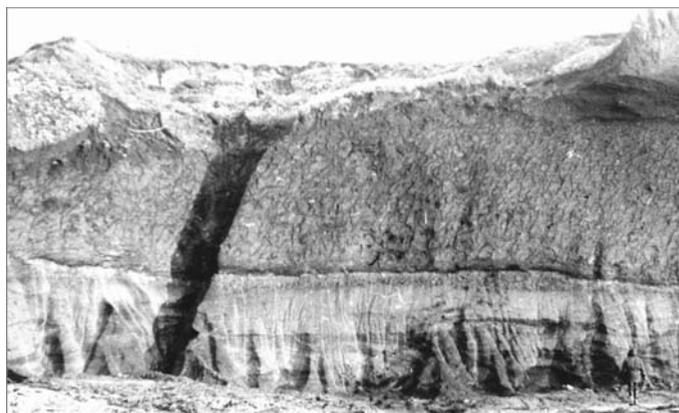


Рис. 1. Пластовая ледяная залежь Тадибеяха, Западный Гыдан (нижняя часть разреза), 70° с.ш.

считают пластовые льды захороненными в грунтах остатками покровных ледников, т.е. свидетелями существования в прошлом покровного оледенения. Другие полагают, что это изначально внутригрунтовые образования, исключая присутствие в прошлом наземных ледников.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: nella@shpolyanskaya.msk.ru

² Работа выполнена при финансовой поддержке Программы поддержки ведущих научных школ РФ (проект НШ-335.2014.5).

По поводу механизма внутригрунтового роста пластовых льдов единого мнения тоже нет. Многие авторы приняли сегрегационный механизм льдообразования при эпигенетическом типе промерзания [1, 4, 5, 9], определяемый миграцией поровой грунтовой воды снизу вверх, к фронту промерзания, и замерзанием ее в виде ледяных прослоев. Признают и инфильтрационный механизм льдообразования, тоже при эпигенетическом промерзании, предполагающий внедрение в промерзающий грунт больших масс воды под напором [5] или проникающих в грунт сверху из водоемов, в частности во время морских приливов [6]. Предлагается и совместный инфильтрационно-сегрегационный механизм поступления воды в грунты [9, 30]. Существует и концепция, согласно которой предполагается формирование пластовых льдов непосредственно в субмаринных условиях при сингенетическом типе промерзания донных отложений, ее основоположник А.И. Попов [15], эта концепция развивается в работах [25, 26].

Постановка проблемы. Наши многолетние исследования [27] показали, что пластовые льды неоднородны, среди них есть льды разного генезиса, в том числе и инъекционные, и погребенные первоначально наземные льды — глетчерные, снежные, водные (рис. 2). Большая часть упомянутых механизмов способна сформировать пластовые льды. Однако анализ всех накопившихся к настоящему времени материалов показывает, что трудно объяснить формирование мощного пласта льда сегрегационным механизмом при эпигенетическом промерзании грунтов, т.е. путем миграции поровой влаги с большой глубины к фронту промерзания. Поскольку, как показано на карте (рис. 2), инъекционные и погребенные льды составляют сравнительно небольшую долю пластовых льдов, все

остальные льды должны, казалось бы, формироваться именно путем миграции грунтовой воды при эпигенетическом промерзании, однако это не так. В цели исследования входило рассмотрение того, как происходит миграция грунтовой воды при эпигенетическом промерзании грунтов.

Материалы и методы исследования. Сегрегационный (миграционный) способ формирования ледяных прослоев основан на данных работ [29, 32] и исходит из существования в дисперсных грунтах связанной воды (адсорбированной грунтовыми частицами), миграция которой к фронту промерзания может проходить без перерыва сколь угодно долго. Поэтому при наличии соответствия между скоростью подтягивания воды и скоростью ее замерзания рост слоя льда может быть бесконечным.

Процесс миграции связанной воды к фронту промерзания широко развит в мерзлых и промерзающих грунтах и играет ведущую роль в формировании криогенной текстуры мерзлых пород и текстурообразующих льдов. В связи с этим многие исследователи считают, что в процессе сегрегационного льдообразования при эпигенетическом промерзании грунтов вполне возможно такое сочетание скорости промерзания и скорости подтока влаги, когда толщина ледяного штира может расти неограниченно. Принимается, что при промерзании грунтов от поверхности в глубь толщи (эпигенетически) происходит непрерывная миграция связанной воды с большой глубины на большое расстояние (100—150 м и более), которая за длительное время обеспечивает рост мощных пластовых льдов.

Господствующая со времени Г. Бескова [29] и до настоящего времени адсорбционно-пленочная гипотеза миграции воды к промерзающему слою грунта сводится к следующему. В тонкодисперсных грунтах

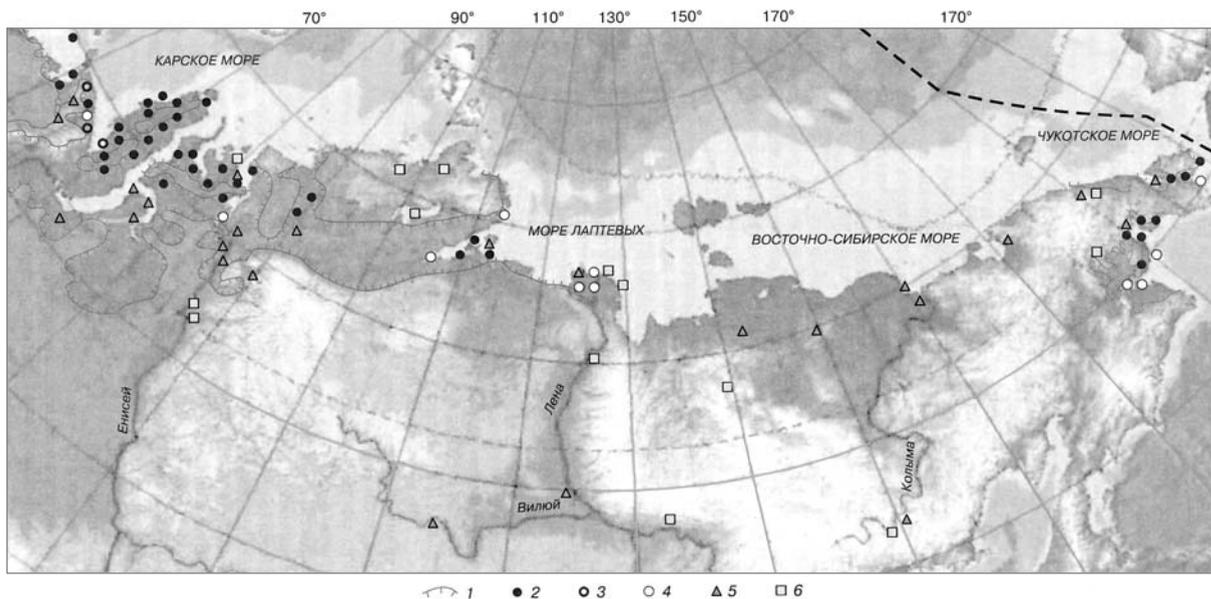


Рис. 2. Карта пластовых льдов криолитозоны России [27]: 1 — границы позднеплейстоценовых морских равнин; 2—6 — генетические типы пластовых льдов: 2 — льды изначально субмаринного генезиса, 3 — льды составные (субмаринные и прибрежно-морские в одном разрезе), 4 — льды прибрежно-морские, 5 — инъекционные льды, 6 — погребенные (первично наземные) льды

присутствуют водные пленки, связанные молекулярными силами с минеральными частицами. Эти силы обуславливают существование водной пленки постоянной толщины вокруг минеральных частиц. При промерзании грунта возникает градиент температуры, на нижней границе промерзающего слоя (фронте промерзания) в зоне фазовых переходов замерзает свободная вода и часть связанной воды. Это создает градиент влажности между границей промерзания и подстилающим талым грунтом. Под влиянием возникшего градиента происходит миграция новых порций воды к фронту промерзания — из нижележащих талых слоев грунта с более толстыми пленками связанной воды к частично обезвоженным слоям перед промерзающим слоем, т.е. пополнение пленок до исходной толщины. По мере продвижения границы промерзания сверху вниз грунтовая влага перемещается снизу вверх из талых слоев грунта. Если принять возможным неограниченный приток воды снизу (при достаточном количестве грунтовой воды), то рост ледяного шпиря в промерзающем грунте, казалось бы, может быть длительным (при соблюдении соответствия между скоростью подачи воды и скоростью отвода тепла) и сформировать мощный ледяной пласт.

Однако, как нам представляется, сегрегационный механизм при эпигенетическом промерзании не может обеспечить непрерывность потока воды к фронту промерзания и образование единого мощного ледяного тела, часто залегающего на большой глубине. Сомнения возникли при исследовании известного опытного подземелья в г. Игарка, где вскрыта высокольдистая толща ленточных глин [14, 24].

Игарское подземелье расположено на широкой 40–50-метровой каргинской (III₃) террасе Енисея. Толща высокольдистых ленточных каргинских глин (возраст $33\ 030 \pm 550 \div 39\ 000 \pm 400$ лет [13, 21]) вскрыта практически от дневной поверхности до глубины 18 м на протяжении более 50 м по горизонтали. Мощность ленточных глин 20 м, подстилаются они песками [20]. Для толщи характерна слоисто-плетенчатая криогенная текстура с толстыми (от 5–7 до 15–20 и даже до 30 см) шпирями льда. Строение и однотипная криогенная текстура толщи свидетельствуют, что она формировалась в едином озерном бассейне и в последующем промерзала в едином эпигенетическом цикле [14, 24]. Криогенное строение полностью соответствует закономерностям, установленным А.И. Поповым для эпигенетического типа промерзания. Льдистая толща обнаруживает закономерное разреживание и утолщение слоев льда с глубиной, имеет закономерно повышенную льдистость в нижней части слоя активного криолитогеоза (12–14 м), затем при переходе в слой пассивного криолитогеоза льдистость резко снижается.

Промерзание озерных ленточных глин должно было начаться сразу после их выхода из-под уровня воды в холодную сартанскую эпоху (III₄), сменившую относительно теплую каргинскую эпоху. Льдообразование шло по сегрегационному типу путем миграции

воды к фронту промерзания при достаточно высоких значениях температурного градиента и обильного подтока влаги в условиях открытой системы. Мощные горизонты напорных подземных вод, широко распространенные в районе Игарки [8], обеспечивали неограниченный подток влаги и неограниченное льдовыделение в промерзающих грунтах. О неограниченном подтоке воды в промерзающую толщу ленточных глин Игарки пишет и Т.Н. Жесткова [11].

Если воспользоваться данными эксперимента, приведенного в работе [7], где исследована миграция воды при разных литологических условиях (три опытные модели), то Игарский разрез имеет наиболее благоприятное строение грунтов для активного льдовыделения. Описываемый разрез представляет собой двухслойную систему из слабопроницаемого верхнего и хорошо фильтрующего нижнего слоев, что обеспечивает максимальный приток воды снизу.

Но, несмотря на максимально благоприятные для льдовыделения условия, единое тело залежного пластового льда здесь не сформировалось. Сформировалась высокольдистая слоистая и линзовидно-слоистая грунтовая толща с толстыми (от 5–7 до 25–30 см) ледяными шпирями (рис. 3).

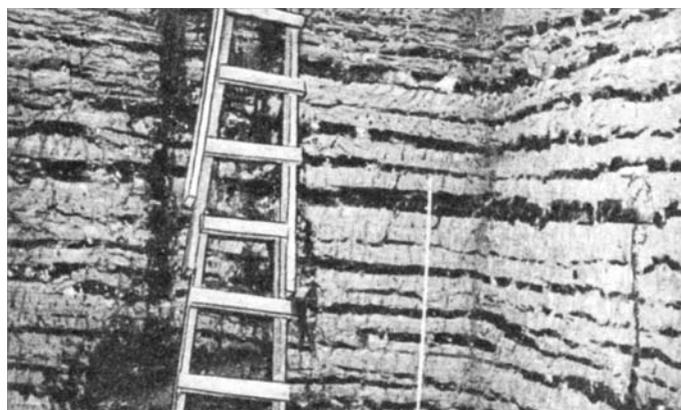


Рис. 3. Разрез мерзлой толщи ленточных глин (разные участки толщи), игарское подземелье. Видны крупные ледяные шпирьи (черное), разделенные широкими грунтовыми прослоями (светлые). Фото Е.Г. Карпова (вверху) и Л.А. Степаненко (внизу)

Даже в миграционном бугре пучения на торфяниках (высотой обычно не более 2—2,5 м), где ледяное ядро формируется тоже при эпигенетическом промерзании путем миграции воды к фронту промерзания (отсюда и его название), не образуется сплошное ледяное тело, а формируются ледяные слои (шлиры) в грунтовой толще (рис. 4). Все эти примеры показывают, что сегрегационный (миграционный) механизм вряд ли способен сформировать мощный залежный пластовый лед.

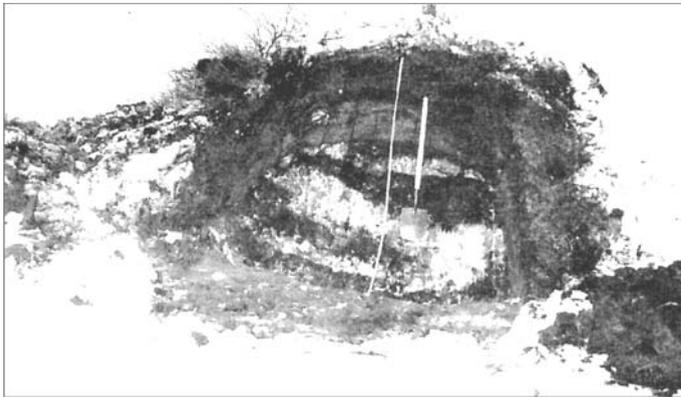


Рис. 4. Миграционный бугор пучения с льдистым ядром, представленным текстурообразующим льдом, Западная Сибирь

В доказательство этого утверждения ниже приводятся материалы экспериментальных исследований миграции воды к фронту промерзания и их анализ с точки зрения возможности формирования крупных пластов льда.

Результаты исследований и их обсуждение. Главная причина, препятствующая формированию мощного ледяного тела, — невозможность длительной и непрерывной миграции связанной воды на большие расстояния. Многочисленные экспериментальные работы указывают на это, а многие исследователи сомневаются в возможности сегрегационного механизма.

Г.М. Фельдман [22] считает, что преувеличены возможности кристаллизационно-пленочного механизма движения влаги, которому приписывается огромный радиус действия — подтягивание влаги к фронту промерзания на расстояние 100—150 м. На основании анализа экспериментов (собственных и опубликованных данных) он сделал заключение, что миграция влаги к растущему ледяному шлиру возможна только при определенных условиях: прорастание кристаллов в поры грунта и непосредственный их контакт со связанной водой, наличие непрерывной пленки связанной воды на поверхности минерального скелета, переохлаждение в зоне растущих кристаллов. Кроме того, наличие единого неразрывного объема связанной воды зависит от дисперсности грунта и его влажности. Этот объем больше в суглинках, меньше в супесях и отсутствует в песках. Если говорить о тонкодисперсном грунте, то следует отметить, что непрерывность объема связанной воды нарушается в маловлажных и

разжиженных грунтах, здесь миграция влаги не происходит.

Из материалов Г.М. Фельдмана вытекают определенные выводы: во-первых, условия для миграции воды возникают только в зоне, близкой к фронту промерзания; во-вторых, непрерывность связанной воды не может сохраняться в толще грунта большой мощности (100—150 м), поскольку литологический состав и влажность разных слоев такой толщи в большинстве случаев неодинаковы; еще одно условие ограничивает миграцию воды в промерзающих грунтах — предельный диапазон скорости промерзания. При слишком малой и слишком большой скорости подток влаги резко снижается, поэтому во время промерзания нередко возникают условия, когда механизм миграции за счет термодинамического потенциала не действует.

В работе [23] экспериментально установлено, что миграция грунтовой влаги к фронту промерзания возможна только тогда, когда расстояние фронта от уровня подземных вод не превышает 3,5 м. При большем расстоянии последние перестают влиять на увлажнение промерзающего слоя. Это означает, что источник воды при формировании пластовых льдов должен быть расположен не глубже 3,5 м от фронта промерзания. Таким образом, миграция воды с большой глубины невозможна.

Э.Д. Ершов [10] экспериментально проследил механизм миграции влаги и показал, что в начале промерзания после образования первого мерзлого слоя в грунте возникает градиент температуры и начинается миграция влаги, тогда на фронте промерзания возникает неразрывный поток влаги из талой зоны в мерзлую. Здесь поры грунта полностью заполнены влагой. Однако по мере увеличения глубины и замедления скорости промерзания (из-за уменьшения значений сезонного температурного градиента и увеличения давления вышележащих слоев грунта) градиент потенциала влаги в подстилающей талой зоне уменьшается до нуля, и миграция влаги, а с ней и льдовыделение на границе прекращаются.

Этот очень важный процесс должен, по-видимому, неоднократно повторяться за время эпигенетического промерзания грунта, так как он связан с образованием перед фронтом промерзания слоя “нулевой завесы” (явление, выявленное М.И. Сумгиным [18]). Это водонасыщенный слой, где происходит интенсивный процесс фазовых превращений воды в лед, поэтому температура в нем некоторое время поддерживается равной температуре замерзания воды, при этом в слое исчезает градиент температуры, а следовательно, и поток влаги. Поскольку некоторые категории связанной воды замерзают не при нулевой, а при отрицательной температуре, то, опираясь на эксперименты, описанные в работе [3], можно говорить, что интервал температуры в слое “нулевой завесы” составляет 0 ... –3 °С. По завершении фазовых процессов температурный градиент в слое перед фрон-

том промерзания восстанавливается, поэтому должен возобновиться влагоперенос.

Влагоперенос происходит прежде всего из запасов воды в близлежащих слоях грунта. Этот влагопоток должен добирать воду из слоя, увеличивая толщину ледяных шпиров в промерзавшей части, но одновременно и полностью иссушать этот слой. В слое иссушения неизбежно образование трещин в грунте и разрыв капилляров с нарушением единой капиллярной системы [24]. Подтверждением такого протекания процесса могут служить наблюдения В.В. Рогова [16], исследовавшего разрез в игарском подземелье и установившего, что рост прослоек сегрегационного льда происходит до тех пор, пока не будут полностью исчерпаны запасы влаги, причем до такой степени, что в нижележащем слое может наблюдаться лишь минимум содержания льда-цемента. Миграция воды в этом слое не может происходить, льдовыделения тоже нет. Следовательно, только после полного замерзания иссушенного слоя и продвижения фронта промерзания ниже зоны иссушения начинается новое движение воды с формированием нового шпиря. Без такого перерыва невозможно возобновление градиента температуры и потока влаги. Именно после этого процесс повторяется вновь, так должна формироваться слоистая мерзлая толща с ледяными шпирями разной толщины.

Еще одно свидетельство нарушения непрерывной миграции воды привел В.Г. Чеверев [23]. Он экспериментально установил, что уже в начале промерзания, в зоне, где температура близка к 0 °С (от начала промерзания до -0,6 °С), влагопроводность грунта экспоненциально снижается, поскольку горизонтальные шпиря льда, образующиеся в этом диапазоне температуры, прерывают влагопоток и снижают коэффициент влагопроводности в 10—20 раз. Ограничение питания промерзающего слоя грунта влагой, возникающее вследствие этого процесса, приводит к тому, что при дальнейшем понижении температуры влагоперенос в сторону слоя с более низкой температурой осуществляется только за счет запасов воды в близлежащих более высокотемпературных слоях грунта.

В этом случае, как и в опытах Э.Д. Ершова, следует ожидать постепенного иссушения и усадки грунтов нижележащих слоев, образования трещин и нарушения капиллярных связей в грунте. Это ухудшает контакты между поровым льдом и незамерзшей водой, затрудняет дальнейшее пополнение запасов воды и еще больше ограничивает зону питания ледяной прослойки.

Важные экспериментальные результаты приведены в работе [3], где исследован влагоперенос в промерзающих засоленных грунтах. Сделан важный вывод о том, что влагопроводность талой зоны промерзающих грунтов снижается с повышением их засоленности. Этот вывод напрямую касается пластовых льдов, поскольку подавляющее количество пластовых льдов залегает в засоленных грунтах морского генезиса. Характер влагопереноса именно в этих грунтах опреде-

ляет механизм образования пластовых льдов. Основное количество влаги должно поступать в формирующийся ледяной пласт из нижележащей талой зоны засоленных грунтов, и, как установлено в упомянутой работе, ее поступление невелико.

В целом многофакторное влияние среды на состояние влаги в грунтах, если учесть непостоянство коэффициента влагопроводности при изменении влажности породы и неоднозначность зависимости его значений от влажности, приводит к многократным сбоям миграционного потока [16]. На процесс миграции влияют и изменения строения грунта в процессе миграции — набухание, пучение.

В.Г. Чеверев [23] считает еще одним осложняющим обстоятельством непостоянство температурного градиента в грунтах при промерзании, когда промерзание может смениться оттаиванием. При этом он указывает на особенное свойство воды, действующее при смене градиентов, оно заключается в том, что к фронту промерзания мигрирует связанная вода, а после оттаивания она переходит в свободную воду. Свободная же вода подвержена действию сил гравитации, поэтому она перестает мигрировать к фронту промерзания и стекает вниз по разрезу.

Возможность формирования пластовых льдов путем сегрегационного льдообразования рассматривал В.И. Соломатин — сторонник концепции погребенного генезиса этих льдов. Он совместно с сотрудниками Института криолитологии и гляциологии АН КНР [31] провел серию экспериментов по моделированию процесса влагопереноса из талого грунта в промерзающий слой, а также льдонакопления. Результаты эксперимента весьма показательны. Образцы грунта с равномерной влажностью промораживали сверху вниз. Миграция воды снизу к фронту промерзания и сегрегационное льдовыделение приводили к пучению грунта. Однако прослеживалась сложная динамика пучения с остановками, короткими этапами усадки грунта, а затем с новыми резкими скачками пучения. Такая динамика определялась неравномерным подтоком воды к растущему сегрегационному льду. Наблюдалось неоднократное перераспределение влажности грунта — обезвоживалась талая часть образца, повышалась влажность его мерзлой части. Максимальное льдонакопление отмечали непосредственно у поверхности мерзлого грунта. С глубиной степень изменения влажности убывала. Весь процесс проявился в криогенной текстуре, сформировавшейся в образце. Сверху вниз образовались следующие слои: прослой избыточного сегрегационного льдонакопления (на верхнем торце образца), прослой с массивной криогенной текстурой (т.е. слой иссушения), на нижнем торце образца снова появился шпир сегрегационного льда. Этот эксперимент подтвердил невозможность непрерывного миграционного подтока влаги, а потому невозможность роста ледяного пласта большой мощности.

Очевидно, что все приведенные выше особенности влагопереноса при эпигенетическом промерзании грунтов создают непреодолимые препятствия для длительной непрерывной миграции влаги с большой глубины, т.е. для неограниченного роста ледяного шлира и формирования крупных пластовых залежей.

Г.М. Фельдман [22] предложил вакуумно-фильтрационный механизм миграции воды к фронту промерзания при эпигенетическом примерзании грунтов, который способен, по его мнению, формировать ледяные слои практически неограниченной мощности. Механизм связан с многократными колебаниями границы промерзания в условиях открытой системы (при наличии неограниченного источника воды), что вызывает протаивание нижнего слоя промерзшего грунта и его последующее новое промерзание. Этот механизм успешно проверен в рамках лабораторного эксперимента [2]. Для образца с промерзающим грунтом, подстилаемым слоем воды, задавались соответствующие температурные условия: сверху отрицательная температура, сохранявшаяся постоянной, а снизу положительная температура, близкая к 0 °С. В верхнем промерзающем слое формировался ледяной шпир. Затем снизу повышалась температура, промерзание прекращалось, и большая часть ледяного шлира оттаивала. При следующем понижении нижней температуры до 0 °С снова начиналось промерзание грунта, граница промерзания продвигалась вниз, а вновь образовавшийся ледяной шпир имел большую толщину, чем первоначальный шпир. По мнению авторов работы [2], в зоне протаивания мерзлого грунта образуется вакуум вследствие уменьшения объема льда при его таянии. Затем при новом цикле замерзания под действием вакуума начинается фильтрация (всасывание) воды из нижележащего водоносного горизонта в зону протаивания и последующее ее замерзание. Фронт промерзания продвигается сверху вниз, а вместе с ним повторяется весь процесс и нарастает прослой льда. Авторы [2] считают, что с помощью этого механизма можно вырастить ледяной пласт любой мощности.

Отметим, что трудно перенести результаты экспериментов этих работ в природные условия. Предлагаемый вакуумно-фильтрационный механизм получен в лабораторных условиях при очень больших значениях температурного градиента, если и существующих в природе, то только в приповерхностных слоях (возможно, при пучении поверхности). Пластовые же льды чаще всего залегают на глубине нескольких

метров, а иногда и нескольких десятков метров. В эксперименте колебания границы промерзания задавали изменением температуры снизу, а температура на поверхности оставалась постоянно низкой. В природе же колебания границы промерзания контролируются изменением температуры на поверхности, поэтому в промерзающей толще сразу же меняется температурный градиент, а соответственно и интенсивность внедрения воды. Г.М. Фельдман [22] пишет, что колебания границы многолетнего промерзания в естественных условиях при эпигенетическом промерзании могут быть обусловлены длиннопериодными колебаниями климата и геотермическим тепловым потоком, а потому они невелики и с глубиной затухают. Все это привело его к выводу, что в естественных условиях колебания границы многолетнего промерзания не могут обеспечить возникновения заметного вакуума и непрерывного поступления огромных масс воды, необходимых для формирования пластовых льдов.

Роль колебательных возвратно-поступательных движений фронта промерзания—оттаивания в формировании аномально толстых ледяных шпиров отмечена и в других работах, например в работе В.Г. Чеверева [23], правда, в ней изложено другое описание процесса: в ходе кристаллизации мигрирующей воды происходит переход связанной воды в практически свободную. Во время промерзания свободная вода образует ледяные прослои вблизи фронта промерзания, а после их оттаивания легко впитывается в промерзающую зону под влиянием градиента потенциала влаги, тем самым утолщая (или объединяя) уже имеющиеся в мерзлой толще шпир льда. Однако этот механизм не обеспечивает непрерывного подтока воды к фронту промерзания для неограниченного роста ледяного прослоя.

Выводы:

— анализ экспериментального материала о миграции воды к фронту промерзания грунтов показал, что ни один из известных механизмов сегрегационного (миграционного) льдообразования при эпигенетическом промерзании не может обеспечить формирование крупных залежей пластовых льдов;

— образование наиболее широко распространенных пластовых льдов в морских отложениях происходило, скорее всего, другим путем. Описание иного механизма формирования пластовых льдов, способного, по нашему мнению, однотипно проявляться на больших территориях, подробно изложено в работах [25, 26].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баулин В.В., Белопухова Е.Б., Дубиков Г.И., Шмелев Л.Н. Геокриологические условия Западной Сибири. М.: Наука, 1967. 178 с.
2. Борозинец В.Е., Фельдман Г.М. Вакуумно-фильтрационный механизм образования мощных шпиров льда // Проблемы криолитологии. Вып. 9. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. С. 165—178.
3. Видяпин И.Ю., Чеверев В.Г. Влагопроводность промерзающих засоленных грунтов // Криосфера Земли. 2008. Т. 12, № 4. С. 43—45.
4. Втюрин Б.И. Подземные льды СССР. М.: Наука, 1975. 215 с.
5. Гасанов Ш.Ш. Криолитологический анализ. М.: Наука, 1981. 193 с.

6. Голубев В.И. Роль морских гидродинамических процессов в формировании пластовых на арктическом побережье // Мат-лы гляциол. исслед. 2007. Вып. 102. С. 32—40.
7. Гречищев С.Е., Шешин Ю.Б., Гречищева О.В. Моделирование сегрегационного формирования подземных пластовых льдов в различных геологических условиях // Криосфера Земли. 2000. Т. 4, № 4. С. 57—66.
8. Григорьев Н.Ф. Влияние подземных вод и экзогенных факторов на формирование азональных мерзлотных условий в районах Приенисейского севера // Гидрогеологические условия мерзлой зоны. Якутск, 1976.
9. Дубиков Г.И. Состав и криогенное строение мерзлых толщ Западной Сибири. М.: ГЕОС, 2002. 245 с.
10. Ершов Э.Д. Влагоперенос и криогенные текстуры в дисперсных породах. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 213 с.
11. Жесткова Т.Н. Формирование криогенного строения грунтов. М.: Наука, 1982. 215 с.
12. Каплянская Ф.А. Пластовые залежи подземных льдов в ледниковых отложениях на западном побережье п-ова Ямал у пос. Харасовой // Пластовые льды криолитозоны. Якутск, 1982. С. 71—80.
13. Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным. М.: Наука, 1974. 216 с.
14. Кузнецова Т.П., Рогов В.В., Шполянская Н.А. Верхнеплейстоценовый этап криолитогеоза на восточной окраине севера Западной Сибири // Развитие криолитозоны Евразии в верхнем кайнозое. М.: Наука, 1985. С. 52—67.
15. Попов А.И. О субмаринном типе криодиagenеза // Инж. геология. 1991. № 6. С. 49—55.
16. Рогов В.В. Основы криогенеза. Новосибирск: ГЕО, 2009. 195 с.
17. Соломатин В.И. Физика и география подземного оледенения. Новосибирск: ГЕО, 2013. 266 с.
18. Сумгин М.И. Вечная мерзлота почвы в пределах СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1937.
19. Тарноградский В.Д. О происхождении пластовых залежей подземных льдов на Карском побережье полуострова Ямал // Пластовые льды криолитозоны. Якутск, 1982. С. 80—89.
20. Тумель В.Ф. Игарское опытное подземелье в вечно-мерзлой толще. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1945.
21. Файнер Ю.Б., Файнер Т.Г. Некоторые аспекты палеогеографии верхнего плейстоцена северо-запада Средней Сибири // Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1982.
22. Фельдман Г.М. Передвижение влаги в талых и промерзающих грунтах. Новосибирск: Наука, 1988. 258 с.
23. Чеверев В.Г. Природа криогенных свойств грунтов. М.: Научный мир, 2004. 235 с.
24. Шполянская Н.А. Особенности льдообразования в четвертичных ленточных глинах района Игарки (на основе структурного и текстурного анализа мерзлой толщи) // Подземный лед. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1965. С. 141—156.
25. Шполянская Н.А. Криогенное строение дислоцированных толщ с пластовыми льдами как показатель их генезиса (север Западной Сибири) // Криосфера Земли. 1999. Т. 3, № 4. С. 61—70.
26. Шполянская Н.А. Особенности криолитозоны западного сектора Арктики в системе шельф—суша // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 50—57.
27. Шполянская Н.А., Стрелецкая И.Д. Генетические типы пластовых льдов и характер их распространения в Российской Субарктике // Криосфера Земли. 2004. Т. 8, № 4. С. 56—71.
28. Astakhov V.I. Pleistocene glaciations of northern Russia — a modern view // Boreas. 2012. Vol. 10. P. 1—24.
29. Beskow G. Tjaibildingen och Tjallyftningen med aerskild Hanyan till Vagar och jarnvagar // Sver. undersockn. Stockholm. Ser. C. 1935. N 375.
30. Mackay J.R. The origin of massive ice beds in permafrost; Western Arctic Coast, Canada // Can. J. Earth Sci. 1971. Vol. 8, N 4. P. 397—422.
31. Solomatina V.I., Cho Chou Zhou. Water migration and ice segregation in transition zone between melt and frozen ground // Permafrost and Periglacial Processes. 1994. N 3. P. 4.
32. Taber S. Perennially frozen ground in Alaska, its origin and history // Bull. Geol. Soc. Amer. 1943. Vol. 54.

Поступила в редакцию
28.04.2014

N.A. Shpolyanskaya

ABOUT THE MECHANISM OF FORMATION OF MASSIVE ICE BEDS (CRITICAL ANALYSIS OF SEGREGATION MECHANISM)

Genesis of large massive ice beds which are widely present on the northern plains of Russia is discussed. Underground ice is a source of all kinds of palaeogeographic information; therefore understanding of its genesis is of particular importance. Massive ice beds are an object of study since the 1960-s but their genesis is still a debatable point. There are several often controversial concepts, from the buried remnants of the ancient glacial cover to the direct submarine formation. According to an earlier concept massive ice beds are formed in the process of epigenetic ground freezing as a result of upward migration of ground water from the deep layers to the freezing level. The so-called segregation mechanism supported by molecular links of water in the ground is a principal one for formation of layered permafrost with texture-forming ice.

The article presents a critical analysis of the mechanism in terms of its capability to form heavy ice layers. A lot of experimental data are available now and their analysis proves that molecular links could not support large-distance water migration to the freezing surface. Thus, no long-term constant inflow of water which is a prerequisite of a large ice body formation is possible. The migration flow covers just small distances and is several times interrupted during the ground freezing leading to the formation of dehydration zones. Therefore the mechanism is capable of forming individual ice sub-layers (schliers) within the permafrost rather than massive ice beds.

Key words: massive ice beds, genesis of underground ice, segregation ice forming, water migration, epigenetic freezing.

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 556.114.2:556.55

О.Н. Ерина¹**ПРОГНОСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЯ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА И КАЧЕСТВА ВОДЫ В МОЖАЙСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНО ЖАРКУЮ ПОГОДУ²**

Приводится количественная оценка возможного изменения объема зоны острой гипоксии (с содержанием растворенного кислорода <2 мг/л) в Можайском водохранилище, головном в Москворецкой системе водоснабжения Москвы, в зависимости от водности и синоптических условий в вегетационный период. Наибольшее внимание уделено особенно неблагоприятным гидрометеорологическим условиям — сочетанию низкого половодья и жаркой антициклональной погоды с малым притоком воды к водохранилищу в меженный период.

Для расчета пространственно-временного распределения растворенного кислорода применена гидрологическая модель водохранилища ГМВ—МГУ, дополненная экологическим блоком. Верификация кислородного блока модели по данным 10 гидролого-гидрохимических съемок показала, что среднеквадратическое отклонение вычисленных в боксах значений содержания растворенного кислорода от его 609 измеренных величин за весь период расчета (361 сут.) составило $\pm 2,1$ мг/л, а средняя ошибка модельного расчета — $-0,6$ мг/л.

Сценарные модельные расчеты показали различия в развитии зоны гипоксии в зависимости от времени наступления жаркой погоды. В средневодный год с жаркой весной и низким половодьем содержание кислорода в водохранилище будет существенно ниже, чем в обычный год со средней водностью из-за слабого развития диатомовых водорослей и раннего наступления устойчивой температурной стратификации, а также из-за уменьшения растворимости растворенного кислорода при высокой температуре воды. Аномально жаркая погода в летний период может привести к появлению обширных зон гипоксии в гипolimнионе водохранилища, достигающих 36% от общего объема воды в водоеме и отрицательно влияющих на процессы формирования качества воды в нем.

Ключевые слова: растворенный кислород, гидроэкологическое моделирование, зоны гипоксии, жаркие периоды.

Введение. Содержание растворенного кислорода — одна из важнейших характеристик качества воды водохранилищ, так как служит интегральным показателем продукционно-деструкционных и динамических процессов, протекающих в водных экосистемах. Особенно важна эта характеристика при изучении стратифицированных водоемов в связи с тем, что плотностная стратификация препятствует обмену растворенным кислородом между эпилимнионом, где происходит его продуцирование в результате процесса фотосинтеза, и гипolimнионом, где O_2 расходуется на биохимическое окисление и дыхание. В условиях антициклональной погоды, характеризующейся слабым ветром и высокой температурой воздуха, кислород ниже слоя скачка плотности воды может исчезать полностью, что приводит к появлению восстановительных условий среды в гипolimнионе и увеличению интенсивности диффузионного потока биогенных веществ из донных отложений в воду.

Постановка проблемы. Исследование влияния гидрометеорологических условий на водные экосистемы требует проведения трудоемких регулярных наблюдений, отбора и обработки большого количества проб воды. Математическое моделирование позволяет составить представление о возможной реакции водной экосистемы без проведения учащенных полевых работ [4, 8, 9]. Более того, появляется возможность изучить реакцию системы на возникновение тех или иных непредсказуемых гидроклиматических ситуаций [1].

Цель работы — оценить возможное изменение размера зоны острой гипоксии (с содержанием растворенного кислорода <2 мг/л) в стратифицированном водохранилище в зависимости от водности и синоптических условий за вегетационный период. Наибольшее внимание уделено особенно неблагоприятному сочетанию гидрометеорологических условий — низкое половодье и преобладание жаркой антициклональной погоды с малым притоком воды к водохра-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Красновиловская учебно-научная база, инженер; *e-mail:* tamiblack@yandex.ru

² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 12-05-00176) и ФЦП “Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012—2020 годах” (проект 12-фцп-Н5-07).

нилищу в межлетний период. Рассмотрено влияние отдельных “жарких” циклов в течение вегетационного периода (жаркая весна, жаркое лето).

Исследования проводились для Можайского водохранилища, которое входит в Москворецкую систему водоснабжения Москвы. Это слабоэвтрофный водоем, в котором ежегодно возникающая стратификация в зимний и особенно в летний период способствует истощению запаса кислорода в гипolimнионе вследствие его потребления гидробионтами на дыхание и бактериальную деструкцию органического вещества.

Материалы и методы исследования. Для расчета пространственно-временного распределения растворенного кислорода применена разработанная на кафедре гидрологии МГУ имени М.В. Ломоносова гидрологическая модель водохранилища ГМВ—МГУ [6], дополненная экологическим блоком [3]. Водоем в ней представлен продольной последовательностью его отдельных частей — отсеков, состоящих из вертикальной совокупности однородных по свойствам воды горизонтальных слоев. Гидрологический режим имитируется с шагом 1 сут. по времени и 1 м по глубине. Неоднократное сравнение результатов модельных расчетов режима температуры и электропроводности с детальными данными фактических наблюдений [2, 7, 10] свидетельствует о высоком качестве воспроизведения блоком тепломассообмена модели ГМВ—МГУ этих характеристик водных масс в водохранилище. Именно этот факт сделал возможным дальнейшее совершенствование и оснащение модели экологическим блоком, в котором в числе прочих характеристик качества воды (ХКВ) рассчитывается содержание растворенного кислорода.

Переменная “растворенный кислород” (РК) относится к наиболее сложным (как по блок-схемам внутриводоемных связей, так и по формализациям внутриводоемных процессов) элементам имитационного моделирования экосистем. В блоке ГМВ—МГУ при вычислении концентрации РК учитываются следующие процессы: 1) поступление и отток РК в результате процессов водообмена; 2) продукция кислорода во время фотосинтеза; 3) потребление РК в результате процессов нитрификации; 4) потребление РК при разложении детрита; 5) потребление РК при дыхании зоопланктона; 6) потребление РК при дыхании рыб; 7) потребление РК на окисление стойкого и лабильного органического вещества; 8) потребление РК на окисление восстановленных веществ; 9) потребление РК донными отложениями.

Параметризация процессов выделения кислорода в процессе фотосинтеза проводилась по фитопланктонному блоку модели, обмен с атмосферой — по эмпирической связи со скоростью ветра, а потребление растворенного кислорода — по кинетическим уравнениям реакции 1-го порядка [12]. На первом этапе расчетов выполнялся подбор коэффициентов кислородного блока. Для этого использовали приводимые в литературе по экологическому моделированию зна-

чения коэффициентов, которые затем корректировали по результатам первичной верификации модели.

Верификация кислородного блока ГМВ—МГУ проведена по данным 10 гидролого-гидрохимических съемок, выполненных в течение 1984 г. примерно через равные промежутки времени с частотой станций наблюдения, равной 1 станция на 0,5 км² акватории водоема [11]. Водохранилище площадью 30,7 км² и длиной 28 км схематизировано 18-ю расчетными отсеками. Статистическая оценка результатов верификационного расчета показала, что среднеквадратическое отклонение вычисленных в боксах значений содержания растворенного кислорода от 609 его измеренных величин за весь период расчета (361 сут.) составило $\pm 2,1$ мг/л, а средняя ошибка модельного расчета — $-0,6$ мг/л. Такая оценка свидетельствует о вполне адекватном отображении моделью кислородного режима водохранилища в течение всего годового цикла.

Наибольшая погрешность расчета получена для половодья, когда в водоеме наиболее интенсивны динамические процессы. После схода льда увеличивается скорость повышения температуры воды и усиливается ее конвективное перемешивание до достижения температуры в водоеме ~ 4 °С, этот процесс в течение нескольких дней охватывает весь водоем.

В вегетационный период расхождения между рассчитанными и наблюдаемыми значениями РК могут быть вызваны погрешностями в расчете биомассы фитопланктона. По результатам моделирования в 1984 г. не обнаружены ярко выраженные всплески цветения, тогда как по данным наблюдений прослеживается рост содержания растворенного кислорода в поверхностном горизонте в мае и июне до 10 мг/л и более. Однако при оценке качества моделирования следует учитывать, что цветение водорослей в водоеме распределено пятнами. Данные съемок, по которым проводится верификация модели, представляют собой наблюдения в отдельных точках плесов, тогда как в результатах расчета для каждого горизонта (в модели — бокса) выдается среднее значение характеристики для всей площади расчетного отсека.

Модельное исследование влияния аномальных гидрометеорологических условий на режим кислорода состояло в двух сценарных расчетах пространственного распределения кислорода в водохранилище при следующих условиях.

В качестве исходных данных для обоих сценариев использованы реальные гидрометеорологические ряды, скомпонованные с необходимыми для расчетов данными. За основу взят средний по водности 2006 г. По кривой обеспеченности объема весеннего половодья р. Москва для расчетов выбрано очень маловодное половодье 2007 г. объемом 62,6 млн м³ (обеспеченность 98%).

Выбор “жарких” периодов основан на анализе данных метеостанции г. Можайск. Для сценариев выбраны и скомпонованы декады с самыми высокими значениями температуры, наблюдавшимися на мете-

останции за весь полувековой период существования Можайского водохранилища (таблица). Выбранные периоды характеризуются антициклональной погодой, практически полным отсутствием осадков и малым речным притоком.

Расходы рек Москва и Лусьянка, питающих водохранилище, задавались в соответствии с наблюдаемыми расходами воды в выбранные декады. Ежедневные ряды значений температуры и электропроводности, используемые для расчета плотности воды в притоках, задавались по установленным ранее закономерностям связи с расходами и температурой воздуха. Химико-биологические показатели (концентрация РК, содержание биогенных и органических веществ, биомасса фитопланктона) получены по результатам обобщения многолетних данных наблюдений. Режим сработки полезного объема водохранилища для всех вариантов расчета задавался с учетом диспетчерских правил работы Можайского гидроузла [5].

В расчетах использованы *сценарий 1* — сочетание гидрографа притока среднего по водности года с низким половодьем и жаркой весной (май), а также *сценарий 2* — тот же гидрограф и жаркое лето с начала июня до конца второй декады августа.

Ход уровня воды в Можайском водохранилище и суммарный приток воды с водосбора Можайского водохранилища в 2006 г. и по выбранным сценариям показан на рис. 1.

Результаты исследований и их обсуждение. При прохождении половодья с малым объемом на месяц раньше, чем в средневодном году, водная толща может прогреться до 6 °С к концу апреля, тогда как в расчетном 2006 г. температура воды в последнем отсеке составляет всего ~2 °С по всей вертикали (рис. 2, а). Вертикальное распределение содержания растворенного кислорода в приплотинном районе Можайского водохранилища указывает на то, что в этот период уже может начаться развитие диатомовых водорослей, вызывающее повышенное содержание РК в поверхностном горизонте 30 апреля.

В случае реализации сценария 1 (рис. 2, б), при котором чрезвычайно низкое половодье сочетается с установлением жаркой погоды в мае, в этот период может произойти быстрый прогрев эпилимниона. В таком случае в конце мая различие температуры в поверхностном слое приплотинного отсека может превышать 10 °С по сравнению с расчетным 2006 г.

(рис. 2). Быстрое увеличение температуры воды в мае в свою очередь приведет к менее активному развитию диатомовых водорослей в связи с неблагоприятными для них температурными условиями. Таким образом, в средневодном году весенний период в Можайском водохранилище может быть в 2 раза продуктивнее, чем в год с низким половодьем и жаркой весной (максимальная общая биомасса фитопланктона в мае 2006 г. в приплотинном районе водохранилища по расчетам составляет 7,2 мг/л, тогда как по сценарию 1 — 3,7 мг/л). По этой причине содержание РК в поверхностном горизонте по сценарию 1 может быть на 2 мг/л меньше, чем в 2006 г. Однако уже к концу июня различия между расчетом и сценарием 1 в вертикальном распределении температуры и содержания растворенного кислорода в приплотинном отсеке практически полностью исчезают и больше не возникают вплоть до конца вегетационного периода.

При реализации сценария 2 (рис. 2, в), несмотря на изменившиеся метеорологические и гидрологические характеристики периода половодья, в мае не будет происходить столь интенсивный прогрев воды, вертикальные эпюры температуры воды сценарного и диагностического расчетов в конце месяца практически идентичны. С наступлением жаркой погоды в начале июня различия температуры воды между расчетом и сценарием 2 постепенно возрастают и становятся наиболее выраженными в конце июля: устойчивая плотностная стратификация, сохраняющаяся при антициклональной погоде на протяжении 2 мес., приведет к исчезновению растворенного кислорода уже на глубине 8 м в приплотинном отсеке, тогда как по расчету в 2006 г. концентрация стремилась к нулю на глубине 14 м и ниже. В верховьях и среднем районе водохранилища возникновение гидрометеорологических условий, аналогичных сценарию 2, может привести к полному исчезновению растворенного кислорода ниже верхней границы слоя температурного скачка. При этом активного развития фитопланктона в жаркий летний период может не происходить в связи с радиационным подавлением роста водорослей. По этому сценарию окончание периода жаркой антициклональной погоды приходится на 20 июля, после чего погода изменяется на циклональную, происходит ветровое перемешивание водной толщи и обогащение ее растворенным кислородом в результате аэрации. К концу августа в приплотин-

Метеорологические характеристики наиболее жарких декад в вегетационный сезон, использованные для сценарных расчетов

Среднедекадные метеорологические характеристики	Сценарий 1			Сценарий 2							
	май			июнь			июль			август	
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
Год	1996	1975	2007	1986	1999	1999	1999	2010	2010	2010	2010
Температура, °С	16,7	18,2	21,9	20,7	22,5	22,6	22,5	25,0	26,6	26,7	22,3
Сумма осадков, мм	16,9	4,4	6,1	9,2	12,9	1,8	2,8	0	6	0	12

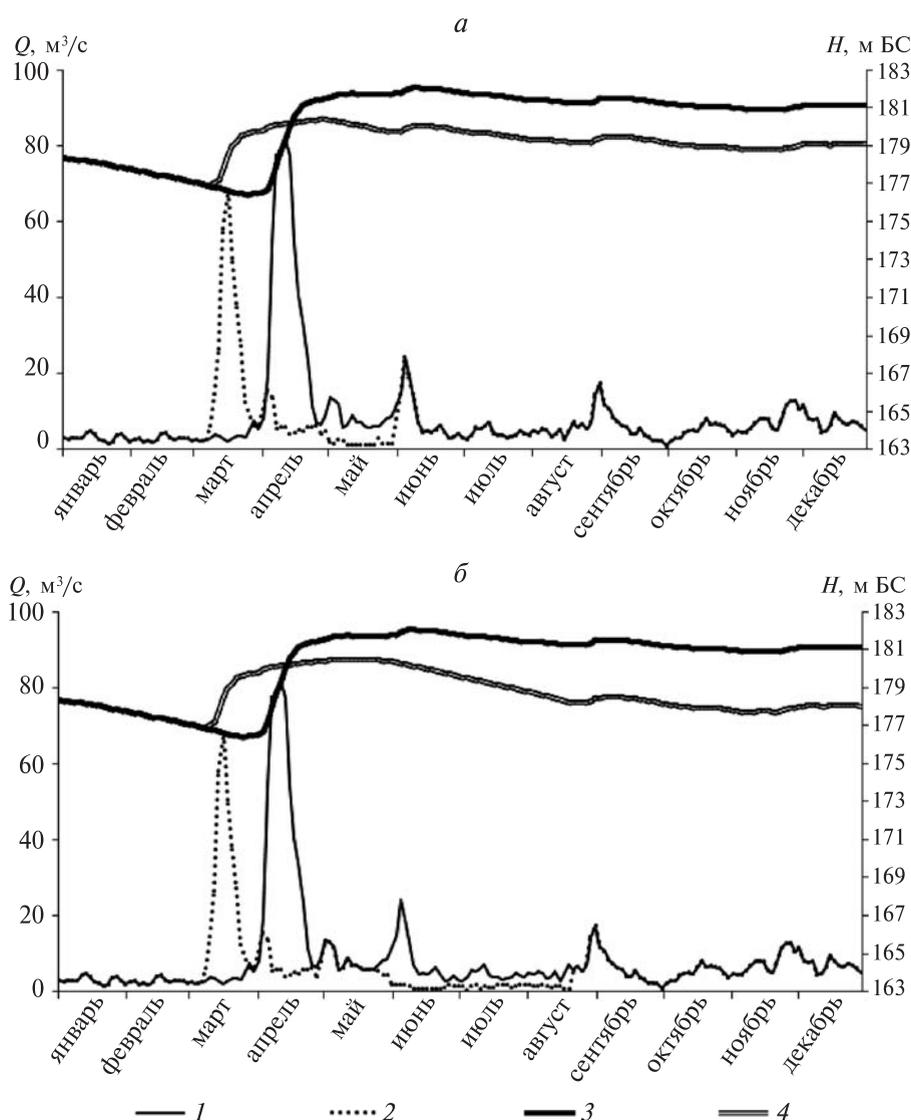


Рис. 1. Суммарный приток воды в Можайское водохранилище и ход уровня в 2006 г. (1, 3) и по сценарию 1 (2, 4) (а) и такой же суммарный приток воды в Можайское водохранилище и ход уровня в 2006 г. (1, 3) и по сценарию 2 (2, 4) (б)

ном отсеке полного перемешивания водной толщи еще не будет, что обусловлено большой глубиной.

Изменение объема зоны гипоксии в течение вегетационного периода по результатам диагностического и сценарных расчетов представлено на рис. 3. На графике видно, что колебания величины объема зоны гипоксии с содержанием РК <2 мг/л в 2006 г. и при реализации сценария 1 могут происходить квази-синхронно. При этом обедненные растворенным кислородом водные массы в Можайском водохранилище в случае сочетания низкого половодья с жаркой весной будут, вероятно, занимать меньший объем, чем в средневодном году. Это объясняется разницей в объеме половодий, что в результате отражается на ходе уровня (рис. 1) и толщине гипolimниона — чем выше уровень, тем больше толщина этого слоя, а следовательно, и его объем. Возникновение пиков на графике — следствие гидрометеорологических условий за вегетационный период — при кратковременных похолоданиях, сопровождающихся большой скоростью

ветра, происходит разрушение плотностной стратификации и обогащение водной толщи растворенным кислородом. Это приводит к уменьшению объема зоны гипоксии, однако при последующем установлении погоды антициклонального типа поступающий кислород довольно быстро расходуется на окисление органического вещества и дыхание биоты.

При реализации сценария 2 из-за меньшего объема водохранилища по сравнению с расчетным 2006 г. и малого притока в течение всего летнего периода зона гипоксии может достигать 36% от объема водохранилища, что соответствует доле объема гипolimниона в общем объеме Можайского водохранилища в конце жаркого летнего периода.

Выводы:

— экологический блок гидрологической модели водохранилища позволяет адекватно воспроизводить пространственно-временные изменения содержания растворенного кислорода в стратифицированном Можайском водохранилище и представляет собой эф-

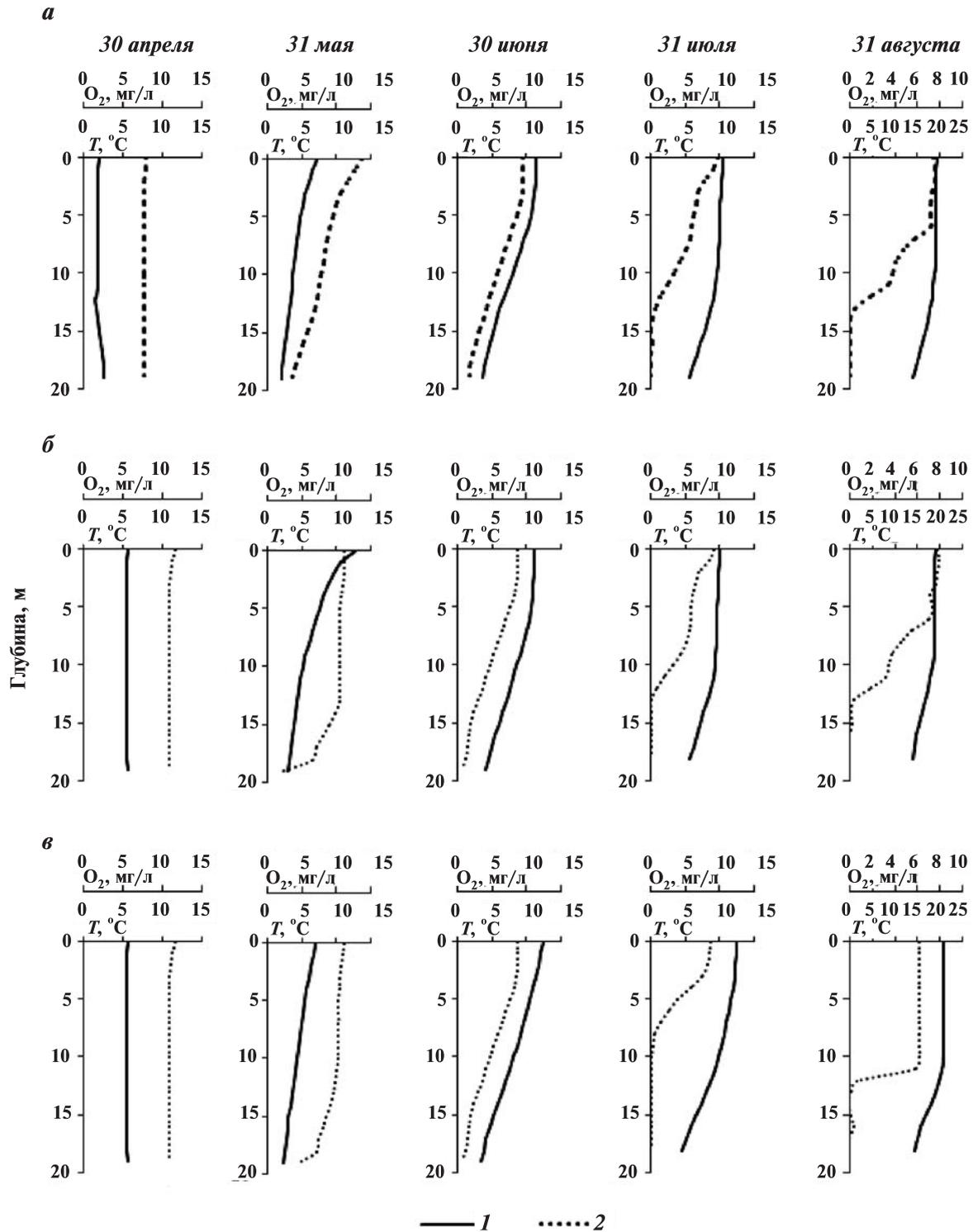


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды (1) и содержания растворенного кислорода (2) в приплотинном отсеке Можайского водохранилища, рассчитанное по модели *а* — в летний период в 2006 г., *б* — по сценарию 1, *в* — по сценарию 2

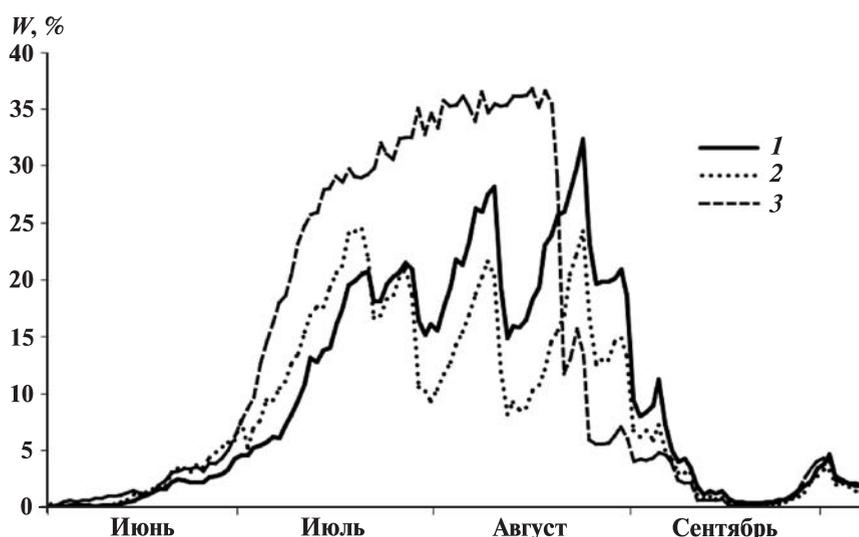
фективный инструмент для исследования влияния аномальных гидрометеорологических ситуаций на кислородный режим водохранилища;

— в средневодный год с жаркой весной и низким половодьем содержание растворенного кислорода в водохранилище будет существенно ниже, чем в обычный год со средней водностью из-за слабого развития диатомовых водорослей и раннего наступления устой-

чивой температурной стратификации, а также из-за уменьшения растворимости кислорода при повышении температуры воды;

— аномально жаркая погода летом приводит к появлению обширных зон гипоксии в гипolimнионе водохранилища, достигающих 1/3 общего объема воды в водоеме и отрицательно влияющих на качество воды в нем.

Рис. 3. Изменение объема зоны гипоксии (в % от объема всего водохранилища) с содержанием растворенного кислорода <2 мг/л в Можайском водохранилище: 1 — по результатам расчета в 2006 г., 2 — по сценарию 1, 3 — по сценарию 2



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гречушникова М.Г., Эдельштейн К.К. Возможные климатические изменения гидрологического режима в Рыбинском водохранилище // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 6. С. 61—68.
2. Гречушникова М.Г., Эдельштейн К.К. Формирование синоптического и сезонного слоев температурного скачка в пресном водоеме // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2004. № 3. С. 31—38.
3. Даценко Ю.С., Пуклаков В.В. Моделирование развития фитопланктона в Можайском водохранилище // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 3. С. 43—47.
4. Йоргенсен С.Э. Управление озерными системами. М.: Агропромиздат, 1985. 160 с.
5. Основные положения правил использования водных ресурсов водохранилищ Московской водной системы. М.: Минводхоз РСФСР, 1968. 38 с.
6. Пуклаков В.В. Гидрологическая модель водохранилища: руководство для пользователей. М.: ГЕОС, 1999. 96 с.

7. Пуклаков В.В., Эдельштейн К.К. Расчеты плотностных течений в Можайском водохранилище // Метеорология и гидрология. 2001. Т. 26, № 5. С. 94—104.
8. Страшкраба М., Гнаук А. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование. М.: Мир, 1989. 376 с.
9. Эдельштейн К.К., Даценко Ю.С. Лимнологическое моделирование. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 82 с.
10. Эдельштейн К.К., Даценко Ю.С., Пуклаков В.В. Экспериментальная оценка погрешности модельного расчета стратификации водной толщи в водохранилище // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2005. № 6. С. 20—24.
11. Эдельштейн К.К., Еришова М.Г., Пуклаков В.В. Моделирование гидрологической структуры долинных водохранилищ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1989. № 2. С. 50—58.
12. Cole T., Buchak E. CE-QUAL-W2: A two-dimensional, laterally averaged, hydrodynamic and water quality model, vers. 2.0 // Techn. Rep. EI-95-1. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 1995.

Поступила в редакцию
13.03.2014

O.N. Yerina

PROGNOSTIC EVALUATION OF CHANGES OF THE OXYGEN REGIME AND WATER QUALITY IN THE MOZHAISK RESERVOIR UNDER EXTREMELY HOT WEATHER

Quantitative assessment of possible changes of the hypoxia zone (with dissolved oxygen concentrations less than 2 mg/l) depending on water amount and synoptic conditions of the vegetation season was carried out for the Mozhaysk reservoir, the main element in the Moskva River water supply system of Moscow. Particular attention was given to the analysis of unfavorable hydrometeorological situations, such as combination of the low level of seasonal flood, hot anticyclone weather and small water input into the reservoir during the low-flow period.

The spatial-temporal pattern of dissolved oxygen distribution was calculated using the hydrological model of the reservoir (GMV—MGU) with additional ecological unit. The oxygen unit of the model was verified basing on the data of 10 hydrological-hydrochemical surveys. Standard deviation of calculated values of dissolved oxygen concentrations from 609 measurements during the whole period of modeling (361 days) was $\pm 2,1$ mg/l and mean absolute error of model calculation was $-0,6$ mg/l.

Scenario model calculations revealed different parameters of the hypoxia zone in relation to the timing of hot weather. A combination of medium flow, hot spring and low seasonal flood results in much lower oxygen concentrations in the reservoir as compared to a typical medium-flow year, because of the small amount of diatoms, earlier formation of stable thermal stratification and lower concentrations of dissolved oxygen under high water temperatures. Extremely hot summer weather may cause the formation of vast hypoxia zones in the hypolimnion layer (up to 36% of the total water amount) and affect water quality in the reservoir.

Key words: dissolved oxygen, hydroecological modeling, hypoxia zones, hot waves.

УДК 551.4.012→551.435.1(2)

Д.А. Безухов¹, В.Р. Беляев², Н.Н. Иванова³

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ И НАПРАВЛЕННОСТИ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ СКЛОНАХ В ПРЕДЕЛАХ БАСЕЙНА Р. ПЛАВА (ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)⁴

Выполнена количественная оценка интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах малого водосбора с преобладанием пахотных земель (бассейн р. Плава, Тульская область, Среднерусская возвышенность). Для определения внутрибассейнового перемещения материала использован комплексный подход: фактические значения величины смыва и аккумуляции определяли методом почвенно-морфологического профилирования, для расчета интенсивности смыва при ливневом и талом стоке применялась существенно модифицированная комбинация двух методик (USLE и уравнения ГГИ), а также радиоцезиевый метод. Сопоставление полученных независимыми методами результатов дало возможность получить достоверную информацию для расчета баланса наносов. Выявлено, что водосбор балки характеризуется значительным отрицательным балансом вещества — почти 80% наносов, поступающих с эродированных обрабатываемых склонов, выносятся через замыкающий створ в главную реку.

Анализ разновременных картографических материалов и космических снимков позволил реконструировать историю землепользования исследуемого бассейна с середины XIX в. — восстановлены границы пашни для 5 временных интервалов. Предложена примерная схема функционирования водосбора за период наиболее интенсивного сельскохозяйственного освоения (после земельной реформы 1861 г.) с учетом тенденций саморазвития балочной системы и динамики границ земельных угодий.

Ключевые слова: эрозионно-аккумулятивные процессы, внутрибассейновое переотложение наносов, овражно-балочные системы, радиоцезиевый метод, баланс наносов, реконструкция истории землепользования, Среднерусская возвышенность.

Введение. Эрозия почв, несмотря на внешнюю невыразительность непосредственных морфологических проявлений, по суммарным негативным последствиям для человечества не уступает многим катастрофическим рельефообразующим процессам. В мировом масштабе до 80% площади сельскохозяйственных земель испытывает умеренное или сильное воздействие эрозионных процессов. По состоянию на 1995 г. среднемировая интенсивность эрозионной потери почвы с пашни составляла 30 т/га в год при разбросе наблюдаемых величин от 0,5 до 400 т/га в год [14]. При этом ежегодные общемировые потери площади пахотных земель в результате эрозионной деградации достигают 10 млн га. Значительно труднее количественно оценить косвенные негативные последствия эрозии почв, связанные с заилением и эвтрофикацией водотоков и водохранилищ, деградацией малых рек и перераспределением сорбируемых наносами загрязняющих веществ [15].

В статье на примере радиоактивного изотопа ¹³⁷Cs показана возможность использования радиоактивной метки в сочетании с другими независимыми

методами для количественной оценки интенсивности эрозии почв на обрабатываемых склонах, оценки баланса наносов малых водосборов, а также изучения влияния внешних факторов, таких, как изменения землепользования на динамику баланса наносов. Поскольку исследования выполнены на территории, испытавшей в 1986 г. значительное радиоактивное загрязнение в результате атмосферных выпадений после аварии на Чернобыльской АЭС (так называемое Плавское цезиевое пятно, Плавский район Тульской области, бассейн р. Плава), одновременно решали и радиоэкологическую задачу — оценивали многолетнюю трансформацию поля первичного радиоактивного загрязнения ¹³⁷Cs в условиях, когда эрозионно-аккумулятивные процессы являются доминирующим агентом латеральной миграции вещества в ландшафтах [10].

Постановка проблемы. Главная цель работы — количественная оценка эрозионно-аккумулятивных процессов в пределах разных элементов сельскохозяйственно освоенного малого водосбора для составления баланса наносов этого водосбора и определе-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, студент; *e-mail:* goldplacer@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* valdemar_b@rambler.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* nadine_iv@mail.ru

⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 13-05-00162 и 14-05-92105) и Программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект № НШ-1010.2014.5).

ния доли рыхлого материала, выносимого в главную реку. Водосбор балки “Святой источник” принципиально отличается от ранее исследованных малых водосборов в бассейне р. Плава [5, 10, 12, 13] гораздо более тесной связью с главной рекой, уклоном тальвега основной балки и активным развитием линейной эрозии (донных врезов) в ее днище. Поэтому было сделано предварительное предположение, что такие балочные водосборы должны характеризоваться существенно большей долей выносимых в принимающую реку наносов (коэффициент доставки [2]) по сравнению с ранее исследованными водосборами.

Подобные водосборы — потенциальные поставщики рыхлого материала и связанных с ним загрязнителей широко распространены в бассейне р. Плава. Поэтому помимо собственно изучения перераспределения наносов наша работа имеет и самостоятельное радиоэкологическое значение для оценки многолетней динамики трансформации поля радиоцезиевого загрязнения бассейна р. Плава — одной из наиболее сильно затронутых чернобыльскими выпадениями радионуклидов территорий на европейской части России.

Материалы и методы исследований. Для количественной оценки темпа эрозии почв применяли радиоцезиевый, почвенно-морфологический методы, эмпирико-математическую модель. В основе радиоцезиевого метода лежит свойство изотопа прочно и химически необратимо фиксироваться глинистыми минералами почвенных частиц непосредственно после его выпадения из атмосферы. Последующее перераспределение изотопа в ландшафте происходит преимущественно посредством латеральной механической миграции частиц почв и наносов в результате эрозионно-аккумулятивных процессов. Поэтому, сравнивая запасы ^{137}Cs в почве на склонах и в днищах долин с заведомо геоморфологически стабильными позициями (плоскими водоразделами), можно определить преобладающие процессы эрозии, аккумуляции или относительную стабильность поверхности для каждой опробованной точки [9]. Поскольку динамика выпадения изотопа из атмосферы хорошо известна (в частности, на исследуемой территории более 95% относится к чернобыльскому загрязнению, выпавшему практически одномоментно весной 1986 г.), по разнице запасов в интересующей точке и на геоморфологически стабильной позиции можно вычислить среднюю интенсивность эрозионно-аккумулятивных процессов по специально разработанным калибровочным зависимостям [17]. Основные расчетные зависимости для радиоцезиевого метода представлены так называемыми простой пропорциональной и упрощенной масс-балансовой моделями [8]. Кроме того, для аккумулятивных позиций можно установить хорошо обоснованную микростратиграфию отложений по датированным пикам интенсивности выпадения ^{137}Cs из атмосферы и вычислить среднюю скорость осадконакопления для нескольких промежутков времени [2].

Почвенно-морфологический метод основан на сопоставлении изменения мощности верхних горизонтов почвы (для черноземов А+АВ) в сериях разрезов, заложенных по продольным профилям на исследуемых участках склонов, с эталонными значениями, определенными в разрезах, расположенных на геоморфологически стабильных позициях [7]. При этом уменьшение мощности горизонтов почвы оценивается интегрально за весь период распашки, что позволяет при наличии информации о продолжительности этого периода перейти к среднегодовой интенсивности потерь почвы [5].

Использованная расчетная модель представляет собой существенно модифицированную комбинацию двух методик [6]. Для расчета смыва с дождевым стоком использован подход, положенный в основу универсального уравнения эрозии почв (USLE), предложенного в работе [18] и многократно модифицированного позднее [16]. Для расчета стока и смыва при снеготаянии используется подход, разработанный в Государственном гидрологическом институте (ГГИ) [1]. Достоинства, недостатки и основные допущения всех трех указанных методов подробно изложены в указанных публикациях.

В пределах исследуемого водосбора на распаханном склоне были заложены две трансекты (SS-10 и SS-11) с почвенными разрезами, где отобраны интегральные пробы для измерения активности ^{137}Cs в лабораторных условиях (5 разрезов и 6 точек пробоотбора соответственно). Интегральные пробы на содержание ^{137}Cs отбирали цилиндрическим металлическим пробоотборником диаметром 80 мм, который забивали в грунт на глубину 30 см, заведомо превышавшую мощность пахотного горизонта (на момент полевых работ она составляла 15–20 см), чтобы получить полный запас изотопа в каждой точке. Трансекты выбраны на склонах с разной морфологией. Разрезы серии SS-10 были заложены на рассеивающем склоне, серии SS-11 — на собирающем. Кроме того, для плано-высотного обоснования положения точек пробоотбора и более детальной характеристики формы склона выполнена тахеометрическая съемка вдоль этих трансект.

Для определения статистически достоверной величины первоначального выпадения ^{137}Cs из атмосферы на выровненной поверхности местного водораздела на юго-западе от исследуемого водосбора был заложен опорный участок, включавший один почвенный разрез с послынным отбором проб через 5 см до глубины 40 см с фиксированной площадью сечения 15×15 см (8 образцов) и 12 интегральных проб, отобранных тем же пробоотборником, который использовался для точек на склонах.

Для оценки аккумуляции наносов в днище балки и ее отвершках заложено 13 разрезов на тех участках, где наблюдались визуальные признаки осадконакопления. После подробного описания из разрезов отобраны образцы на радиоцезиевый анализ послынно — через 10 см с поперечным сечением 10×10 см до глубины

40 или 60 см (в зависимости от строения вскрытой разрезом толщи).

В лаборатории все образцы почв и отложений подвергались просушиванию, гомогенизации и выделению фракции <2 мм, после чего с помощью гамма-спектрометра определяли концентрацию радиоизотопов в образцах.

Результаты исследований и их обсуждение. Статистическая обработка результатов анализа запасов ^{137}Cs в почве на опорном участке плоского водораздела показала, что локальная (несколько метров — несколько десятков метров) пространственная вариабельность запасов умеренная, коэффициент вариации составляет 11,4%. С учетом 95%-го доверительного интервала получено опорное значение запаса изотопа для исследованной площадки, которое составило $56\ 115 \pm 3620$ Бк/м² ($\pm 6,5\%$). Анализ глубинного распределения изотопа в опорном разрезе показал типичную форму эпюры, характерную для пашни, — практически равномерное распределение в пахотном горизонте и незначительное проникновение ниже максимальной глубины вспашки (<1,5%). Таким образом, это опорное значение можно использовать для количественной оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов радиоцезиевым методом в зоне преобладания чернобыльского загрязнения [3].

Сопоставление результатов количественной оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов вдоль двух исследованных склоновых трансект тремя независимыми методами — радиоцезиевым, почвенно-морфологическим и по эмпирико-математической модели USLE/ГГИ — приведено на рис. 1. По результатам применения радиоцезиевого метода среднегодовой темп эрозии на склонах варьирует в пределах 2,4—61,0 т/га в год, среднее значение для распаханых склонов составляет 18,7 т/га в год для пропорциональной модели и 24,3 т/га в год для простой масс-балансовой модели. Эти данные характеризуют скорость почвенной эрозии за 25-летний период сельскохозяйственного освоения (1986—2011). Результаты, полученные по почвенно-морфологическому методу, колеблются в пределах 0—16,2 т/га в год, при этом в нижней точке трансекты S-11 наблюдается аккумуляция, которая оценивается средней величиной 2,5 т/га в год. Эти значения характеризуют весь период освоения изучаемой территории, который по документальной информации (карты и писцовые книги Генерального межевания) оценивается нами приблизительно в 360 лет. Подчеркнем, что среднескользящая величина эрозии, рассчитанная почвенно-морфологическим методом, для некоторых точек находится в пределах ошибки измерения, которая оценивается в $\pm 1,0$ т/га в год. Расчетные показатели потенциального среднегодового смыва почвы для типичных севооборотов, полученные с помощью объединенной эмпирико-математической модели USLE/ГГИ, находятся в интервале 0—47,0 т/га в год (рис. 1).

Такие существенные различия значений, полученных тремя независимыми методами, объясняются разным временным масштабом действия радиоцезиевого и почвенно-морфологического методов, а для эмпирико-математической модели — невозможностью учесть переотложение наносов по длине склона. В целом для трансект характерна тенденция к увеличению среднегодового темпа эрозионных процессов от водораздельной поверхности к нижней части склона, по направлению увеличения крутизны склона (рис. 1). Локальные максимумы в верхних частях трансект, вероятнее всего, связаны с механическим сносом пахотного горизонта орудиями обработки почвы, а в нижней — с развитием небольших промоин, некоторые из которых идентифицируются на космических снимках.

Из 13 разрезов, расположенных в предполагаемых зонах аккумуляции в днище балки, серии разрезов SS-1—4 находились в ее верховьях, где при полевых исследованиях обнаружено аккумулятивное тело значительной мощности, а серии SS-5—6 — в средней части балки. Результаты расчета темпа аккумуляции радиоцезиевым методом по данным 13 разрезов обобщены в таблице. Установлено, что на изучаемом водосборе скорость аккумуляции в днище балочной системы составляет в среднем 63,4—87,2 т/га в год, в отвершках верховьев основной балки (разрезы SS-1-2, SS-1-3) — 23,8—47,6 т/га в год, а в днище основной балки — 71,4—95,2 т/га в год. Относительно низкий темп аккумуляции на некоторых участках днища, скорее всего, связан с чередованием периодов врезания и заполнения, соответствующих развитию небольших регрессивно смещающихся по днищу донных врезов, либо с локальными размывами вдоль скотопрогонных троп на залуженных участках балочных террас. Аномально высокие значения аккумуляции (166,5—190,3 т/га в год) связаны с положением разрезов SS-3-1 на месте тела заиления, образовавшегося в результате прорыва плотины прудка в днище балки.

Для расчета баланса наносов площадь основных геоморфологических элементов водосбора балки “Святой источник” с учетом данных полевых наблюдений определена по топографической карте масштаба 1:25 000 и космическим снимкам. Область сноса на распаханых склонах имеет площадь 109,7 га, буферная зона (задернованные борта балки) между областью сноса и днищем балки — 40,8 га, днище балки — 2,0 га, днища отвершков балки — 0,6 га.

Баланс для количественной оценки эрозионно-аккумулятивных процессов можно рассчитать по формуле

$$W = A_1 + A_2 + A_3 + V,$$

где W — объем смыва с распаханых склонов в период стока талых и ливневых вод, A_1 — объем аккумуляции наносов на склонах, A_2 — аккумуляция в отвершках балки, A_3 — аккумуляция в днище балки, V — поступление наносов в речное русло.

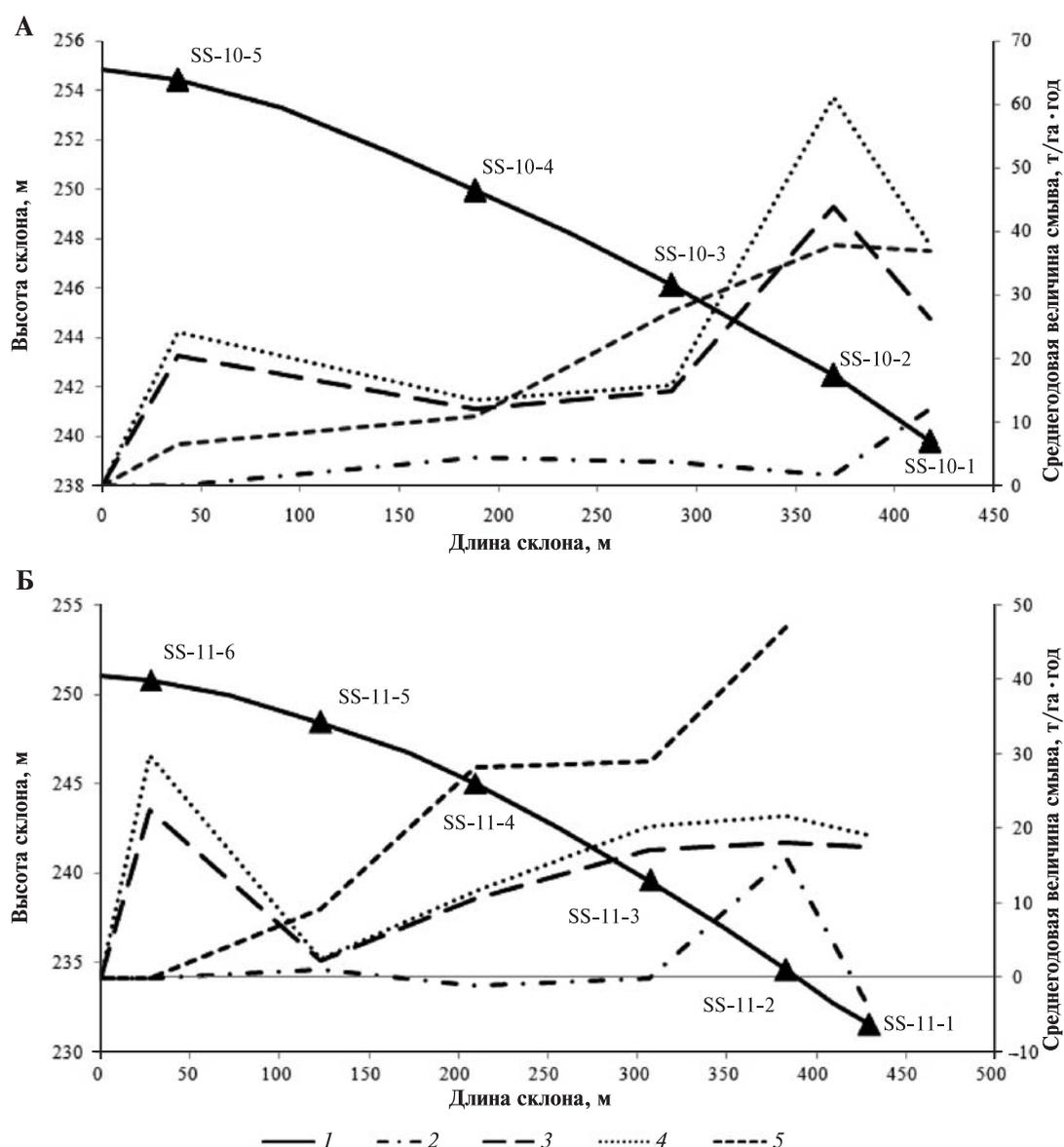


Рис. 1. Продольные профили трансект (А — SS-10, Б — SS-11) и оценка среднегодового темпа перераспределения наносов (т/га в год) разными методами. Отрицательные значения соответствуют аккумуляции, положительные — эрозии. 1 — продольный профиль склона; 2 — почвенно-морфологический метод; 3, 4 — радиоцезиевый метод (3 — пропорциональная модель, 4 — масс-балансовая модель); 5 — эмпирико-математическая модель USLE/ГГИ

С использованием приведенных выше величин среднегодовой скорости эрозионно-аккумулятивных процессов вычислены составляющие баланса наносов исследуемого водосбора (рис. 2). В нашем случае оценить переотложение наносов в буферной зоне не представляется возможным из-за отсутствия данных, но можно предполагать низкий темп аккумуляции в ней из-за периодического формирования и заполнения промоин на бортах балки, которые служат основными путями доставки наносов с распаханых водосборных склонов в днище.

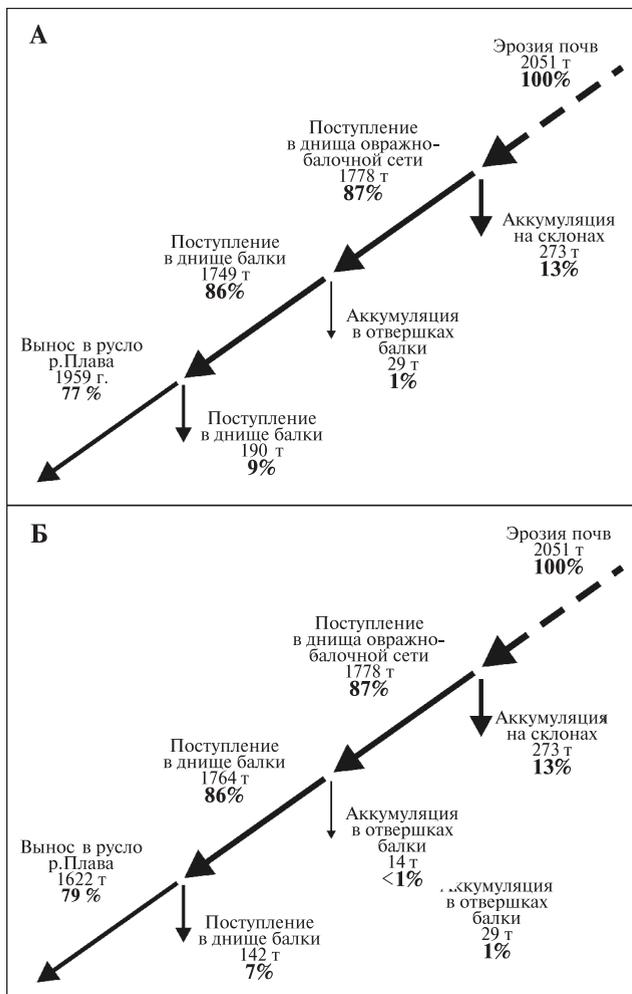
Согласно полученным нами результатам суммарное переотложение наносов в пределах распаханых склонов и в днищах составляет 21–23% от общего количества материала, смытого с обрабатываемых водосборных склонов. В русло р. Плава выносятся

77–79% смытого с водосбора материала. Таким образом, основная часть наносов, удаляемых процессами почвенной эрозии со склонов, проходит по водосбору транзитом и выносятся непосредственно в главную реку, тогда как на аккумулятивных позициях на склонах (преимущественно у нижней границы пашни) и в днище балки откладывается незначительное количество рыхлого материала. Это подтверждает высказанное выше предварительное предположение, что изучаемый водосбор служит мощным поставщиком наносов. В процессе флювиальной транспортировки происходит сортировка материала по крупности — в русло реки выносятся значительное количество мелкозема, содержащего радиоактивный загрязнитель, а в конусе выноса балки остается преимущественно относительно чистый крупнообломочный материал.

Среднегодовой темп аккумулятивных процессов в днище балки за 1986—2010 гг., определенный по заглоблению пика активности ^{137}Cs 1986 г. в исследованных разрезах для двух различных допущений о глубине его залегания

Разрез	Геоморфологическая позиция	Темп аккумуляции в днище балки, оцененный радиоцезиевым методом			
		максимальный		наиболее вероятный	
		мм/год	т/га в год	мм/год	т/га в год
SS-1-1	днище балки	8	95,2	6	71,4
SS-1-2	то же	4	47,6	2	23,8
SS-1-3	днище отворшка	4	47,6	2	23,8
SS-2-1	днище балки	4	47,6	2	23,8
SS-2-3	то же	8	95,2	6	71,4
SS-3-1	днище пруда	16	190,3	14	166,5
SS-3-2	балочная терраса	4	47,6	2	23,8
SS-4-1	днище балки	4	47,6	2	23,8
SS-4-2	вторичный врез	4	47,6	2	23,8
SS-5-1	то же	12	142,7	10	118,9
SS-5-2*	балочная терраса	—	—	—	—
SS-6-1	вторичный врез	12	142,7	10	118,9
SS-6-2	балочная терраса	8	95,2	6	71,4
Среднее	-	7,3	87,2	5	63,4

* На участке разреза SS-5-2 за послечернобыльский период преобладали эрозионные процессы.



Переотложение наносов в балочном звене весьма ограничено, локализовано в основном в верховьях балки и ее отворшков, а также на небольших фрагментах балочных террас. Площадь аккумулятивных участков днищ незначительна.

При количественной оценке среднемноголетней скорости аккумуляции на основании изучения микростратиграфии осадков по эпюре распределения ^{137}Cs по глубине, особенно при отборе проб слоями мощностью 5—10 см, один из источников неопределенности кроется в том, какую глубину залегания внутри слоя принять для того или иного датированного пика концентрации изотопа. Для устранения этой неопределенности баланс наносов рассчитывали для двух вариантов вычисления объемов аккумуляции в днище. Для определения содержания ^{137}Cs последовательно выбраны слои мощностью 10 см, полученные для них значения приняты средними для слоя. В первом варианте глубина залегания слоев, которые обогащены радионуклидами, относящимися к чернобыльскому пику выпадения, принималась равной глубине подошвы соответствующего слоя (рис. 2, А), во втором — глубине, на которой находилась середина соответствующего слоя (рис. 2, Б). При расчетах баланса наносов для второго случая темп аккумуляции можно считать наиболее вероятным (таблица).

Рис. 2. Среднегодовой баланс наносов водосбора «Святой источник», полученный с использованием радиоцезиевого метода: А — при максимальном темпе аккумуляции, Б — при наиболее вероятном темпе аккумуляции

Разница величины поступления наносов в р. Плаву составила всего 2%, что дает основание использовать при балансовых расчетах оба варианта количественной оценки аккумулятивных процессов.

Для исследованного водосбора определен коэффициент доставки наносов по формуле,

$$k = \frac{\mathcal{E}S - AS_a}{\mathcal{E}S} \cdot 100\%,$$

где \mathcal{E} — темп эрозии на склонах, т/га в год; A — аккумуляция наносов на склонах, т/га в год; S — площадь области сноса; S_a — площадь области аккумуляции.

Величина коэффициента доставки со склонов в днище балки достигает 86,6% (для водосборов “Локна” и “Ляпуновка” 71,7 и 87,4% соответственно [10]). По сравнению с другими типами балочных водосборов бассейна р. Плава исследуемый водосбор вносит наиболее значительный относительный вклад в заиление реки (77–79% наносов, выносимых из балки, попадают в русло, рис. 2) и превосходит по скорости склоновой эрозии все остальные (среднегодовой смыв почвы с распаханых склонов на водосборах “Локна” и “Ляпуновка” не превышает 12 т/га в год) [10–13].

По динамике сельскохозяйственного землепользования, полученной на основании совместного ана-

лиза разновременных картографических источников и данных дистанционного зондирования, определены изменения положения основных рубежей переотложения наносов и приближенно реконструирована история развития малой эрозионной формы “Святой источник” за период интенсивного сельскохозяйственного освоения (рис 3). В период земельной реформы в середине XIX в. происходила практически полная распашка водосбора, что отразилось в преимущественном поступлении наносов на задернованные борты балок (рис. 3, А). Последовавшее за этим интенсивное развитие плоскостного смыва и линейной эрозии, отраженное на карте размывов, построенной А.Г. Козменко в 1912 г. (рис. 3, Б), привело к некоторому сокращению пахотных земель за счет передвижения нижних границ пашни на более высокий гипсометрический уровень, а следовательно, к увеличению поступления наносов в днище балки. Таким образом, зона переотложения наносов вдоль нижней границы пашни сместилась в сторону водораздела, расширилась площадь задернованных подножий междуречных склонов, что привело к увеличению доли аккумулирующегося на склонах материала в балансе наносов. В послевоенное время произошло еще одно перемещение нижней границы пашни, по-видимому, связанное

с попытками стабилизировать развитие многочисленных промоин на правом борту балки и прилегающем участке водосборного склона (рис. 3, В). Об этом свидетельствует угловатый характер современной границы пашни, огибающей вершины наиболее крупных промоин (рис. 3, Д).

По аналогии со многими другими подобными овражно-балочными системами можно предположить, что в истории развития балки “Святой источник” за последние 150 лет наблюдались стадии активного врезания, регрессивного роста и выработки предельной длины [4]. За это время отметки тальвега балки понизились на несколько метров, сформировались балочные террасы вдоль тыловых швов в его нижней и средней частях. С первой половины XX в. эрозионные процессы стали постепенно зату-

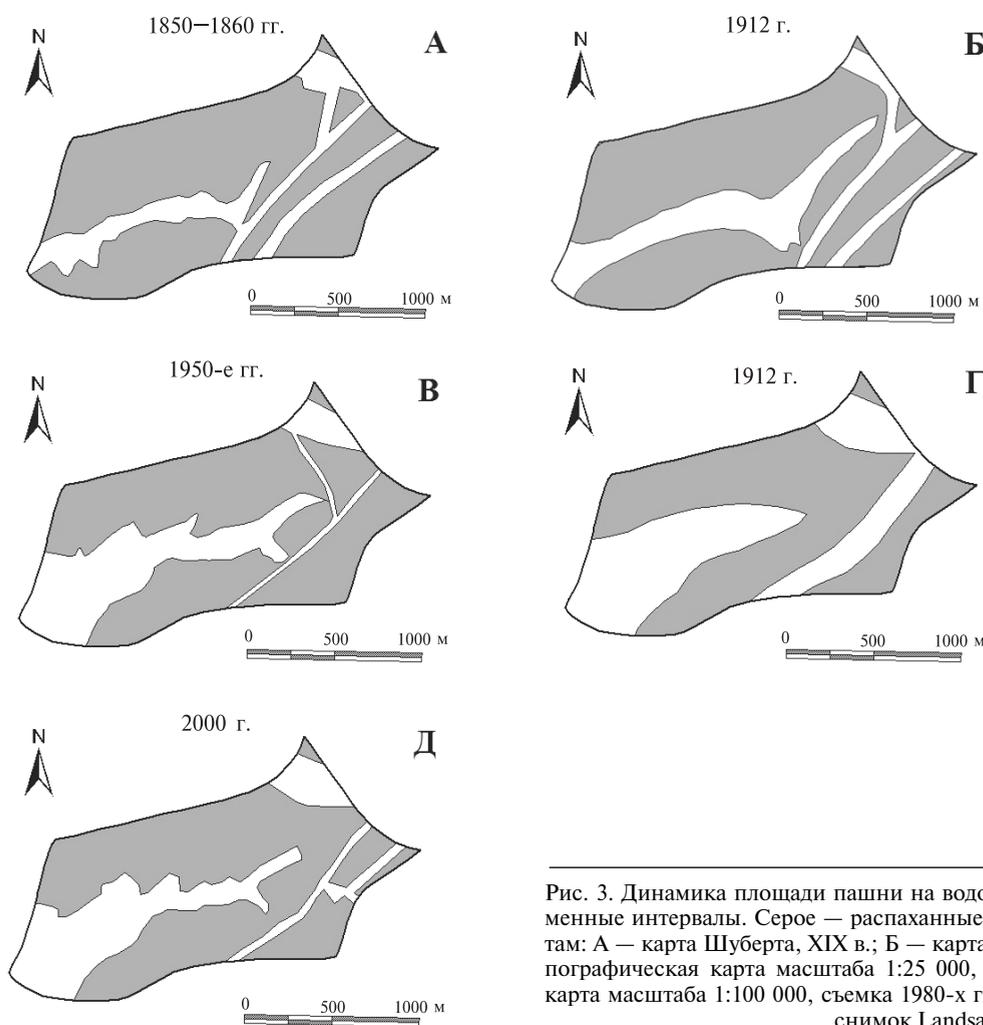


Рис. 3. Динамика площади пашни на водосборе “Святой источник” за разные временные интервалы. Серое — распаханые участки, белое — нераспаханые по картам: А — карта Шуберта, XIX в.; Б — карта размывов А.Г. Козменко, 1912 г.; В — топографическая карта масштаба 1:25 000, съемка 1950-х гг.; Г — топографическая карта масштаба 1:100 000, съемка 1980-х гг. с коррекцией 1993 г.; Д — космический снимок Landsat ETM, 2002 г.

хоть. В настоящее время эта малая эрозионная форма находится на стадии формирования выработанного продольного профиля, реализуемой за счет периодического развития относительно крупных донных врезов. Основная черта развития водосбора в последние десятилетия — постепенное уменьшение выноса наносов в главную реку за счет увеличения доли перераспределения и аккумуляции на склонах в верховьях балочной системы. Это определяется сочетанием тенденции к саморазвитию овражно-балочной системы (переход к стадии формирования выработанного продольного профиля) и изменениями сельскохозяйственного землепользования (постепенное смещение нижних границ пашни вверх как реакция на активное развитие плоскостного смыва и линейной эрозии в наиболее крутых нижних прибрежных частях водосборных склонов).

Выводы:

— среднегодовая эрозия почв за послечернобыльский период (25 лет) на распаханых склонах водосбора “Святой источник” по данным радиоцезиевого метода достигает 20–30 т/га в год. Скорость аккумуляции в днище балки за этот же период по глубине залегания пика концентрации ^{137}Cs (1986) составляет в среднем 6–10 мм/год (70–120 т/га в год). Однако площадь зоны аккумуляции в верховьях балки весьма невелика, на большей части ее длины преобладает эрозия (регрессивный рост донных врезов) или транзит материала. Аккумуляцию наносов на склонах удалось обнаружить только почвенно-морфологическим методом в нижней части одной из двух исследованных трансект, ее среднегодовая интенсивность за весь период сельскохозяйственного освоения не превышает 2,5 т/га в год;

— по данным 13 аккумулятивных разрезов, в каждом из которых послыйный отбор проб выполнен

с интервалом 10 см, показано, что допущение о положении чернобыльского пика концентрации ^{137}Cs в середине или у нижней границы соответствующего образца не существенно влияет на оценку баланса наносов в масштабе всего водосбора. Это определяется в целом незначительной долей перераспределения материала в пределах водосбора “Святой источник” (21–23%), который служит активным поставщиком наносов и связанных с ними загрязняющих веществ в р. Плава (доля выносимых наносов составляет 77–79%);

— основная тенденция развития исследованного водосбора в последние десятилетия заключается в постепенном уменьшении выноса наносов в главную реку за счет увеличения доли внутрисклонового перераспределения и аккумуляции в верховьях балочной системы. Она определяется постепенным снижением интенсивности эрозионных процессов в овражно-балочной системе в результате достижения стадии выработанного продольного профиля, с одной стороны, и сокращением площади пашни с выведением из обработки наиболее сильноэродируемых крутых прибрежных участков водосборных склонов — с другой.

В будущем предполагается оценить баланс наносов и связанное с ним перераспределение радиоцезиевого загрязнения чернобыльского происхождения для всего бассейна р. Плава (площадь около 2000 км²) за 25–30-летний период, а также определить долю радиоактивного загрязнения, экспортируемую за его пределы в р. Упа, а также степень его влияния на загрязненность пойменных осадков ниже устья Плавы.

Авторы выражают искреннюю благодарность принимавшим участие в полевых работах, лабораторной подготовке и анализах образцов А.К. Алябьевой, В.Н. Голосову, Т.С. Дайковской, М.М. Иванову, Н.Н. Луговому, М.В. Маркелову, Т.А. Парамоновой, М.М. Петрику, А.М. Феоктистову, Е.Н. Шамшуриной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобровицкая Н.Н. Эмпирический метод расчета смыва со склонов // Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. С. 202–211.
2. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
3. Голосов В.Н., Маркелов М.В., Беляев В.Р., Жукова О.М. Проблемы определения пространственной неоднородности выпадений ^{137}Cs для оценки темпов эрозионно-аккумулятивных процессов // Метеорология и гидрология. 2008. № 4. С. 30–45.
4. Зорина Е.Ф. Овражная эрозия: закономерности и потенциал развития. М.: ГЕОС, 2003. 170 с.
5. Иванова Н.Н., Голосов В.Н., Маркелов М.В. Сопоставление методов оценки интенсивности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабатываемых склонах // Почвоведение. 2000. № 7. С. 898–906.
6. Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 200 с.
7. Ларионов Г.А., Литвин Л.Ф., Ажигиров А.А. Аккумулятивные (наносные) почвы как индикатор водной эрозии // География и природные ресурсы. 1990. № 3. С. 142–146.
8. Маркелов М.В. Современные эрозионно-аккумулятивные процессы в верхних звеньях гидрографической сети лесной и лесостепной зон. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 198 с.
9. Belyaev V.R., Golosov V.N., Kuznetsova J.S., Markelov M.V. Quantitative assessment of effectiveness of soil conservation measures using a combination of ^{137}Cs radioactive tracer and conventional techniques // Catena. 2009. Vol. 79. P. 214–227.
10. Belyaev V., Shamshurina E., Markelov M. et al. Quantification of river basin sediment budget based on reconstruction of the post-Chernobyl particle-bound ^{137}Cs redistribution // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. Vol. 356. Wallingford, 2012. P. 394–403.
11. Evrard, O., Belyaev V., Chartin C. et al. Tracing the dispersion of sediment contaminated with radionuclides in catchments exposed to Chernobyl and Fukushima fallout // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment. IAHS Publ. Vol. 356. Wallingford, 2012. P. 412–417.
12. Golosov V., Panin A., Markelov M. Chernobyl ^{137}Cs redistribution in the small basin of the Lokna river, Central Russia // Physics and Chemistry of the Earth. 1999. Vol. 24, N 10. P. 881–885.

13. *Panin A.V., Walling D.E., Golosov V.N.* The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia // *Geomorphology*. 2001. Vol. 40. P. 185–204.

14. *Pimentel D., Harvey C., Resoduramo P.* et al. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits // *Science*. 1995. Vol. 267. P. 1117–1123.

15. *Pimentel D.* Soil erosion: a food and environmental threat // *Environment, Development and Sustainability*. 2006. Vol. 8. P. 119–137.

16. *Renard K., Foster G., Weesies G.* et al. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised

Universal Soil Loss Equation (RUSLE) // *USDA Agriculture Handbook*. 1997. Vol. 703. 384 p.

17. *Walling D.E., He Q.* Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements // *Environment. Quality*. 1999. N 28. P. 611–622.

18. *Wishmeier W.H., Smith D.D.* Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rocky mountains // *ARS—USDA in Cooperation with Purdue University, Purdue Agric. Exp. Sta. Handbook*. 1965. Vol. 282. 15 p.

Поступила в редакцию
02.06.2014

D.A. Bezukhov, V.R. Belyayev, N.N. Ivanova

**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF INTENSITY AND TRENDS OF EROSION
AND ACCUMULATION PROCESSES ON CULTIVATED SLOPES
WITHIN THE PLAVA RIVER BASIN (THE TULA OBLAST)**

The intensity of fluvial erosion and accumulation processes was evaluated for a small, mainly cultivated, catchment area within the Plava River basin (the Tula oblast, the Srednerusskaya Upland). Three independent approaches were applied to evaluate the material movement within the area: soil-morphological profiles, modified combination of USLE and GGI equation, radiocaesium method. Comparison of the results provided sufficient information for the calculation of sediment budget. The catchment under study has largely negative balance of sediments, i.e. about 80% of matter from the cultivated slopes is exported to the main river through the catchment outlet.

The analysis of topographic maps and space images for different dates allowed reconstructing the history of land use of the catchment under study, i.e. identifying the arable lands for five time periods. A tentative scheme of the catchment area functioning during the period of the most intensive agricultural development (after the 1861 land tenure reform) is suggested. It takes into account the trends of self-evolution of the balkas system and the dynamics of land use types boundaries.

Key words: erosion and accumulation processes, sediment redistribution, gully and balka system, radiocaesium method, sediment budget, land use changes, Srednerusskaya Upland.

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 501.807

Е.Ю. Новенко¹, А.Н. Цыганов², Е.М. Волкова³, К.В. Бабешко⁴, Ю.А. Мазей⁵ДИНАМИКА ЛАНДШАФТОВ И КЛИМАТА НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ В ГОЛОЦЕНЕ⁶

Представлены новые результаты комплексного палеогеографического изучения карстово-суффозионного болота “Клюква” (Белевский район, Тульская обл.), а также реконструкции динамики растительности в голоцене, обусловленной климатическими изменениями и воздействием антропогенного фактора. Согласно полученным данным, в бореальном периоде голоцена на изучаемой территории были распространены сосново-березовые леса, вероятно, унаследованные от перигляциальной растительности поздневалдайской ледниковой эпохи. Распространение широколиственных лесов в бассейне верхней Оки началось около 7800 кален. л.н. (атлантический период), начиная приблизительно с 7500 кален. л.н., широколиственные леса из дуба, липы, вяза с участием березы стали доминирующим компонентом растительного покрова вплоть до последних нескольких столетий. Изменения растительности болота, сообществ раковинных амеб и свойств торфяной залежи и растительного покрова окружающей территории указывают на то, что климатические условия поздней фазы атлантического периода (термического максимума голоцена) были более теплыми и сухими, чем современные, возможно, за счет сокращения количества осадков в летний период. В течение второй половины голоцена наиболее существенные изменения как на локальном (экосистемы болота), так и на региональном уровне (бассейн верхней Оки на северо-западе Среднерусской возвышенности) произошли 5000 и 2500 кален. л.н. и соответствуют основным рубежам истории природной среды в голоцене.

Коренные изменения растительного покрова произошли только в историческое время в результате хозяйственной деятельности человека. По-видимому, распространение ели в этот период обусловлено не столько изменением климатических условий, сколько влиянием антропогенного фактора, когда ель получила конкурентные преимущества при уничтожении широколиственных пород.

Ключевые слова: голоцен, спорово-пыльцевой анализ, раковинные амебы, реконструкция растительности и климата, Среднерусская возвышенность.

Введение. Комплексные исследования долгопериодной динамики ландшафтов и климата для разных регионов России приобрели особую актуальность в связи с решением ряда задач, связанных с прогнозом развития окружающей среды в условиях быстрых природных и антропогенных изменений [5, 9]. Большое значение в подобных исследованиях приобрели реконструкции, основанные на данных изучения природных архивов — ледниковых кернов, озерных и болотных отложений. Результаты реконструкций палеорастительности и водно-минерального питания болотной экосистемы, выполненные на основе данных спорово-пыльцевого и ризоподного анализов, а также изучения ботанического состава, свойств и радиоуглеродного датирования торфяной залежи небольшого олиготрофного болота “Клюква” (Белев-

ский район, Тульская обл.), позволили провести сравнительный анализ динамики растительности и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене и определить влияние хозяйственной деятельности человека на растительность региона на разных этапах освоения территории.

Объект изучения — болото “Клюква” — уникальный элемент ландшафта и единственное водораздельное грядово-мочажинное болото в Тульской области. Такое положение в рельефе (в отличие от пойменных болот, наиболее часто исследованных в зонах широколиственных лесов и лесостепи [4, 7]), позволяет рассмотреть изменения растительного покрова окружающей территории без искажений, которые могут быть следствием привноса вещества водами реки или нарушений торфяной залежи. Так как болото

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, вед. науч. с., канд. геогр.н.; *e-mail:* lenanov@mail.ru

² Пензенский государственный университет, науч. с., канд. биол. н.; *e-mail:* andrey.tsyganov@bk.ru

³ Тульский государственный университет, доцент, канд. биол. н.; *e-mail:* convallaria@mail.ru

⁴ Пензенский государственный университет, аспирант; *e-mail:* fyark@yandex.ru

⁵ Пензенский государственный университет, профессор, докт. биол. н.; *e-mail:* yurimazei@mail.ru

⁶ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 14-05-00550, 13-05-00958, 13-05-90764_мол_рф_нр, 14-04-31472_мол_а, 13-05-97513_р_центр_а); анализ ризоподных данных, проведенный Ю.А. Мазеем, выполнен при поддержке гранта РНФ 14-14-00891.

находится на южной границе распространения болот этого типа [3], его экосистема должна быть особенно чувствительна к колебаниям температуры и увлажнения.

Постановка проблемы. Проблемам состояния ландшафтных систем и климата в голоцене, взаимодействию человека и окружающей среды посвящено большое количество работ, например [5, 8, 9]. В меньшей степени затрагивались аспекты реконструкции растительности в региональном и локальном масштабах [11], однако это весьма важно для оценки тенденций естественных вариаций окружающей среды в условиях прогнозируемых климатических изменений [9].

Другая не менее важная проблема, рассмотренная нами, — роль антропогенного фактора в формировании растительности в голоцене. Центр европейской части России имеет такую длительную историю хозяйственного освоения [4, 7, 11] и естественные ландшафты претерпели настолько существенные изменения, что иногда невозможно представить их доагрикультурный облик. В связи с этим палеогеографические реконструкции для северо-запада Среднерусской возвышенности приобретают большое значение при восстановлении истории растительности региона.

Материалы и методы исследований. Болото “Клюква” (N 53,834812; E 36,252488) находится на 5 км восточнее г. Белев (Тульская обл.), занимает площадь около 1 га. Это олиготрофное болото, сформированное в карстово-суффозионном понижении на склоне водораздела, который обращен к правому борту долины р. Ока. Залежь болота подстилается флювиогляциальными песками.

Климат в районе исследования умеренно континентальный, соответствующий переходному положению территории между умеренно влажными северо-западными районами и более теплыми и сухими районами юго-восточной части европейской России. По данным метеостанции в г. Тула среднегодовая температура составляет +5,5 °С, средняя температура января и июля –9,7 и +19 °С соответственно. Осадков выпадает около 600 мм в год (<http://www.meteo.ru>). Почвы на изучаемой территории дерново-подзолистые. В растительном покрове преобладают смешанные сосново-елово-широколиственные леса с участием естественно растущих ели, сосны, липы, дуба, клена остро-

лиственного. На песчаных почвах распространены сосновые боры с участием в травянистом ярусе редких для этой области черники и брусники.

Описание разреза и отбор образцов на спорово-пыльцевой и ризоподный анализы, детальный ботанический анализ торфа и радиоуглеродное датирование проводились в ходе полевых работ в 2009 и 2011 гг. Работы выполнены при помощи ручного торфяного бура “Eijelkamp”.

Определение абсолютного возраста образцов сделано в радиоуглеродной лаборатории Института географии РАН. Всего получено 7 радиоуглеродных датировок (таблица).

Обработка проб для анализа ботанического состава торфа, определение степени разложения и зольности торфа, подготовка проб для спорово-пыльцевого анализа выполнялись по стандартным методикам. Образцы для микроскопирования при ризоподном анализе готовили согласно модифицированной методике, основанной на фильтровании и концентрировании водных суспензий [6]. Интервал отбора образцов для всех видов анализов составлял 5 см. В каждом образце при ризоподном анализе подсчитано не менее 150 особей раковинных амёб, при палинологическом — около 500 пыльцевых и споровых зерен.

Климатические реконструкции выполнены методом лучших аналогов [10]. В основе этого метода лежит математическая процедура поиска для ископаемого пыльцевого спектра его наиболее близкого аналога в базе данных из 650 поверхностных проб, доступных в Российской палинологической базе данных (<http://pollendata.org>). Климатические условия территории происхождения спектра—аналога принимаются в качестве реконструкции условий прошлого.

Результаты исследований и их обсуждение. *Анализ ботанического состава торфа* позволил охарактеризовать залежь как переходную и выделить 3 зоны: 0—50 см — верховой, 50—200 см — переходный, 200—250 см — низинный торф (рис. 1).

Спорово-пыльцевой анализ образцов торфяной залежи показал, что пыльца древесных пород доминирует во всех изученных пыльцевых спектрах. В нижней части разреза преобладает пыльца сосны и березы. С глубины 220 см и выше существенную долю в спек-

Результаты радиоуглеродного анализа образцов разреза болота “Клюква”

Лабораторный номер ИГАН	Материал	Глубина, см	Радиоуглеродный возраст, ¹⁴ C л.н.	Интервал калиброванного возраста (1σ), кален. л.н.	Вероятность
4062	торф	30—40	1050±70	915—1058	1
4064	торф	60—70	2400±70	2345—2495	0,765437
4063	торф	130—140	4880±70	5582—5664	0,744976
4061	торф	160—170	6610±80	7439—7522	0,704618
4058	торф	220—230	6980±80	7728—7869	0,842565
4049	торф	240—250	8140±100	8989—9278	1
4069	гиттия	265—270	8350±100	9264—9478	1

рах составляет пыльца широколиственных пород. В спорово-пыльцевой диаграмме разреза на основании изменений в составе спектров выделено 8 пыльцевых зон (рис. 1).

Ризоподный анализ. В результате анализа 53 образцов из торфяной колонки обнаружено 35 таксонов раковинных амёб (рис. 2). Наиболее обильные таксоны в исследованных образцах представлены *Archerella flavum* (47,7% от общего количества учтенных раковинных амёб), *Heleopera sylvatica* (12,8%), *Arcella arenaria* (5,4%). Эти виды также имели высокую встречаемость и обнаружены как минимум в половине исследованных образцов. На основе анализа видовой структуры в сообществе раковинных амёб в исследованной торфяной залежи можно выделить три основные зоны (рис. 2).

Определение **потерь при прокаливании** (зольность торфа) показало, что для всей торфяной залежи характерно очень высокое содержание органического вещества (рис. 3). Потери при прокаливании составляют 97—99%, за исключением интервала 95—135 см, где содержание органического вещества уменьшается и достигает минимума на глубине 112 см (84,5%). В верхних 20 см разреза величина потерь при прока-

ливании также снижается. Высокие показатели содержания органического вещества свидетельствуют о том, что поступление минерального вещества с окружающей территории было минимальным почти на всем протяжении формирования торфяной залежи.

Согласно результатам изучения строения разреза болота “Клюква” и радиоуглеродного датирования, накопление органического вещества в изучаемом карстово-суффозионном понижении началось в раннем голоцене. Радиоуглеродная датировка подошвы органических отложений составляет 9370 ± 115 кален. л.н. (календарных лет назад). Развитие изучаемой болотной экосистемы началось с формирования травянистых сообществ с участием сосны и березы. Интенсивный сток с минеральных почв способствовал произрастанию влаголюбивых эвтрофных видов как сосудистых растений, так и мохообразных. Данные ризоподного анализа (рис. 2, 3) свидетельствуют о том, что уже на начальных этапах развития болота сфагновые мхи произрастали в обводненных условиях и формировали некрупные дерновины, приуроченные к межкочечным понижениям. Присутствие ксерофильных видов (*Assulina muscorum* и *Arcella arenaria*) может свидетельствовать о нестабильном гидрологическом режиме на

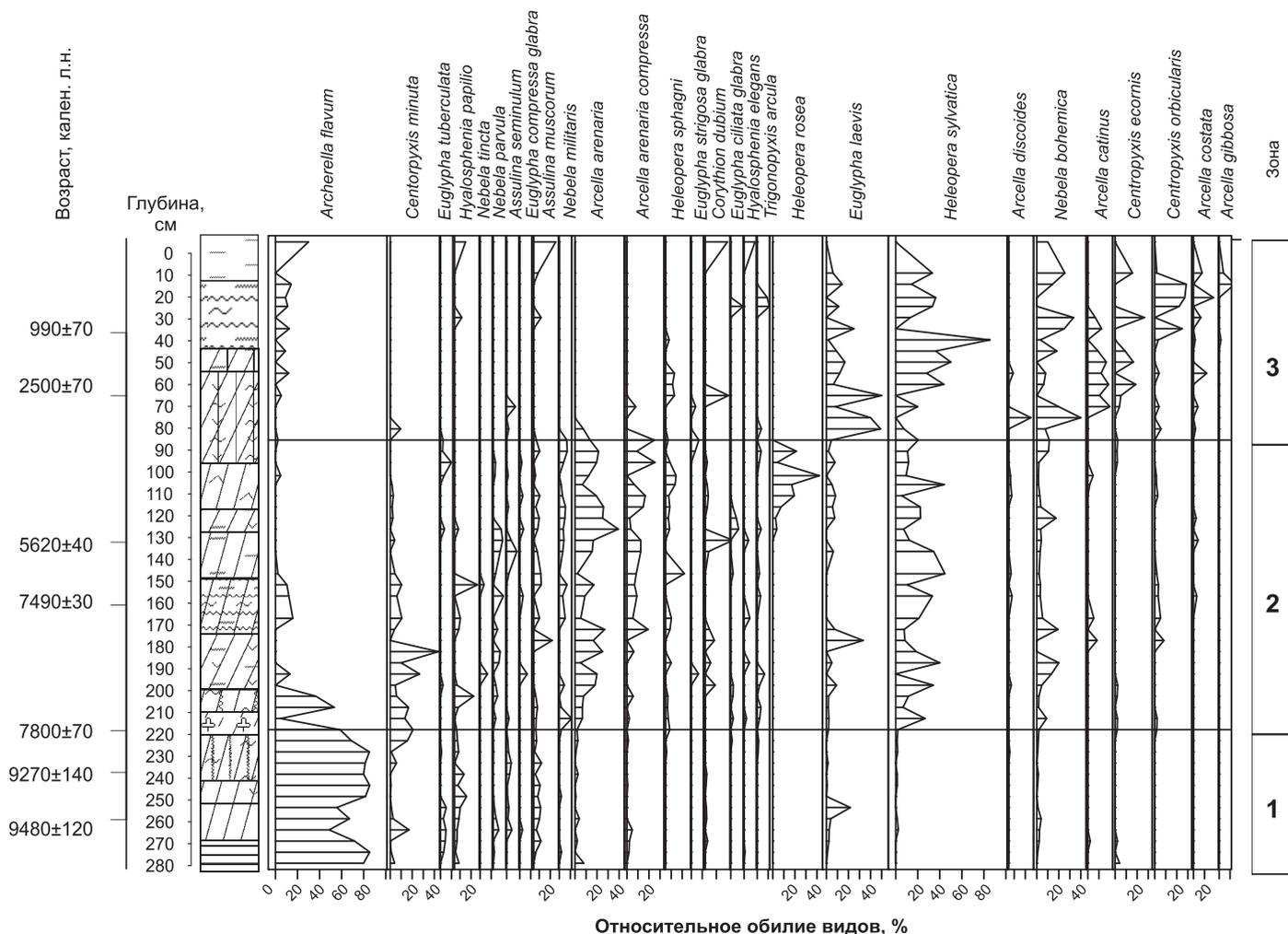


Рис. 2. Диаграмма ризоподного состава. Условные обозначения см. на рис. 1

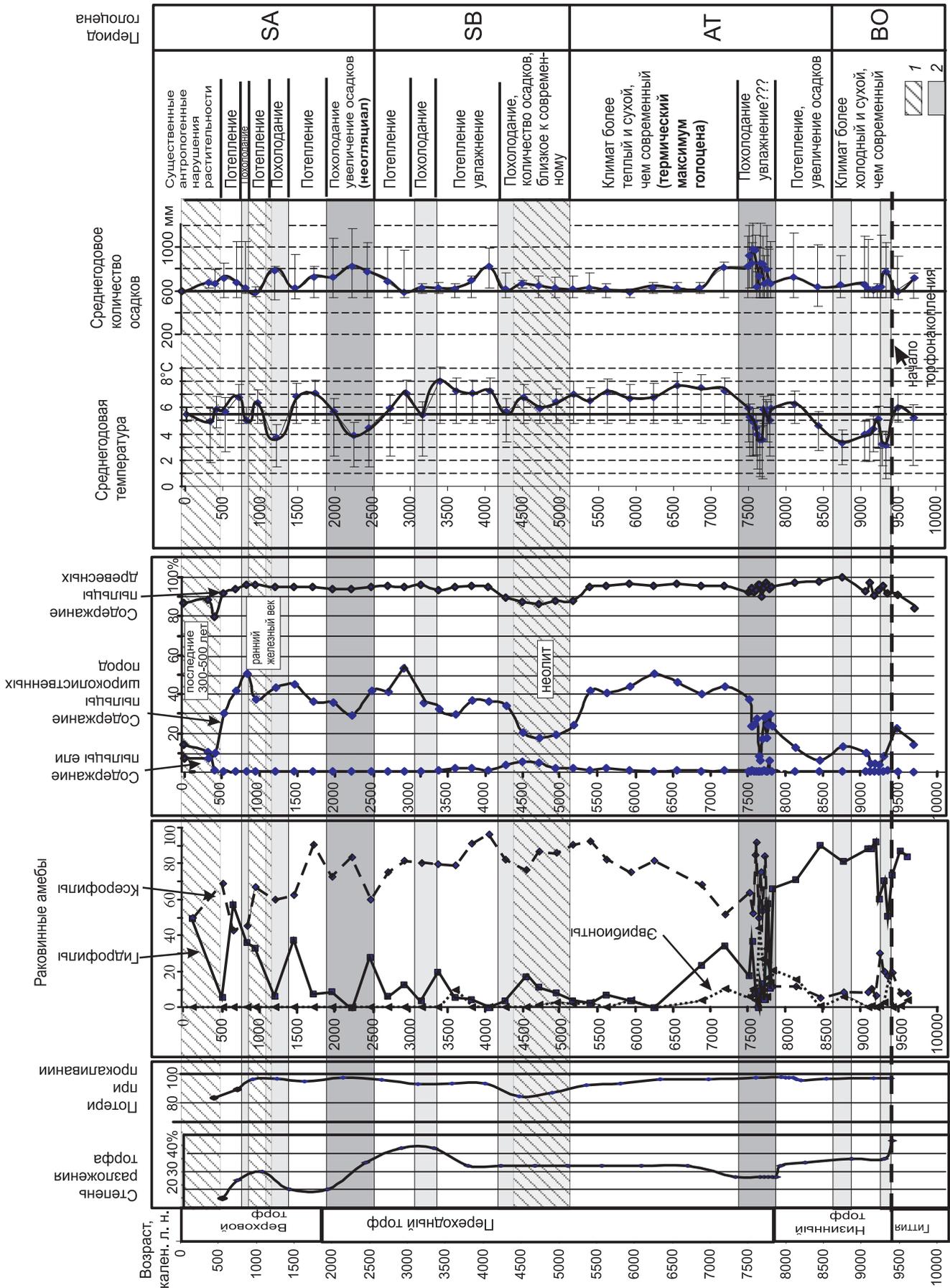


Рис. 3. Основные результаты комплексного изучения болота "Клюквы" и динамика климата на окружающей территории в голоцене: 1 — периоды похолодания климата, 2 — периоды антропогенных нарушений растительности

этом этапе развития болота, сопровождавшемся как активным обводнением в результате стекания поверхностных вод в весенне-осенний период, так и иссушением депрессии летом, что вполне возможно в условиях летнего дефицита осадков.

Результаты спорово-пыльцевого анализа показали, что в период 9400—9100 кален. л.н. (рис. 1, зона 1) на прилегающей территории были распространены сосново-березовые леса с небольшим участием широколиственных пород. Очевидно, леса были негустые, с хорошо развитым подлеском и богатым травянистым ярусом. Позднее (9000—8000 кален. л.н., зона 2) доля сосны в древостоях резко сократилась, березовые леса стали доминирующим компонентом в растительном покрове. По данным палеогеографических реконструкций этого временного интервала березовые леса были распространены на всей территории лесной зоны Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири [8]. Подобный растительный покров Среднерусской возвышенности был частично унаследован от перигляциально-лесостепных формаций, существовавших в центре Восточно-Европейской равнины в валдайскую ледниковую эпоху [7]. Климат рассматриваемого периода был холоднее, чем в настоящее время, — значения среднегодовой температуры были на 2 °С ниже, чем современные (рис. 3), среднегодовое количество осадков приближалось к современному, а около 9400 кален. л.н. оно было на 100 мм больше, что способствовало болотообразованию. На южной границе современной лесной зоны и в лесостепи датировки базальных горизонтов торфа наиболее мощных пойменных торфяников также относятся к раннему голоцену [3, 7].

Значительные изменения как в региональной, так и в локальной растительности фиксируются по данным палеоботанического и ризоподного анализов около 7800—7700 кален. л.н. В лесных фитоценозах, окружающих болото, увеличилось участие широколиственных пород (дуб, вяз, липа) и лещины (рис. 1, зона 3а). В травяном ярусе были обильны папоротники. В локальной растительности болота постепенно возрастало участие сфагновых и гипновых мхов, появилась пушица. В сообществе раковинных амеб также отмечаются значительные изменения, связанные с появлением представителей группы ксерофильных и эврибионтных видов. Это совпало с началом формирования травяно-сфагнового переходного торфа и может свидетельствовать о снижении участия гидрофильных эвтрофных сфагновых мхов в растительном покрове. Климатические реконструкции показывают увеличение среднегодовых значений температуры и количества осадков (рис. 3).

Результаты спорово-пыльцевого анализа указывают на существенные изменения в период 7700—7500 кален. л.н. в составе пыльцевых спектров в течение 150—200 лет (рис. 1, зона 3б), которые можно интерпретировать как отражение изменений растительности, обусловленных похолоданием и увлажнением климата, а также нарушениями вследствие воздействия локальных факторов (пожары, ветровалы и т.п.).

Признаки резких климатических изменений, связанных с похолоданием, по данным ботанического состава торфа и ризоподного анализа для этого интервала не выявлены.

Потепление климата с 7500 по 5200 кален. л.н. обеспечило условия для максимального развития дубовых лесов с участием вяза, липы и ясеня и хорошо развитым кустарниковым ярусом (рис. 1, зоны 3с, 4) на территории, прилегающей к болоту. Содержание пыльцы лещины в этом интервале максимально. В спорово-пыльцевых спектрах присутствуют единичные зерна граба и бука, что может быть связано с ветровым заносом.

В этот же период (7500—5200 кален. л.н.) в рассматриваемой депрессии существовало мезотрофное болото и формировался осоково-сфагновый и пушицево-сфагновый переходные виды торфа (рис. 1). Скорость накопления торфа уменьшилась, а степень разложения увеличилась (рис. 3). По-видимому, обводнение болота уменьшилось, что подтверждается резким снижением доли гипновых мхов (с 35 до 10%) и появлением эвтрофных, но устойчивых к иссушению сфагнумов секции *Palustre* (*S. centrale*). Сообщества раковинных амеб имеют ксероморфный характер. В этот период также отмечается практически полное исчезновение гидрофильных видов раковинных амеб, типичных для нижней части разреза, и увеличение доли эврибионтных видов.

Изменения растительности на болоте, свойств торфяной залежи и растительного покрова окружающей территории указывают на существенное потепление и, возможно, некоторое иссушение климата за счет увеличения испарения и, вероятно, сокращения количества осадков в летний период. Среднегодовые значения температуры были в пределах 6—7,5 °С, что на 1—2,5 °С выше, чем в настоящее время, количество осадков было близко к современному (рис. 3).

Около 5000—4000 кален. л.н. произошли заметные изменения как в экосистеме болота, так и на окружающей территории, связанные с антропогенными нарушениями растительного покрова. В спорово-пыльцевых спектрах заметно сократилось участие деревьев и кустарников (рис. 1, зона 5), при этом содержание широколиственных пород значительно уменьшилось, а доля березы и лещины — видов, чутко реагирующих на уменьшение сомкнутости древесного полога, — даже немного возросла. В спектрах появилась пыльца культурных злаков (до 3,5%), василька синего (сеgetального сорняка), а также подорожника и щавеля — видов-индикаторов присутствия человека и нарушения растительного почвенного покрова. Тот факт, что в непосредственной близости от болота “Клюква” расположена группа археологических объектов (остатки двух неолитических поселений, а также находки артефактов бронзового века) [1], позволяет предположить, что в период обитания поселений происходило уничтожение широколиственных лесов в результате подсеčno-огневого земледелия, а на их месте распространялись вторичные березняки.

О нарушении почвенного покрова и усилении эрозионных процессов свидетельствует увеличение на 20% минеральной фракции в торфе в период 5180—4280 кален. л.н. (рис. 3). В локальной растительности уменьшилась доля сфагновых мхов, что может отражать изменения минерального питания, связанные с увеличением трофности стекающих поверхностных вод в результате эрозии. Нетребовательные к питанию сфагновые мхи при столь резком изменении условий среды могут гибнуть, чем можно объяснить снижение их обилия и появление в структуре торфяной залежи травяного переходного торфа. В дальнейшем такой “вброс” зольных элементов обеспечил произрастание древесных пород.

В этот период сообщество раковинных амёб в целом сохраняло ксероморфный характер, что коррелирует с наличием переходных торфов в залежи и мезотрофным типом питания. Показательно появление вида *Heleopera rosea*, который ни до, ни после в изучаемом болоте не встречался. Характерная особенность этого вида — яркая винно-красная окраска раковинки, однако экологическое значение указанного признака, как и экология вида в целом остаются мало изученными. Вероятно, появление этого вида можно связать с увеличением концентрации минеральных частиц, необходимых для построения раковинки, из-за усиления эрозионных процессов в результате антропогенной деятельности.

Вышеупомянутые нарушения спорово-пыльцевых спектров несколько замаскировали признаки ландшафтно-климатических изменений, произошедших около 4500 кален. л.н., которые на территории Восточно-Европейской равнины связаны с похолоданием климата [5, 8]. Согласно нашим реконструкциям, годовые значения температуры снизились до современных значений, количество осадков осталось на прежнем уровне (рис. 3). Появление в спектрах пыльцы ели (рис. 1, зона 5) может быть отражением ее экспансии из более северных районов [8]. Возможно, в небольшом количестве ель присутствовала в древостоях, и при уничтожении широколиственных пород вид получил конкурентные преимущества и на короткое время численность его популяции увеличилась.

Около 4000 кален. л.н. человек, видимо, покинул эту территорию, и широколиственные леса восстановили свои позиции в бассейне верхней Оки (рис. 1, зоны 6—7) и сохранялись до 2900 кален. л. н. В локальной экосистеме болота также произошли изменения. Распространение древесных пород обеспечило формирование древесно-травяного переходного торфа (начиная с 4300 кален. л.н.), который в свою очередь сменился древесно-сфагновым (начиная с 2500 кален. л.н.).

В течение временного интервала 2900—1500 кален. л.н. сокращение процентного содержания пыльцы широколиственных пород, в первую очередь дуба, вяза и лещины (рис. 1, зона 7а), свидетельствует о том, что климат стал более влажным и прохладным. Среднегодовая температура снизилась до 4 °С, что на 1 °С

меньше современных показателей, количество осадков возросло до 700—800 мм/год. Отметим почти полное отсутствие ели в составе лесных сообществ вплоть до второй половины последнего тысячелетия. Однако уже на 100 км северо-восточнее, в районе Тулы, в зоне современных широколиственных лесов в разрезах пойменных торфяников [4] отмечается присутствие до 10% пыльцы ели, что позволяет сделать предположение об инвазии хвойно-широколиственных лесов в районе Тульских засек и неравномерности продвижения ареала ели на юг.

При потеплении климата (1500—700 кален. л.н.) и увеличении среднегодовой температуры до 7 °С, широколиственные леса восстановили свои позиции на рассматриваемой территории. При этом доля пыльцы липы возросла, а содержание пыльцы орешника сократилось (рис. 1, зона 7б). Возможно, леса стали более густыми.

Примерно 2000 кален. л.н. обеднение минерального питания вызвало уменьшение доли древесных пород в локальной растительности болота, усиление роли сфагновых мхов, стал формироваться пушицево-сфагновый торф. В сообществе раковинных амёб в период 2900—2000 кален. л.н. сохраняется преобладание ксерофильных видов, что указывает на достаточно бедное водно-минеральное питание. Начиная с 2000 кален. л.н. появляются гидрофильные виды раковинных амёб, как сфагнобионты, так и эврибионты.

В раннем железном веке территория, прилегающая к болоту “Клюква”, была обитаема (имеются указания на находки нескольких селищ этой эпохи [1]). Сокращение доли широколиственных пород (возможных, выборочных рубки) и появление пыльцы культурных злаков (единично) — признаки появления человека. Однако нарушения растительного покрова не были столь заметными, как в неолитическую эпоху. В этот период человек интенсивно осваивал пойму Оки и ее притоков и низкие террасы, в то время как водоразделы оставались менее затронутыми его деятельностью [2]. Содержание органического вещества в торфе оставалось очень высоким (до 94—96%). Очевидно, поступления минеральной фракции за счет эрозии почв практически не было. В таких условиях развитие болота происходило в направлении олиготрофизации, что обеспечило переход к сфагновому верховому торфу в поверхностном горизонте залежи. Наличие верховых торфов отмечается и для других болот, занимающих карстово-суффозионные понижения в бассейне верхней Оки [3].

Время формирования верхней части торфяной залежи (горизонт слабообразованного сфагнового верхового торфа, глубина 20—0 см) соответствует нескольким последним столетиям. Растительный покров болота приобрел современную структуру, в то время как на окружающей территории произошли коренные изменения (рис. 1, зона 8) — началось активное хозяйственное освоение бассейна верхней Оки и вырубка лесов под пашню и производство древесины. Широколиственные леса были почти уничтоже-

ны, их место заняли сосново-березовые леса, в которые активно внедряется ель. Содержание пыльцы ели в спектрах в верхних 10 см максимальное за весь голоцен (10—15%). Возможно, ель начала расселяться после сведения широколиственных лесов, когда ослабла конкуренция с широколиственными породами, в первую очередь с дубом. Таким образом, на формирование хвойно-широколиственных лесов на исследуемой территории повлияли не столько климатические причины, сколько антропогенный фактор.

Выводы:

— результаты спорово-пыльцевого и ризоподного анализов, изучения ботанического состава торфа и радиоуглеродного датирования показали, что наиболее существенные изменения как на локальном уровне

не экосистемы болота, так и на региональном уровне бассейна верхней Оки на северо-западе Среднерусской возвышенности произошли около 8100, 5000 и 2500 кален. л.н. и соответствуют основным рубежам истории природной среды и климата в голоцене;

— коренные изменения растительного покрова, связанные с сокращением доли широколиственных лесов, произошли только в историческое время в результате хозяйственной деятельности человека;

— распространение ели у южной границы ее ареала, очевидно, обусловлено не столько изменением климатических условий, сколько влиянием антропогенного фактора, когда ель получила конкурентные преимущества при уничтожении широколиственных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Археологическая карта России. Тульская обл. Ч. 1. М.: Ин-т археологии РАН, 1997. 360 с.
2. Асеев А.А. Палеогеография долины Средней и Нижней Оки в четвертичный период. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 201 с.
3. Волкова Е.М. Редкие болота северо-востока Среднерусской возвышенности // Ботанический журн. 2011. Т. 96, № 12. С. 55—70.
4. Климанов В.А., Серебряная Т.А. Изменения растительности и климата на Среднерусской возвышенности в голоцене // Изв. АН СССР. Сер. геог. 1986. № 2. С. 93—101.
5. Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии / Под ред. А.А. Величко. М.: ГЕОС, 2010. 220 с.
6. Мазей Ю.А., Ембулаева Е.А. Изменение сообществ почвообитающих раковинных амёб вдоль лесостепного градиента в Среднем Поволжье // Аридные экосистемы. 2009. Т. 15, № 37. С. 13—23.
7. Спиридонова Е.А. Эволюция растительного покрова бассейна Дона в верхнем плейстоцене—голоцене. М.: Наука, 1991. 221 с.
8. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 200 с.
9. IPCC Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. Cambridge: Cambridge Univer. Press, 2013. 1535 p.
10. Nakagawa T., Tarasov P., Kotoba N. et al. Quantitative pollen-based climate reconstruction in Japan: application to surface and late Quaternary spectra // Quat. Sci. Rev. 2002. Vol. 21. P. 2099—2113.
11. Novenko E.Yu., Volkova E.M., Glasko M.P., Zuganova I.S. Palaeoecological evidence for the middle and late Holocene vegetation, climate and land use in the upper Don River basin (Russia) // Vegetation History and Archaeobotany. 2012. Vol. 21. P. 337—352.

Поступила в редакцию
27.03.2014

E.Yu. Novenko, A.N. Tsyganov, E.M. Volkova, K.V. Babenko, Yu.A. Mazei

LANDSCAPE AND CLIMATE DYNAMICS OF THE NORTH-WESTERN SREDNERUSSKAYA UPLAND DURING THE HOLOCEN

New results of complex palaeogeographical investigation of the Klyukva karst-suffosion bog (the Belev raion of the Tula oblast) and the reconstruction of the Holocene dynamics of vegetation resulting from climate changes and anthropogenic impact are presented. During the boreal period of the Holocene the territory under study was covered mainly by pine and birch forests, probably inherited from the periglacial vegetation cover of the Late Valdai Ice Age. The broadleaved forests appeared within the Upper Oka River basin about 7800 years ago (the Atlantic period) and about 7500 years ago oak, lime and elm forests with birch became the dominant component of the vegetation cover. Changes in bog vegetation, testate amoebas, characteristics of peat stratum and surrounding vegetation cover suggest that climatic conditions of the late Atlantic period (thermal maximum of the Holocene) were warmer and dryer as compared to modern ones, probably due to lesser summer precipitation. During the second half of the Holocene the most radical changes, both local (in bog ecosystems) and regional (in the Upper Oka River basin, the north-western part of the Srednerusskaya Upland), occurred 5000 and 2500 years ago, in line with the principal milestones of the natural environment evolution.

Profound changes of the vegetation cover took place in the historical time as a result of the anthropogenic activities. Wide distribution of spruce during that period could be probably attributed to the anthropogenic impact rather than to climate change, because after the clearing of broadleaved species the spruce has gained in competitiveness.

Key words: Holocen, landscape, climat, north-western Srednerusskaya Upland.

УДК 528.94:630 (084)

Н.В. Малышева¹, Т.А. Золина², Н.А. Владимирова³

ЛОКАЛЬНЫЙ КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ СЕРВИС ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ О ЛЕСАХ РОССИИ

Данные отраслевых статистических наблюдений включены в государственный лесной реестр, который представляет собой свод документированной информации о лесах, их использовании, охране, защите, воспроизводстве. До настоящего времени картографическое сопровождение государственного лесного реестра отсутствовало. Цель исследований — совершенствование информационного обеспечения управления лесным хозяйством на федеральном уровне за счет практического использования инструментария ГИС для создания карт по данным отраслевых наблюдений и веб-технологий для визуализации карт и доставки конечному пользователю.

Изложены методика и опыт разработки картографического сервиса для визуализации статистических данных о лесах России и просмотра веб-браузерами. Содержание (контент) картографического сервиса составляют: рабочие слои, содержащие данные государственного лесного реестра; разгруженная картографическая основа с единицами административно-территориального деления РФ и территориального управления лесами — лесничествами.

Экспериментальные работы включали подготовку карт в программной среде ArcGis for Desktop ver. 10 и конвертирование готовых макетов в формат SVG с помощью специальной надстройки для ArcGis — Mappetizer 11.2. Атлас сверстан из компонентов, включающих HTML-документы с внедренными в них векторными картами в формате SVG и изображениями, скрипты сценария.

Карты атласа сгруппированы в тематические разделы и подразделы, характеризующие леса и лесные ресурсы, использование лесов, охрану и защиту лесов, воспроизводство лесов. Специальный пользовательский интерфейс в веб-браузере позволяет просматривать и публиковать данные лесного реестра, подключать или отключать рабочие слои, реализовать запросы к пространственным и атрибутивным данным.

Со стороны пользователя атлас представляет собой наборы HTML-страниц, иерархически выстроенных в соответствии с логикой и последовательностью получения сведений о лесах — ресурсном потенциале территории, использовании, охране, защите и воспроизводстве. Пользователь последовательно подгружает эти страницы по заранее определенному сценарию, перелистывая их веб-браузером как обыкновенные страницы веб-сайта в интернете. Подготовленный электронный атлас может быть загружен на локальный компьютер, сервер и пригоден для публикации в Веб.

Предложенный подход продемонстрировал возможность публикации данных государственного лесного реестра в картографической форме без установки дорогостоящего программного обеспечения ГИС на сервер или на локальный компьютер пользователя.

Ключевые слова: лесное хозяйство, тематические лесные карты, интерактивные карты, электронный атлас, ГИС, веб-ГИС-технологии.

Введение. Данные отраслевых статистических наблюдений о лесах России включены в государственный лесной реестр, который представляет собой “систематизированный свод документированной информации о лесах, об их использовании, охране, защите, воспроизводстве, о лесничествах и лесопарках” (статья 91 Лесного кодекса Российской Федерации, 2006 г.). Ведение государственного лесного реестра осуществляют во всех регионах России органы исполнительной власти и органы местного самоуправления, а подведомственные организации Федерального агентства

лесного хозяйства (Рослесхоза) обобщают информацию на федеральном уровне.

Особенность массива данных государственного лесного реестра, сбор и обобщение которых требуют существенных затрат, — режимные ограничения на их открытую публикацию. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 10.07.2013, часть данных по субъектам Российской Федерации относится к общедоступной открытой информации, а часть данных по лесничествам и лесопаркам предназначена для служебного пользования. Несмотря на

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, канд. геогр. н., вед. науч. с.; *e-mail:* nat-malysheva@yandex.ru

² ФБУ “Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства” (ФБУ ВНИИЛМ), Федеральное агентство лесного хозяйства Министерства природных ресурсов Российской Федерации, ст. науч. с.; *e-mail:* tzolina@gmail.com

³ ФБУ “Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства” (ФБУ ВНИИЛМ), Федеральное агентство лесного хозяйства Министерства природных ресурсов Российской Федерации, науч. с.; *e-mail:* nadiopt@gmail.com

то что федеральные органы исполнительной власти обязаны обеспечить размещение общедоступной информации в интернете, на сайте Рослесхоза представления данных государственного лесного реестра нет ни в картографической, ни в табличной форме. В последнее время ситуация начинает меняться, и на региональных сайтах стали появляться данные государственного лесного реестра в табличной форме. Положительный пример — региональный сайт Республики Бурятия со сводными данными о составе земель лесного фонда и ряде других показателей государственного лесного реестра [7].

Постановка проблемы. До настоящего времени картографическое сопровождение и визуализация данных, внесенных в государственный лесной реестр, отсутствовали. Разрешению этой проблемы способствуют работы по созданию простого картографического сервиса, реализованного в виде электронного атласа карт информационно-справочного типа.

Наши многолетние исследования [3—6] направлены на демонстрацию преимуществ использования пространственной информации для принятия управленческих решений, внедрение картографической формы представления различных данных о лесах России в практику управления лесным хозяйством на федеральном уровне. По нашему глубокому убеждению, подтверждение которому мы находим в зарубежных публикациях [8, с. 26], умение пользоваться пространственными данными — такой же базовый навык для современного человека, как умение читать и писать. А для людей, занятых управлением, представление данных на карте и простота получения ответов на вопрос “где?” дает возможность оптимизировать принимаемые решения и делать этот процесс осмысленно. В практической деятельности использование картографического сервиса для визуализации отраслевой статистической информации в виде картограмм и картодиаграмм, имеющих пространственную привязку к территориальным единицам управления, упрощает получение ответа на этот вопрос. Такой сервис реализован нами в виде электронного атласа карт информационно-справочного типа, составленных по данным государственного лесного реестра в среде ГИС.

При постановке работы мы руководствовались следующим:

— карты для информационно-справочных целей создаются квалифицированными специалистами, имеющими опыт и профессиональные навыки работы в среде ГИС, на основе цифровых баз данных. Они содержат всю необходимую конечному пользователю информацию;

— пользователь, не имеющий навыков работы в ГИС-среде и не обязанный их иметь, легко и без лишних усилий осваивает картографический сервис, воспроизводит карты с помощью стандартных инструментов — веб-браузеров и не связан программно с ГИС.

К картографическому сервису, ориентированному на визуализацию и публикацию данных государственного лесного реестра, со стороны пользователя задаются следующие требования:

— карты должны воспроизводиться на разных платформах, работать в популярных операционных системах (ОС) и не требовать установки программных средств ГИС;

— карты должны оставаться векторными и сохранять все свои характеристики: проекцию, масштаб, систему координат;

— должны сохраняться все преимущества карт, созданных в среде ГИС: возможность реализации пользователем запросов как к пространственным, так и к атрибутивным данным; возможность работы со слоями; метричность; возможность переходить от более к менее детальной карте при увеличении или изменении масштаба;

— карты должны быть интерактивными и удобными в работе, т.е. содержать элементы управления и другие инструменты, применяемые в Веб-картографии.

Таким требованиям удовлетворяет технология веб-ГИС, которая возникла как традиционная ГИС-технология, предоставляющая пользовательский интерфейс в веб-браузере [8].

Цель выполненными нами прикладных исследований — совершенствование информационного обеспечения управления лесным хозяйством за счет практического использования инструментария ГИС и веб-технологий.

Реализация поставленной цели включала создание карт по данным отраслевых статистических наблюдений в программной среде ГИС и разработку интерфейса для визуализации карт веб-браузером и доставки конечному пользователю.

Материалы и методы исследований. Реализованный нами картографический сервис концептуально представляет собой простейшее веб-приложение. Он имеет, по существу, архитектуру клиент-сервера, в которой клиентом является веб-браузер, а сервером — локальный компьютер пользователя.

Технически веб-браузер — это клиент, который реализует спецификации HTML, скрипты на языке JavaScript, т.е. умеет обращаться к папкам локального компьютера, в которые помещены карты, легенды к ним, изображения, текст и т.д., а также интерпретировать и выполнять программный код.

Структурно картографический сервис состоит из следующих элементов:

— цифровая картографическая основа (базовая карта) с границами субъектов Российской Федерации и границами лесничеств и лесопарков в системе координат WGS 1984;

— рабочие слои с данными государственного лесного реестра по субъектам РФ и лесничествам в составе субъектов, сгруппированными для решения поставленной задачи по федеральным округам;

— интерфейс в веб-браузере для визуализации и публикации карт, работы со слоями и реализации запросов.

Картографическая основа (базовая карта). Составная часть картографического сервиса — карты с данными государственного лесного реестра, которые предназначены для информационной поддержки на федеральном и региональном уровнях управления лесным хозяйством. Набор карт дает представление о ресурсном потенциале, составе земель лесного фонда, количественных и качественных характеристиках лесов по субъектам РФ и территориальным единицам управления лесами (лесничествам) в границах федеральных округов. Такие карты в соответствии с теоретическими построениями [2, 9] относят к картам информационно-справочного типа. справочный характер определяется их назначением для территориального анализа данных и перспективного планирования в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, для суждения об исполнении переданных полномочий по управлению лесами в субъектах Российской Федерации. Для отображения статистических характеристик в атласном картографировании традиционно используют картограммы и картодиаграммы. Классик отечественной картографии К.А. Салищев [9, с. 86] отмечал, что картодиаграммы отражают суммарную величину явления в границах отдельных территориальных единиц, поэтому необходимость в подробной картографической основе для картодиаграммы отпадает.

Для визуализации данных государственного лесного реестра использована разгруженная картографическая основа с минимумом элементов содержания:

— административное деление — полигональный слой субъектов Российской Федерации и полигональный слой территориальных единиц управления лесами (лесничеств и лесопарков);

— государственная граница, генерализованная береговая линия океанов, морей, озер — слой линейных объектов.

Цифровая основа с границами лесничеств и лесопарков создана нами в предыдущие годы по открытым источникам [4—6] — картографическим приложениям к Лесным планам субъектов Российской Федерации.

Рабочие слои с данными государственного лесного реестра. Рабочие слои содержат данные государственного лесного реестра по субъектам РФ и лесничествам в составе субъектов, которые пользователь воспроизводит и представляет на картах. Особенность использования этих данных состоит в том, что прежде чем их подгрузить в ГИС, требуется их преобразовать и перестроить для реализации реляционной модели базы данных. Из данных государственного лесного реестра нельзя напрямую сформировать базы геопространственных данных.

Набор инструментов интерфейса в веб-браузере предоставляет пользователю следующие возможности:

— публиковать и воспроизводить в картографической форме данные государственного лесного реестра;

— осуществлять навигацию и переключение между разделами, подразделами атласа и картами различной тематики;

— подключать или отключать отдельные рабочие слои;

— отображать карты в разном масштабе без потери качества изображения, поскольку масштабируется векторная графика;

— просматривать картографическую (с сохранением проекции) информацию и данные государственного лесного реестра по лесничествам и субъектам федерации;

— формировать запросы по отбору того или иного пространственного объекта (лесничества или субъекта РФ) или объекта с заданными количественными характеристиками и получать информацию по выбранному объекту;

— воспроизводить диаграммы в динамическом режиме на картографической основе и непосредственно на веб-странице с помощью инструмента “Запросы”;

— получать координаты объектов;

— распечатывать карты и атрибутивную информацию.

Интерфейс в веб-браузере использует инструменты Dojo и технологию AJAX для улучшения взаимодействия с пользователем, придания интерактивности HTML-страницам и анимации картодиаграммам. Эти инструменты можно установить на локальный компьютер или подгружать из Веб. Внешний вид и функции пользовательского интерфейса в веб-браузере Mozilla Firefox показаны на рисунке.

Картографическая основа и рабочие слои составляют содержание (контент) картографического сервиса, реализованного в виде электронного атласа.

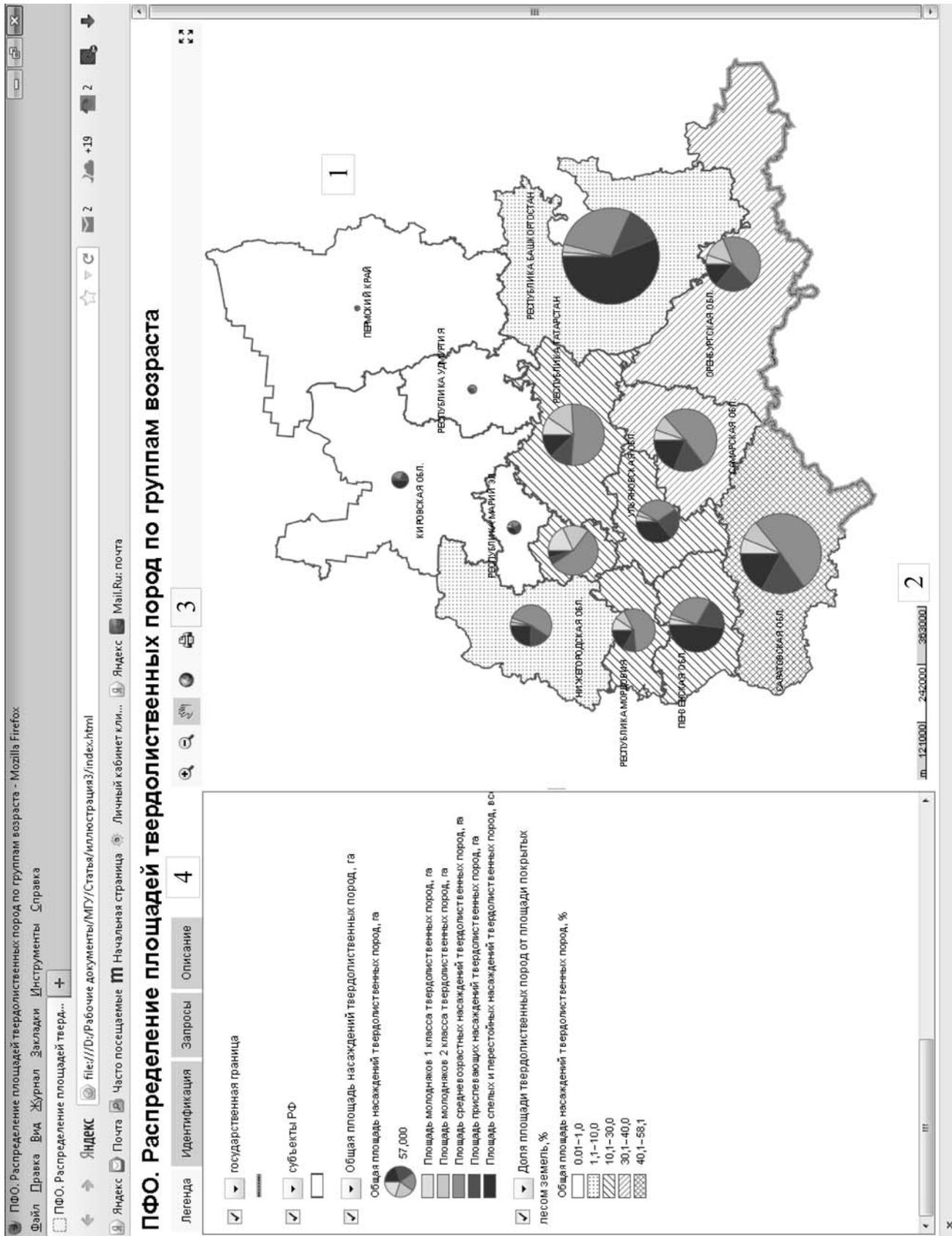
Результаты исследований и их обсуждение. Атлас включает четыре тематических раздела: леса и лесные ресурсы, использование лесов, охрана и защита лесов, воспроизводство лесов. Каждый раздел содержит следующие подразделы, более детально характеризующие лесные ресурсы и ведение лесного хозяйства по субъектам РФ и лесничествам в их составе:

1. Леса и лесные ресурсы:

- состав земель лесного фонда,
- целевое назначение лесов,
- общая площадь лесных насаждений,
- площадь хвойных насаждений,
- площадь твердолиственных насаждений,
- площадь мягколиственных насаждений,
- общий запас лесных насаждений,
- запас хвойных насаждений,
- запас твердолиственных насаждений,
- запас мягколиственных насаждений.

2. Использование лесов:

- общий объем заготовки древесины по хозяйствам,



Интерфейс картографического сервиса в веб-браузере Mozilla Firefox и основные инструменты: 1 — окно работы с картой, 2 — указатель линейного масштаба, 3 — инструменты управления (навигации) в окне работы с картой, 4 инструменты просмотра слоев и легенд к картам, идентификации и выбора объекта на карте, получения атрибутивных данных и составления запросов

- площади и объемы заготовки древесины арендаторами,
- площади и объемы заготовки древесины по договорам купли-продажи,
- площади и объемы заготовки недревесных и пищевых лесных ресурсов, лекарственного сырья,
- площади, используемые для ведения хозяйства в различных целях (дифференцированные по видам использования лесов).

3. Охрана и защита лесов:

- общая площадь погибших и поврежденных лесов,
- площадь погибших и поврежденных лесов в результате воздействия различных антропогенных и природных факторов (раздельно по видам воздействия),
- санитарно-оздоровительные мероприятия,
- противопожарные мероприятия.

4. Воспроизводство лесов:

- планируемые и фактические площади лесовосстановления,
- планируемые и фактические площади лесоразведения.

Экспериментальные работы по подготовке содержания картографического сервиса включали создание электронных карт в программной среде ArcGIS for Desktop ver. 10. Затем готовые макеты (фреймы) экспортированы с помощью специального расширения (надстройки) для ArcGIS for Desktop — Mappetizer 11.2, опробованной нами в прикладных исследованиях ранее [4—6]. Лицензия на использование программного продукта приобретена у разработчика — немецкой компании “Uismedia” [10]. Результат экспорта — простые папки с рядом файлов, которые можно подгружать в Веб, хранить на сервере или на локальном компьютере. Все видимые слои на карте, включая классы объектов разного типа — полигональные, линейные и точечные, содержащиеся в базе геоданных; shape-файлы, условные обозначения и символы, а также заголовки карт и сопроводительные надписи при экспорте сохраняются. Кроме того, важно, что сохраняются связи между пространственными и атрибутивными данными базы геоданных.

Программное средство позволяет конвертировать векторные данные макета (фрейма) в формат SVG. Затем эти файлы можно публиковать в Веб и воспроизводить веб-браузерами. Открытый стандарт Консорциума Всемирной паутины (W3C) — SVG (Scalable Vector Graphics — масштабируемая векторная графика) определяет XML-запись двумерной векторной графики и используется для отображения карт в различных веб-браузерах [8]. SVG-документы легко интегрируются с HTML. SVG-формат предпочтителен для публикации в Веб простых карт с отображением статистических характеристик [1] и минимумом элементов содержания, составленных на разгруженной картографической основе, к которым относятся карты составленного нами электронного атласа. Для кор-

ректного отображения карт веб-браузерами требуется их предварительно подготовить к экспорту, а именно проверить и откорректировать псевдонимы полей реляционных таблиц; оставить только те поля, которые будут публиковаться; проверить систему координат и проекцию фрейма (проекта) и т.д.

Атлас включает карты в формате SVG, XML-документы, файлы сценария на языке JavaScript для динамического создания веб-страниц HTML, автономные файлы для интерактивных заставок разделов и подразделов атласа (изображения в формате JPG), каскадированные таблицы стилей CSS и таблицы стилей XSL для воссоздания компоновки и внешнего вида текста, встроенные в HTML-страницы.

Со стороны пользователя атлас представляет собой наборы HTML-страниц, иерархически выстроенных в соответствии с логикой и последовательностью получения сведений о лесах — ресурсном потенциале территории, использовании, охране, защите и воспроизводстве лесов. Пользователь с помощью веб-браузера последовательно подгружает эти страницы по заранее спланированному сценарию, перелистывая их как обыкновенные страницы веб-сайта в интернете.

Картографический сервис работает во всех популярных веб-браузерах, таких как Internet Explorer, начиная с версии 9; Mozilla Firefox (кроме версии 25.0), а также Google Chrome, Opera, которые воспроизводят векторные данные в SVG-формате. Вместе с тем наиболее устойчиво с SVG работает Mozilla Firefox, который имеет встроенную (нативную) поддержку формата. Этот браузер предпочтительнее использовать для управления картами атласа и сервисом в целом. Для работы с форматом в других браузерах необходимо подгрузить программный модуль — плагин (Google Chrome Frame или Adobe SVG viewer).

На сегодня атлас включает карты для всех субъектов Российской Федерации и территориальных единиц управления лесами (лесничеств и лесопарков), которые сгруппированы по федеральным округам. Статистические данные в атласе представлены преимущественно в виде круговых структурных диаграмм, поскольку именно этот способ наилучшим образом подходит для отображения диапазона варьирования и структурной соподчиненности исходных данных. Пользователи в практической деятельности часто сталкиваются с необходимостью получения конкретных числовых значений, которые отображаются круговыми или столбчатыми диаграммами. Изобразительные средства ArcGIS ограничены возможностью подписи секторов диаграммы в виде выносок, что загромождает поле карты. Инструменты веб-картографии, реализованные с помощью специальной программной надстройки Mappetizer, позволяют анимировать картодиаграммы. При наведении курсора на сектор диаграммы динамически подгружаются количественные данные, “всплывают” конкретные числовые значения, поэтому нет перегруженности карты множеством чи-

сел, таких как, например, запас древесины или площадь лесных земель, которые принято исчислять в млн м³ и млн га соответственно.

Подготовленный электронный атлас может быть загружен на локальный компьютер, сервер и пригоден для публикации карт в Веб. Подчеркнем, что из-за режимных ограничений только часть карт и статистической информации можно публиковать открыто, а именно данные государственного лесного реестра по субъектам Российской Федерации.

Выводы:

— предложенный подход к работе с отраслевой статистической информацией с помощью простого картографического сервиса в веб-браузере продемонстрировал возможность публиковать сведения государственного лесного реестра и получать справочные данные без установки дорогостоящего программного обеспечения ГИС на сервер или на локальный компьютер пользователя. Специалистам также нет необходимости задействовать ГИС на базе “облачных” технологий, подобных ArcGIS Online, которые в силу конфиденциальности доступа к данным могут не

приветствоваться или вообще быть запрещены для соблюдения политики корпоративной безопасности.

Современные пользователи хотят, чтобы веб-приложения были такими же простыми, быстрыми, легкими в освоении и использовании, как обыкновенная веб-страница [8]. Выполненная нами работа пример создания такого простого в освоении и использовании браузерного приложения;

— атлас подготовлен небольшим коллективом профессиональных картографов. Карты атласа сверстаны по разделам и подразделам из HTML-страниц, а специальное пользовательское браузерное приложение модифицировано под выполнение определенного сценария специалистом, имеющим только базовые представления о веб-программировании. С этим связаны перспективы и особенность современных разработок в области веб-ГИС, а именно разработчики программного обеспечения максимально упрощают возможность создания специализированных веб-приложений, а пользователи с помощью таких приложений максимально просто публикуют пространственные ресурсы в Веб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бардаш А.В. Создание картографических WEB-сервисов на основе SVG-технологий // Тематическое картографирование для создания инфраструктур пространственных данных: Мат-лы научн. конф. по тематической картографии. Иркутск, 9—12 ноября 2010 г. Иркутск: Изд-во Института географии имени В.Б. Сочавы СО РАН, 2010. С. 87—89.

2. Берлянт А.М. Картография: Учебник для вузов. 3-е изд., доп. М.: КДУ, 2011. 464 с.

3. Мальшева Н.В. Картографическое обеспечение государственного учета лесного фонда с использованием ГИС // Лесное хозяйство. 2007. № 3. С. 40—42.

4. Мальшева Н.В., Владимирова Н.А., Золина Т.А., Райченко Н.Э. Картографическая база данных и интерактивная карта с границами лесничеств и лесопарков для федерального уровня управления лесным хозяйством // ArcReview. Современные геоинформационные технологии. 2010. № 3 (54). С. 21—22.

5. Мальшева Н.В., Золина Т.А., Владимирова Н.А. и др. Методика и практический опыт создания электронного атласа интерактивных карт информационно-справочного типа

по данным государственного лесного реестра // Лесохозяйственная информация. 2012. № 1. С. 3—9.

6. Мальшева Н.В., Золина Т.А., Владимирова Н.А., Райченко Н.Э. Создание интерактивных карт и электронного атласа для информационной поддержки управления лесным хозяйством России // Проблемы непрерывного географического образования и картографии. Харьков: ХНУ имени В.Н. Каразина, 2013. Вып. 17. С. 31—34.

7. Официальный сайт Агентства лесного хозяйства Республики Бурятия. Открытые данные. URL: http://www.alh-rb.ru/deyatelnost/section.php?SECTION_ID=95 (дата обращения: 28.05.2014).

8. Пиньде Фу, Цзюлинь Сунь. Веб-ГИС: Принципы и применение. Редландз, Калифорния: Esri Press. 2013. (рус. перевод). 356 с.

9. Салищев К.А. Картоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. 408 с.

10. Mappetizer Web mapping software. URL: <http://www.uismedia.de/mappetizer/en/index.html> (дата обращения: 28.05.2014).

Поступила в редакцию
02.06.2014

N.V. Malysheva, T.A. Zolina, N.A. Vladimirova

LOCAL CARTOGRAPHIC SERVICE FOR VISUALIZATION OF THE FOREST STATISTICS OF RUSSIA

Data of sectoral statistical observations are included into the state forest register which integrates documentary information about forests, their use, protection and reproduction. Up to now the state forest register lacks the cartographic support. Our study is aimed at the improvement of the information support of the federal-level forest management by 1) practical application of GIS instruments for mapping and 2) use of web-technologies for map visualization and delivery to end users.

Methods and experience of elaboration of a cartographic service for visualization of statistical data about the forests of Russia and their web-browsing are described. The content of the cartographic ser-

vice includes layers with the data of the state forest register and a shortcut cartographic base with administrative-territorial units of the Russian Federation and territorial forest management units (forest districts).

Maps were processed using ArcGis for Desktop ver. 10; prototypes were converted into SVG format by means of a special ArcGis add-in (Mappetizer 11.2). The atlas includes HTML-documents with embedded vector maps in SVG-format and pictures, as well as the scripts of scenario.

Maps of the atlas are grouped into thematic sections and subsections, describing forests and forest resources, forest conservation and protection and forest reproduction. User interface in web-browser provides for viewing and printing the forest register data, switching on and off data layers, realize queries to spatial and attributive data.

For users the atlas is a set of HTML-pages, hierarchically organized according to the sequence of acquiring information about forests (resource potential of a territory, forest use, conservation, protection and reproduction). A user could load these pages according to the predefined scenario turning them by web-browser similar to the Internet web-site pages. The computer atlas could be loaded on a local computer or server and is suitable for web publication.

The suggested approach demonstrates that it is possible to produce cartographic representation of the state forest register data without installing expensive GIS software on the user's server or local computer.

Key words: forestry, thematic forest maps, interactive maps, computer atlas, GIS, web-GIS-technologies.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 627.152.152 (470.620:551.4.038)

Д.В. Магрицкий¹ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВОДНЕНИЙ
НА ЧЕРНОМОРСКОМ ПОБЕРЕЖЬЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ²

На Черноморском побережье РФ в перечень наиболее опасных природных явлений и процессов входят наводнения главным образом стокового и стоково-ливневого генезиса. Их возникновение и развитие сопровождается не только разрушениями и значительным экономическим ущербом, но и человеческими жертвами. Эффективность прогноза, усилий по предотвращению наводнений или уменьшению их масштаба, минимизации связанного с затоплениями ущерба зависит от степени знаний о факторах наводнений, механизмах их возникновения и развития, географической локализации и подверженных их воздействию районах, повторяемости, скорости протекания и многолетней динамике, применяющихся защитных мерах и т.п. Сведения о случаях с наводнениями и опасными затоплениями, часть из которых были реконструированы, их основных характеристиках, а также разнообразные гидрологические данные составили информационную основу при детальном анализе современной ситуации с наводнениями на Черноморском побережье РФ и ее развития в период с 1945 по 2013 г.

Выявлены основные особенности возникновения и прохождения на черноморских реках паводков и вызванных ими, а также экстремальными ливнями стоковых и стоково-ливневых наводнений; получены важные характеристики таких паводков. Впервые для этой территории построены карты максимально возможного повышения уровня воды в реках над предпаводочной отметкой, а также населенных пунктов, подвергавшихся в прошлом (с разной частотой) затоплениям. Установлены закономерности и причины изменения генезиса, числа и характеристик наводнений на территории побережья (по муниципальным районам) в течение года и в многолетнем масштабе времени, их пространственной корреляции. Результаты можно использовать для повышения эффективности мер по предупреждению и защите от наводнений.

Ключевые слова: Черноморское побережье, река, водосбор, сток, осадки, паводок, затопление, наводнение.

Введение. Перечень опасных природных явлений и процессов на Черноморском побережье РФ обширен. Если учитывать лишь размер и характер формируемого ими материального ущерба, уровень угрозы для населения, частоту возникновения и другие параметры, на первом месте стоят наводнения. Такая ситуация — результат взаимодействия нескольких факторов — особое местоположение этой территории, сложная орография местности, большая густота речной сети, малые размеры, большие уклоны и слабая регулирующая способность речных водосборов, паводочный режим рек, большое количество и экстремальность выпадающих здесь осадков, а также расположение основной части населенных пунктов, промышленных объектов, социальной сферы и курортной индустрии, транспортной инфраструктуры в долинах и устьях черноморских рек и ряд других факторов.

Несмотря на высокие гидрологические риски, детальных работ по изучению наводнений на побережье, особенностей и закономерностей простран-

ственно-временной изменчивости их характеристик и факторов, механизмов возникновения и развития наводнений практически нет, а в имеющихся публикациях либо нет ответов на актуальные вопросы, либо это описания произошедших наводнений и их последствий, как правило, это общие или, наоборот, узкоспециализированные исследования. Описания резонансных наводнений содержатся в работах [3—6, 12, 14, 15] и др. Некоторые важные научные результаты изложены в работах [4—5, 7—9, 11—13, 15], а также в размещенном в открытом доступе Отчете к госконтракту № 11587 (исполнитель Кубанский ГАУ).

Постановка проблемы. Отсутствие детальных исследований и не глубокое знание пространственно-временных особенностей и закономерностей наводнений — одна из причин недостаточной эффективности применяющихся на побережье мер борьбы с ними и их последствиями. Недавние события 2010 и 2012 гг. в очередной раз подтвердили уязвимость существующей системы предупреждения и защиты от наводнений. Собранные автором сведения и резуль-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, доцент; e-mail: magdima@yandex.ru

² Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00949) и государственного контракта № 11.G34.31.0007.

таты многолетних исследований по рассматриваемой проблеме, количественная, графическая и картографическая их интерпретация позволяют в определенной мере ликвидировать пробел в знаниях, имеют прикладной потенциал.

Материалы и методы исследований. Информационной основой для исследований стали, во-первых, многолетние ряды гидрологических наблюдений на 24 гидрологических постах (ГП) Росгидромета за период с 1920-х гг. по 2012 г. Во-вторых, собраны многочисленные документальные сведения о наводнениях. Они составляют основу электронного каталога “Наводнения в устьях рек европейской территории России”, описание которого приведено в [2] и размещено на сайте лаборатории оценки природных рисков МГУ имени М.В. Ломоносова (<http://www.nral.org>). В-третьих, это сведения о критических высотных отметках, подъем уровня воды выше которых приводит к затоплению поймы, неблагоприятным для населения и хозяйственной деятельности (отметка НЯ) и опасным (отметка ОЯ) последствиям. Эти отметки индивидуальны для каждого рассматриваемого населенного пункта и гидрологического поста. В-четвертых, это суточные данные об осадках на 6 метеостанциях (МС) за период 1945—2013 гг. и региональные критерии разделения опасных осадков. Последние заметно отличаются от действующих в большинстве регионов России (<http://www.yugmeteo.donpac.ru/oj.jsp>). Так, к сильным ливням в Туапсинском районе и Сочи относят дождевые осадки интенсивностью ≥ 50 мм за период не более 1 ч., тогда как на большей части территории — ≥ 30 мм. Очень сильными дождями считаются дождевые осадки величиной ≥ 80 мм (на участке Анапа—Джубга), ≥ 100 мм (Туапсинский район) и ≥ 120 мм (Большой Сочи) за период не более 12 ч. В горных районах пороговое значение снижено до 50 мм в Туапсинском районе и до 80 мм в Большом Сочи.

Дополнительно использованы: 1) материалы экспедиционных исследований, проводившихся сотрудниками географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова в Причерноморье в 2011—2012 гг.; 2) данные непрерывных уровненых наблюдений (за 2012—2014 гг.) на 53 пунктах Автоматизированной системы мониторинга паводковой ситуации на реках Краснодарского края (<http://test.emercit.com/overall.html>); 3) актуальные и архивные материалы разных ведомств и организаций, различные литературные источники, включая справочные издания из серии “Ресурсы поверхностных вод СССР” и Государственный водный кадастр, крупномасштабные картографические материалы, данные интернет-изданий и др.

В процессе исследований применялись следующие методы: 1) стандартные гидрологические расчеты и дополнительные статистические методы обработки и анализа гидрометеорологической информации с построением разнообразных эмпирических зависимостей и временных графиков, с проверкой рядов на соответствие основным статистическим гипотезам и др.;

2) обобщение и в то же время кластеризация гидрологических (и вспомогательных) данных, выделение сравнительно однородных (по анализируемым характеристикам и явлениям) территорий, объектов и речных участков; 3) визуализация пространственно распределенной информации с помощью ГИС-инструментов и численная оценка пространственных характеристик наводнений. Новый и важный подход в исследованиях — установление случаев наводнений на Черноморском побережье РФ в прошлом.

Для решения этой задачи сопоставлены документально подтвержденные наводнения с наблюдениями за максимальными уровнями ($H_{\text{макс}}$) и расходами воды ($Q_{\text{макс}}$) на ГП, а также с критическими высотными отметками и суточными слоями осадков на МС, определены критические значения (или диапазоны значений) для этих гидрометеорологических характеристик. Затем на основе полученных результатов и рядов гидрометеорологических характеристик за период 1945—2013 гг. выявлены случаи возникновения таких критических условий и соответственно наводнений (опасных затоплений) стокового или стоково-ливневого генезиса.

Результаты исследований и их обсуждение. Генетические типы наводнений. По условиям формирования и в соответствии с новой классификацией, изложенной в [1], а также размещенной на сайте лаборатории оценки природных рисков МГУ имени М.В. Ломоносова, на Черноморском побережье встречается несколько генетических типов наводнений, в основном природного происхождения. Доминируют *стоковые наводнения*. Они сопутствуют высоким дождевым паводкам, иногда трансформирующимся в селеподобный тип, реже — интенсивному снеготаянию на водосборах (в том числе при участии дождевых осадков), прорывам плотин прудов и завальных озер. Паводковым затоплениям подвержена лишь пойменная часть речных долин и устьевые конусы выноса.

Следующие по распространенности наводнения *смешанного типа* — стокового и одновременно ливневого генезиса. Вообще *ливневые наводнения*, которые также нередки в Причерноморье, вызваны выпадением над освоенными районами интенсивных дождевых осадков и зависят от особенностей территории, затрудняющих быстрый отвод дождевых вод в поверхностные и подземные водные объекты. Масштаб ливневых наводнений возрастает при плохом функционировании ливневой канализации, поэтому в явной и опасной форме они проявляются именно в населенных пунктах (за рубежом их называют городскими наводнениями), а их повторяемость увеличивается с ростом площади урбанизированных территорий. При стоково-ливневых наводнениях затопление территории осуществляется речными и дождевыми водами, а также мощными склоновыми потоками и водами возобновившихся временных водотоков, которые формируются осадками, особенно в устьях так называемых щелей. Воздействию этих наводнений подвержены

уже не только речные поймы, но и речные террасы и борта долины.

Третий тип — наводнения вследствие *морского нагона, штормовых нагонных накатов*, также смешанного типа — при совпадении паводка на реке и шторма на море, т.е. в условиях подпора со стороны приемного водоема. Эти наводнения возможны в устьях рек побережья.

Закономерности формирования и трансформации опасных паводков. Высокие и соответственно опасные паводки, приводящие к стоковым наводнениям, а также затопления дождевыми водами и мощными склоновыми потоками формируются сильными обложными дождями и ливнями при прохождении мощных циклонов и атмосферных фронтов, как особый случай — вследствие разрушения водяных смерчей, вышедших с моря на сушу [10—13, 15]. Катастрофические же наводнения на реках Черноморского побережья формируются в условиях определенного сочетания мезомасштабных и синоптических процессов.

Формирование паводков, приводящих к стоковым наводнениям, возможно в верхнем и в среднем течении черноморской реки. Если же ливневые осадки выпадают лишь в низовьях реки, к затоплениям приводит не столько подъем уровня воды в речном русле, сколько мощные склоновые потоки. Нередко на участках русла, расположенных ниже по течению, паводок образуется раньше из-за того, что дождевые облака смещаются со стороны моря, т.е. от устья реки. На небольших реках паводок может наблюдаться почти одновременно по всей длине русла. На крупных реках такое развитие гидрологической ситуации приводит к формированию особенно мощных паводков.

Волны паводков на черноморских реках перемещаются с большой скоростью. Она изменяется в зависимости от уклона русла и расхода воды и может достигать 1,5—5 м/с. От истока к устью рек $Q_{\text{макс}}$ возрастает, что сохраняет высокую скорость перемещения паводка, несмотря на уменьшение уклона русла. Максимальные значения скорости течения ($v_{\text{макс}}$) во время средних по высоте паводков изменяются от 1,5—2 м/с (реки Гастогайка и Дюрсо) до 3,5—4,5 м/с (реки на юге от Геленджика). Средняя скорость течения обычно почти в 1,5 раза меньше. Наибольшие же значения скорости течения варьируют от 5,5 до 7 м/с, но могут быть и больше. Так, 07.10.1970 на р. Куапсе измеренная скорость ($v_{\text{макс}}$) составила 8,75 м/с.

Паводки на черноморских реках благодаря ливневому характеру осадков, большим уклонам и сравнительно небольшим размерам бассейнов характеризуются кратковременностью, чрезвычайно быстрым подъемом и спадом уровня воды. В некоторых случаях их прохождение укладывается между стандартными сроками наблюдений на ГП, что служит одной из причин дефицита информации об основных характеристиках паводков. Паводок, или серия паводков, может длиться несколько суток. Однако основная волна паводка проходит, как правило, в течение не-

скольких часов — обычно не дольше 0,5—1 сут., а та ее часть, которая приводит к затоплениям, еще меньше. Например, катастрофический паводок на р. Туапсе в 1991 г. длился ~4,5 сут., основная его часть прошла примерно за сутки, а затопление поймы продолжалось менее 4,5 ч. Остаточные затопления на пойме сохраняются дольше.

Максимальный подъем уровня ($\Delta H_{\text{макс}}$) в руслах черноморских рек может достигать 5—7 м и больше (рис. 1). Последнее возможно в условиях катастрофического паводка, на участках сужения речных долин и русел и выше мостовых переходов. Подпорная составляющая паводочного подъема уровня выше мостовых переходов и древесных заломов может достигать 0,5—2 м и больше. Но все же доминируют участки русел с $\Delta H_{\text{макс}} \approx 1 \div 3$ м. Во время аномально высокого паводка затопляется практически все днище речной долины: ширина потока очень быстро увеличивается, по сути, на порядок, а иногда в 15—20 раз. Например, в 2012 г. р. Нечепсухо при ширине межженного русла 20—50 м в районе пос. Новомихайловский разлилась на 300—700 м (рис. 2).

Основную и конечную трансформацию паводочная волна претерпевает на самом нижнем участке реки и в устье, т.е. ниже впадения последних крупных притоков, в условиях существенного расширения речной долины, уменьшения уклона, подпора со стороны моря или от перегораживающего устье песчано-галечникового вала. В результате здесь, где обычно расположен населенный пункт, основная курортная и другая инфраструктура, происходит наиболее опасное затопление. Максимальная глубина затопления речными водами достигает 3 м и более (рис. 2), а склоновыми потоками — до 0,5 м. После кульминации наводнения основная часть воды сравнительно быстро стекает обратно в русло.

Повторяемость выходов речных вод на пойму регулируется как высотными отметками местности, так и величиной критических уровня и расхода воды и их обеспеченностью. На критические значения $Q_{\text{макс}}$ сильно влияют вертикальные русловые деформации, а также углубление, обвалование и канализация русел, поэтому со временем они изменяются. Так, если в начале 1950-х гг. пойма в районе с. Татьянавка (р. Пезуапсе) затоплялась при $Q_{\text{макс}}$ с обеспеченностью <80%, то в начале 1990-х гг. при тех же высотных отметках берегов, но более низких отметках дна затоплялась при $Q_{\text{макс}}$ с обеспеченностью <22%. И таких примеров много. Вообще, плановые и вертикальные деформации речных русел на побережье могут быть значительны и формировать отдельную угрозу для объектов в русле и на берегах.

Вместе с водой во время паводка перемещается большой объем наносов и мусора. Нередко паводки трансформируются в селевидные потоки, которые обладают большей разрушительной способностью и ведут к иным гидролого-морфологическим, экономическим и экологическим последствиям, существен-

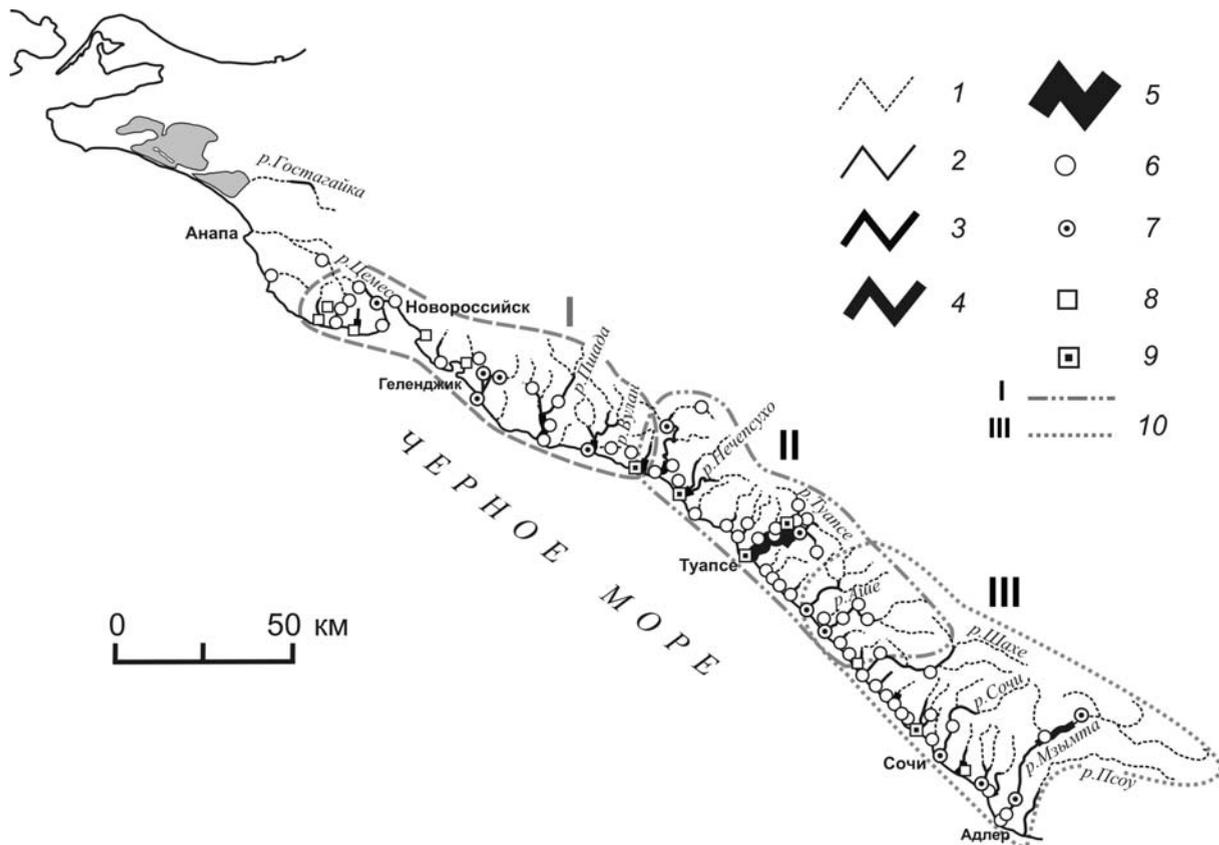


Рис. 1. Карта-схема риска наводнений на Черноморском побережье РФ. Максимально возможное повышение уровня воды в реках (м) над пердпаводочным: 1 — 1–3, 2 — 3–5, 3 — 5–7, 4 — 6–8 м, 5 — >8; населенные пункты, подвергшиеся в период с 1980 по 2013 г. стоковому затоплению: 6 — с числом событий $\leq 1-2$; 7 — с числом событий $\leq 1-2$ и человеческими жертвами, 8 — с числом событий ≥ 3 , 9 — с числом событий ≥ 3 и человеческими жертвами; 10 — участки побережья со сравнительно синхронными колебаниями максимального стока и одновременным возникновением наводнений: I — Геленджикский, II — Туапсинский, III — Сочинский

но увеличивающим ущерб от наводнения. Основная часть наносов отлагается в низовьях и устьях черноморских рек [9].

Пространственные закономерности наводнений. Случаи наводнений распределены на Черноморском побережье РФ очень неоднородно, несмотря на его сравнительно небольшую протяженность. Наиболее безопасны Темрюкский (без дельты р. Кубань) и Анапский муниципальные образования (МО). В условиях равнинной и предгорной территории, малого количества осадков и редкой русловой сети они не могут конкурировать по числу и катастрофичности наводнений с остальными районами побережья. Иногда здесь возникают локальные ливневые затопления со значительным ущербом. Кроме того, из-за низких и равнинных берегов между Анапой и пос. Веселовка, отмелости береговой зоны и ковшеобразности береговой линии потенциальную опасность представляют штормовые нагоны и цунами. Также потенциально опасны многочисленные искусственные водоемы, которых, согласно [12], в Анапском МО больше всего — около 39 с общей площадью 3,5 км².

В Новороссийском, Геленджикском, Туапсинском и Сочинском МО чаще всего к наводнениям приводят экстремальные дождевые паводки и мощ-

ные склоновые потоки. Существенно меньше стоковых наводнений было вызвано снеготальным стоком (подобное происходило в 1981 г. на реках Мезыбь и Вулкан, в 2003 и 2013 гг. на р. Мзымта и др.), прорывом завальных озер (в 1968 г. на р. Мзымта) и прудов (в 1977 г. на р. Мзымта) или совместным действием нескольких факторов. Все чаще средства массовой информации сообщают о локальных затоплениях населенных пунктов ливневыми водами и склоновыми потоками. Кроме того, для этой части побережья возможны мощные затопления во время штормовых нагонных накатов. Подобные события отмечены в 1968 г. (в устье р. Дагомьс), в 1992 г. (на участке между Сочи и Адлером), в 2003 и 2009 гг. (в устье р. Мзымта) и др.

В среднем многолетняя повторяемость стоковых и стоково-ливневых затоплений в Новороссийском, Геленджикском, Туапсинском и Сочинском МО составляет приблизительно 1 раз в 2,1; 0,9; 0,7 и 0,45 года. Для сравнения в Анапе она составляет 1 раз в 6 лет, а для всего Черноморского побережья РФ — 1 раз в 0,3 года. Больше всего катастрофических наводнений произошло на реках Туапсинского района (4 случая с 1945 по 2013 г.).

Наиболее опасные подъемы уровня воды происходят в основном на реках в районе Новороссийска,

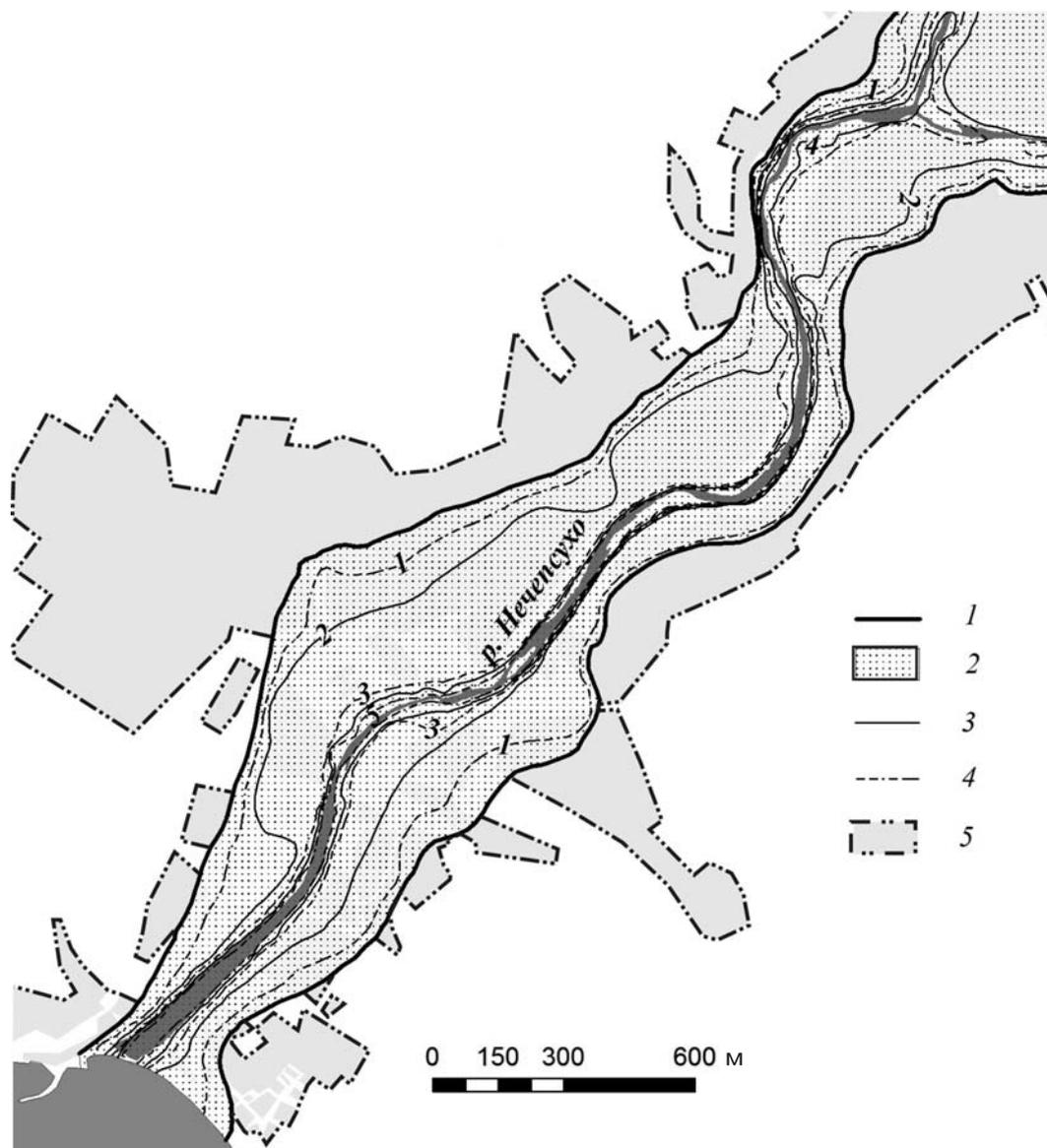


Рис. 2. Границы и глубина максимально возможного затопления в пос. Новомихайловский (согласно результатам изучения характеристик наводнений 16.10.2010 и 22.08.2012) [8]: 1 — граница затопления, 2 — зона затопления, 3 — основные изобаты (через 2 м), 4 — дополнительные изобаты (через 1 м), 5 — территория пос. Новомихайловский

Геленджика и в Туапсинском районе (рис. 1). Это, вероятно, один из факторов большей повторяемости здесь больших и катастрофических наводнений, большего числа человеческих жертв, другой фактор — быстрое формирование и прохождение паводков на реках в этих районах (из-за малых размеров водосборов) и нередко селевидный характер паводков.

Больше всего наводнений и соответственно выше ущерб в низовьях и устьях черноморских рек (рис. 1). Это неудивительно, поскольку, как отмечено, именно здесь сосредоточена основная часть населения и объектов на побережье, больше всего действующих факторов стихийного поведения речных, дождевых и морских вод. Поэтому для этой территории в большей мере необходимы соответствующий подход к эвакуации населения, ограничения на размещение в этой зоне социальных и производственных

объектов, другие оценки стоимости их страхования и мероприятия по их защите.

Площадь зоны возможного затопления ($F_{зат}$) в приморских населенных пунктах может достигать больших значений и включать жилые кварталы. По экспедиционным данным автора, собранным в 2011 г. и обработанным с применением ГИС-инструментов, в пос. Дивноморский (устье р. Мезыбь) площадь территории, подверженной затоплению речными водами (при прохождении дождевых паводков очень малой обеспеченности), составляет $\sim 0,44$ км², в пос. Архипо-Осиповка (р. Вулан) $F_{зат} \approx 0,73$ км², в пос. Джубга (р. Джубга) $F_{зат} \approx 0,79$ км², в пос. Лермонтово (р. Шапсухо) $F_{зат} \approx 0,83$ км², в г. Туапсе $F_{зат} \approx 2,08$ км².

Из-за орографических особенностей рассматриваемой территории стоковые и стоково-ливневые наводнения, как правило, охватывают ограниченное

число близко расположенных водосборов. Пространственная корреляция $Q_{\text{макс}}$ для рек Причерноморья относительно невелика и быстро уменьшается с увеличением расстояния между центрами тяжести водосборов. В пределах первых 50 км эмпирический коэффициент парной корреляции r еще может достигать больших значений — $\geq 0,6-0,7$ (при диапазоне колебаний от 0 до 0,9). При $L \approx 50 \div 75$ км $r < 0,5-0,6$, при $L \approx 75 \div 125$ км $r < 0,4-0,5$, при $L > 125 \div 150$ км r стремится к $0,1-0,2$. В среднем корреляция $Q_{\text{макс}}$ (между собой) перестает быть статистически значимой (при уровне значимости $\alpha = 5\%$ и имеющейся длине рядов) для расстояния свыше 40—60 км.

В пределах побережья можно условно выделить 3 района со сравнительно синхронными колебаниями $Q_{\text{макс}}$ и хронологическим совпадением наводнений — это Геленджикский (I), Туапсинский (II) и Сочинский (III) районы на рис. 1. В первых двух районах синхронность колебаний максимального стока наиболее высока. Кроме того, прохождение максимального расхода воды и наводнения порой совпадают с $Q_{\text{макс}}$ на реках северного склона Кавказа — у рек района I — с реками на участке от р. Гечепсин до Афиписа и Псекупса, у рек района II — с реками в бассейнах рек Псекупс, Пшиш и Белая. Катастрофические наводнения могут охватывать и большие по протяженности участки, захватывая даже южную оконечность Анапского МО, как это было в августе 2002 г.

Временные закономерности наводнений. Из-за особенностей внутригодового распределения осадков паводки на черноморских реках и $Q_{\text{макс}}$ могут фиксироваться неоднократно и в любое время года, но преобладают на реках к северу от р. Туапсе с ноября по март, а к югу — с октября по май. Реки Шахе, Сочи и Псоу отличаются наличием подобия весеннего половодья. Лишь р. Мзымта имеет хорошо выраженное весенне-летнее половодье с марта по август. Тем не менее, несмотря на такое распределение стока, почти 71% всех катастрофических наводнений приходится на лето и 29% на осень (т.е. 100%), для больших наводнений — 52 и 26% соответственно (т.е. 78%). Основная причина такого несоответствия заключается в увеличении экстремальности дождевых осадков в теплое полугодие. Так, по данным сетевых наблюдений за последние 50 лет в ноябре—апреле отмечено всего 9 случаев дождей с интенсивностью >100 мм/сут. В теплое полугодие подобные ливни отмечались по меньшей мере 46 раз (причем 85% случаев в июне—сентябре). Вообще, именно эти месяцы следует признать самыми опасными по причине наибольшей повторяемости самых опасных наводнений. Еще одним фактором, вызывающим наводнения, могут быть смерчи, образующиеся в прибрежной зоне, как правило, с июня по октябрь. Внутригодовой ход небольших наводнений и опасных затоплений, наоборот, отражает осредненный водный режим для обеих групп рек побережья — как на север, так и на юг от р. Туапсе. На зиму приходится 30% таких наводне-

ний, на весну — 12%, на лето — 28%, на осень — 30%. К самым безопасным месяцам (по всем типам наводнений) относятся март (3,5%) и апрель (1,5%).

В многолетнем плане прослеживается неясная (нелинейная и статистически незначимая), но все же тенденция к увеличению числа наводнений и, следовательно, вызываемого ими ущерба (рис. 3, а). Главным образом это обусловлено заметным увеличением числа наводнений в период с начала 1970-х гг. до начала XXI в. Существование этой тенденции может быть оспорено, но объективные причины для нее существуют.

Во-первых, это фиксируемые в регионе климатические изменения [7, 12—13, 15]. Гидрологической реакцией на них стало увеличение стока воды у ряда рек, максимального расхода воды (особенно в последней четверти XX в.) и экстремальности максимального стока (рис. 3, в). Последнее подтверждается, например, учащением возникновения аномально высокого максимального расхода воды, такого, как в 1980, 1991, 1997, 2002, 2010 и 2012 гг., а также статистически значимым (при $\alpha = 5\%$) нарушением однородности рядов максимального стока по дисперсии у ряда рек. Из сравнения рис. 3, в и 3, г следует известный вывод о том, что данные измерения количества осадков лишь на одной метеостанции в пределах такой сложной по строению территории, как Черноморское побережье Краснодарского края, малорепрезентативны даже в отношении стока той реки, на водосборе которой этот мониторинговый пункт находится.

Доказательством того, что многолетняя динамика числа наводнений обусловлена климатом, кроме того, служит явная согласованность между ней и суммарной (за год) продолжительностью меридионального южного типа циркуляции в Северном полушарии (в типизации Б.Л. Дзердзеевского), характеризующегося усилением роли южных циклонов. Согласно данным Н.К. Кононовой (рис. 3, б) [7], с конца 1950-х гг. отмечено увеличение продолжительности этого типа циркуляции. В начале 1960-х гг. впервые за 112 лет наблюдений (1899—2012) южные меридиональные процессы превысили свою среднюю величину. Беспрецедентный рост продолжительности южных меридиональных процессов начался с 1980-х гг. и лишь после 2000 г. их продолжительность пошла на спад, но по-прежнему выше среднего уровня.

Во-вторых, рост числа экстремальных наводнений может быть следствием крупномасштабной и не всегда продуманной хозяйственной деятельности. К ней следует относить: 1) интенсивную и сплошную застройку пойм рек и устьевых конусов выноса, где ранее были расположены только временные сооружения и огороды; 2) прекращение (или уменьшение масштаба) в постсоветский период работ по очистке русла и поддержанию защитных дамб; 3) расширение землепользования на водосборах, особенно сведение лесов. Именно с последним фактором ряд исследова-

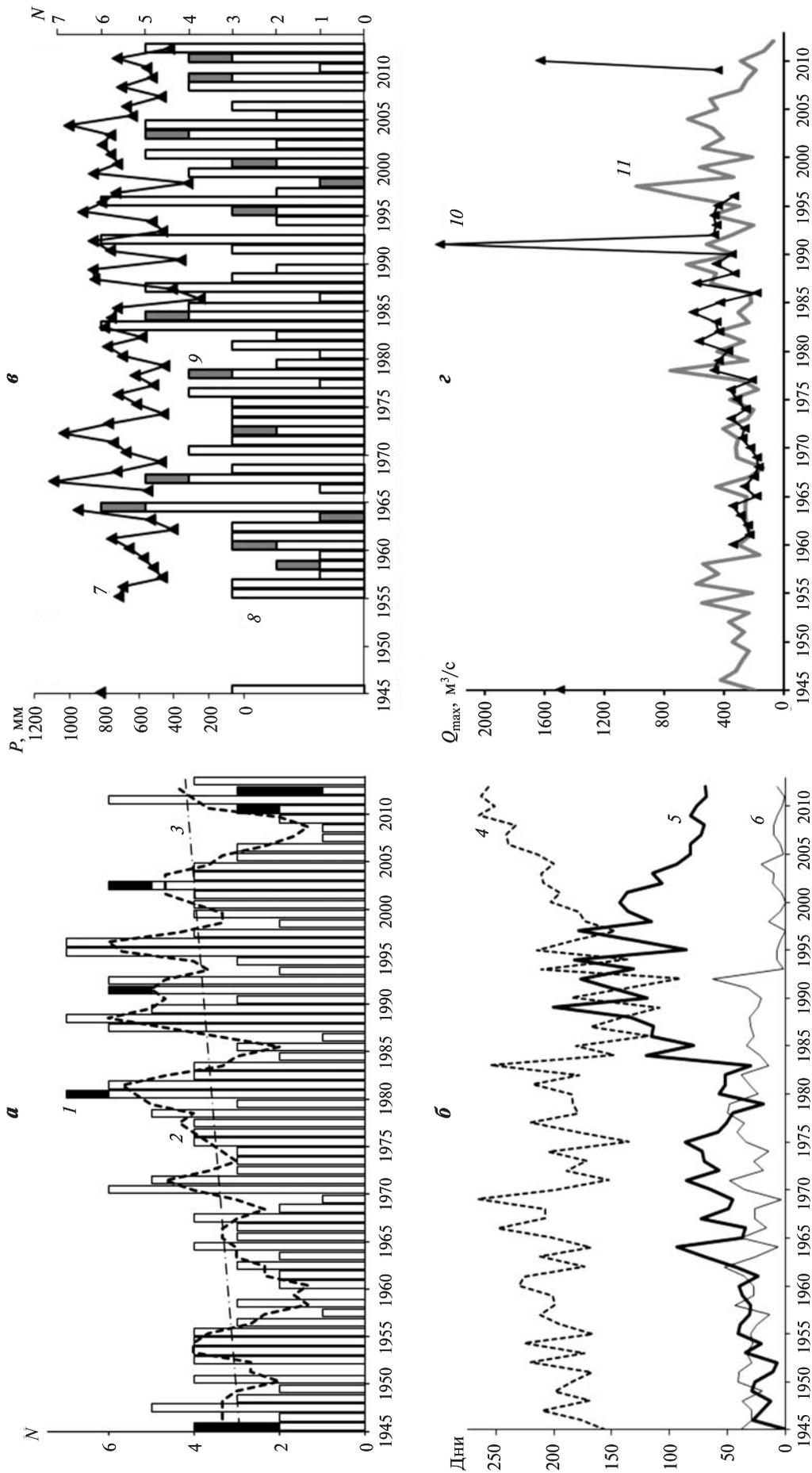


Рис. 3. Многолетние изменения повторяемости наводнений на Черноморском побережье Краснодарского края и обуславливающих их гидрометеорологических факторов: а — многолетняя динамика числа наводнений (черное — случаи катастрофических наводнений), 2 — сглаживающая кривая (с осреднением по 3-м значениям), 3 — линейный тренд; б — суммарная продолжительность за год групп типов циркуляции в Северном полушарии в типизации Б.Л. Дзердзеевского (<http://atmosphere-circulation.ru/datas/>); 4 — меридиональная северная, 5 — меридиональная южная, 6 — зональная; в — многолетний ход осадков на метеостанции Гуапсе; 7 — суммарный (за июнь—ноябрь) слой осадков, 8 — число дней в году с интенсивностью выпадения осадков 50—100 мм/сут; 9 — то же >100 мм/сут; г — многолетние колебания максимального годового расхода воды: 10 — р. Гуапсе, 11 — р. Сочи

телей связывают активизацию в XX в. (по сравнению с XIX в.) многих опасных природных явлений — наводнений, селей, обвалов и оползней.

В любом случае вопрос увеличения числа наводнений и обуславливающих этот рост факторов требует серьезного изучения, так как без ответа на него невозможно управлять гидрологическими рисками, прогнозировать изменение ситуации с наводнениями в будущем. Тем не менее уже сейчас ряд исследователей полагают [10], что положительная тенденция сохранится.

Другая особенность многолетней динамики числа наводнений на Черноморском побережье РФ — некоторая цикличность с продолжительностью циклов от 6—7 до 10—12 лет (рис. 3, а). Она укладывается в понятие так называемой квазидекадной изменчивости атмосферной циркуляции. Спектральным анализом ряда, выполненным в программе STATISTICA 10 (для пяти основных преобразований и при разной ширине окна скользящего среднего), выявлены самый высокий пик периодограммы и спектральной плотности для периода продолжительностью ~8 лет и существенно меньший по высоте пик для периода в 7 лет. Еще меньшие по величине пики приходятся на периоды в 3,5; 5, 23 и 11—12 лет.

Выводы:

— на Черноморском побережье РФ к числу наиболее опасных природных явлений и процессов, безусловно, следует относить наводнения главным образом стокового и стоково-ливневого генезиса, прохождение которых сопровождается не только разрушениями и значительным экономическим ущербом, но и человеческими жертвами, как это было в 1991, 2002, 2010 и 2012 гг. Подобная ситуация объясняется как особенностями размещения объектов экономики и расселения населения на побережье, так и паводочным режимом рек, невероятной быстротой формирования и прохождения экстремальных паводков, значительным и интенсивным повышением уровня воды во время таких паводков, нередкой трансформацией дождевых

паводков в селевидные потоки, экстремальностью ливневых осадков и участием мощных склоновых потоков в затоплении и др.;

— самыми опасными районами побережья следует признать Новороссийское, Геленджикское, Туапсинское и Сочинское муниципальные образования. Но если в Сочинском МО опасность создается большей частотой наводнений и их распространенностью из-за большего числа и протяженности рек, большей площади территории, большего количества осадков, то в первых трех указанных МО высокая опасность поддерживается большей экстремальностью дождевых паводков, именно здесь отмечено наибольшее число катастрофических наводнений и случаев гибели людей;

— чаще всего катастрофические и большие наводнения возникают летом и ранней осенью, тогда как небольшие наводнения в течение года отражают внутригодовое распределение стока и паводков на черноморских реках;

— в многолетнем плане ситуация с наводнениями не улучшается, несмотря на принимаемые защитные меры. Особенно заметно увеличилось число наводнений в 1980—1990-х гг. Помимо естественных факторов на ситуацию с экстремальными наводнениями воздействуют некоторые аспекты хозяйственной деятельности на водосборе и затопляемых территориях, а также снижение в 1990-х гг. и до недавнего времени объема и качества работ по расчистке речных русел, ремонту защитных дамб и строительству новых защитных сооружений;

— в многолетнем ходе числа наводнений выявлена их цикличность с продолжительностью циклов от 5—7 до 10—12 лет. Учет выявленных закономерностей позволит повысить уровень защищенности территории, объектов и населения не только путем наращивания масштаба инженерных мероприятий, но и благодаря оптимизации их распределения по территории, повышению эффективности системы мониторинга, улучшению прогноза критических гидрометеорологических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В.* Методика исследования и оценки опасных гидрологических явлений в устьях рек // Устья рек Каспийского региона: история формирования, современные гидролого-морфологические процессы и опасные гидрологические явления. М.: ГЕОС, 2013. С. 38—50.
2. *Алексеевский Н.И., Магрицкий Д.В., Ретеюм К.Ф., Юмина Н.М.* Научное обоснование структуры и содержания базы данных для изучения процессов затопления освоенной местности // Мат-лы Всеросс. науч. конф. Новочеркасск, 2013. С. 17—23.
3. *Архипкин В.С., Добролюбов С.А., Мухаметов С.С.* и др. Экстремальный дождевой паводок в бассейне р. Ашамба и его влияние на рельеф дна и структуру вод моря в районе г. Геленджик // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 27—34.
4. Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций Южного Федерального округа. М., 2007. 384 с.
5. *Баринев А.Ю.* Геоморфологическая оценка ливневой селеопасности Черноморского побережья: Автореф. канд. дисс. М., 2009. 23 с.
6. *Воробьев Ю.Л.* Катастрофические наводнения начала XXI века. М.: Дэкс-пресс, 2003. 352 с.
7. *Кононова Н.К.* Циркуляция атмосферы как фактор стихийных бедствий на Северном Кавказе в XXI веке // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2012. Т. 8, вып. 1—2. С. 72—103.
8. *Магрицкий Д.В., Алексеевский Н.И., Крыленко И.Н.* и др. Риски наводнений в низовьях и устьях рек Черноморского побережья России // Мат-лы Всеросс. науч. конф. Новочеркасск, 2013. С. 181—187.

9. Магрицкий Д.В., Самохин М.А., Юмина Н.М. Наводнения в Краснодарском крае и Республике Адыгея // Наука. Техника. Технология. 2013. № 4. С. 44—63.

10. Матвеева Т.А., Гущина Д.Ю., Колтерманн К.П. Факторы катастрофических наводнений в устьях рек европейской территории России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 2. С. 70—77.

11. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе / Под ред. Г.Г. Сванидзе, Я.А. Цуцкеридзе. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 265 с.

12. Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. Реки Черноморского побережья Кавказа: Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской изд. дом, 2012. 605 с.

13. Сергин С.Я., Яйли Е.А., Цай С.Н., Потехина И.А. Климат и природопользование Краснодарского Причерноморья. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2001. 188 с.

14. Таратунин А.А. Наводнения на территории Российской Федерации. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2000. 376 с.

15. Ткаченко Ю.Ю. Опасные гидрометеорологические явления на Черноморском побережье, связанные с выпадением сильных осадков // Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей. М.: Триумф, 2012. С. 43—46.

Поступила в редакцию
19.06.2014

D.V. Magritsky

SPATIAL-TEMPORAL PARAMETERS OF FLOODS AT THE BLACK SEA COAST OF THE RUSSIAN FEDERATION

Floods, mainly of runoff and runoff-storm genesis, are among the most dangerous natural processes and phenomena at the Black Sea coast of Russia. They cause damage and considerable economic losses and even fatalities. Successful forecast of floods, their control or mitigation and minimizing related damage depend on the knowledge about the factors of floods, their mechanisms, geographical localization of affected areas, long-term dynamics, frequency and speed of flooding processes, efficiency of flood control measures, etc. Data reconstructed for the flood and inundation events and their principal parameters formed the information base for the detailed analysis of the present-day flooding situation at the Black Sea coast of the Russian Federation and its evolution during 1945—2013.

Principal features of the origin and progress of high water episodes and resulting runoff and runoff-storm floods were revealed for the Black Sea rivers; general parameters of such floods were obtained. Original maps of the maximum possible water rise above the pre-flood level and of settlements affected by flooding of different frequency were compiled. Trends and causes of annual and long-term changes in genesis, number and parameters of floods, as well as their spatial correlations were identified for the coastal municipal districts. Results of the study could be useful for improvement of the system of flood control and prevention measures.

Key words: Black Sea coast, river, drainage basin, runoff, precipitation, high water, inundation, flood.

УДК 551.345 551.343.72 551.438.223

Ю.Н. Чижова¹, Н.А. Буданцева², Е.П. Рец³, Н.А. Лошакова⁴, В.В. Поповнин⁵, Ю.К. Васильчук⁶**ВАРИАЦИИ ИЗОТОПНО-КИСЛОРОДНОГО СОСТАВА ТАЛОГО СТОКА ЛЕДНИКА ДЖАНКУАТ НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАВКАЗЕ⁷**

Рассмотрены изотопные вариации талого ледникового стока с ледника Джанкуат на Центральном Кавказе в течение сезона абляции 2013 г. Этот сезон отличался аномальным количеством атмосферных осадков и нетипичной формой гидрографа р. Джанкуат. В результате исследований сделаны качественные оценки вклада таяния ледникового льда в общий сток. Определение вклада ледникового стока в стокообразование — ключевая часть комплексного гидроклиматологического подхода к мониторингу ледниковых бассейнов. Значения $\delta^{18}\text{O}$ воды р. Джанкуат в период абляции 2013 г. варьировали от $-15,04$ в начале июня до $-11,27\text{‰}$ в конце сентября. Значение $\delta^{18}\text{O}$ базисной составляющей стока в конце периода абляции составило $-11,9\text{‰}$. Низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ (-14‰ – -15‰) ледникового стока в июне связаны с таянием изотопически легкого зимнего и ранневесеннего снега и ледникового льда, увеличение значений $\delta^{18}\text{O}$ ($> -12\text{‰}$) в сентябре, видимо, указывает на преобладающую роль в питании реки подледных и подземных вод при снижении интенсивности абляции. Внутрисуточные колебания изотопного состава талой воды очень незначительны.

Ключевые слова: изотопно-кислородный состав, абляция, сток, Центральный Кавказ.

Введение. Применение стабильных изотопов в гидрологических исследованиях основано на естественной вариации изотопного состава осадков в результате фракционирования при фазовых переходах воды. Изотопно-кислородный состав широко применяется как индикатор для выделения вод различного происхождения [15, 17, 19].

Значение $\delta^{18}\text{O}$ природных осадков в глобальном масштабе тесно связано с температурой воздуха [14], поэтому зимние осадки имеют более низкие значения $\delta^{18}\text{O}$, чем летние (сезонный изотопный эффект). Кроме того, чем больше высота местности (высотный изотопный эффект) и чем больше расстояние от источника происхождения воздушных масс (континентальный изотопный эффект), тем ниже значения $\delta^{18}\text{O}$. Процесс метаморфизма снега также обогащает фирновый лед тяжелым кислородом [12].

Накопление ледникового льда в высокогорье умеренного и субтропического климата происходит в основном в зимний период. В холодное время года изотопный состав снега заметно более отрицательный по сравнению с изотопным составом осадков теплых сезонов, к тому же весенний снег практически пол-

ностью стайвает в начале периода абляции почти на всей площади ледников, сохраняясь только в самой верхней части зоны аккумуляции. Поэтому обычно изотопный состав ледникового льда характеризуется более низкими значениями $\delta^{18}\text{O}$, чем средние значения $\delta^{18}\text{O}$ в осадках за год. Эти изотопные различия делают значения $\delta^{18}\text{O}$ хорошим изотопным индикатором при изучении формирования ледникового стока.

В структуре питания высокогорных рек обычно выделяют следующие компоненты: а) талые воды льда и фирна с разных частей ледника (из зоны абляции/аккумуляции); б) талые снеговые воды как с ледниковой, так и с неледниковой части бассейна; в) летние дождевые осадки; г) подземные воды.

Каждый из этих компонентов может добегать по поверхности водосбора до замыкающего створа разными способами. Так называемый быстрый или надбазисный сток [5], формирующий внутрисуточную амплитуду колебания ледникового стока р. Джанкуат, в дни без осадков образуется за счет таяния на практически свободных от снега участках языка ледника или там, где толщина снега $0,5$ – 1 м и менее. Талая снеговая вода с неледниковой части бассейна р. Джа-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* eacentr@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* nadin.budanceva@mail.ru

³ Институт водных проблем Российской академии наук, лаборатория гидрогеологии и проблем окружающей среды, мл. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* retska@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, студентка; *e-mail:* retska@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* ro@geogr.msu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, профессор, докт. геол.-минерал. н.; *e-mail:* vasilch@geol.msu.ru

⁷ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (Соглашение 14-27-00083), Е.П. Рец и Н.А. Лошакова выполняли работу при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-05-31239).

куат из-за особенностей его строения добегают до замыкающего створа в основной своей массе за 20—30 часов, внося вклад в формирование водного и гидрохимического стока последующего дня [10].

Максимум таяния снега и фирна в области питания ледника значительно нивелируется в сезонном ходе расходов — это задерживающий эффект от фильтрации талой воды через снежный покров и фирновую толщу и стекания в теле ледника. Вследствие этого указанная составляющая в общем стоке ледниковой реки обычно имеет достаточно плавный сезонный колоколовидный ход с выраженным максимумом в середине периода абляции [5]. Так называемая базисная составляющая стока ледниковой реки, испытывающая незначительные колебания в течение теплого периода года и плавно истощающаяся в течение всего холодного периода, формируется за счет подземных вод, сезонных талых вод и дождевых вод длительного хранения, попавших в глубинные регулирующие емкости ледника, а также в неледниковой части бассейна [16].

Постановка проблемы. Цель исследования — определение вариаций $\delta^{18}\text{O}$ талого стока ледника Джанкуат в начале и конце периода абляции в 2013 г. Это послужит базой для дальнейших изотопных исследований по выявлению доли непосредственного таяния ледникового льда в формировании общего стока р. Адьлсу.

Исторические данные свидетельствуют о существовании общего многовекового тренда деградации оледенения в средних широтах практически всюду, что подтверждается результатами изучения ледниковых кернов и моделирования климата [20]. Сокращение оледенения, безусловно, приводит к значительным изменениям годового и летнего стока — по мере того как ледники отступают, их стокообразующая роль слабеет [11]. Кроме того, ледники регулируют годовой и внутригодовой сток посредством хранения воды в виде льда в годы обильных осадков и высвобождения талой воды в теплые сезоны и годы.

Формирование стока с горно-ледниковых бассейнов имеет свои особенности: изменчивость стока в горно-ледниковых бассейнах контролируется в первую очередь потоками поверхностной энергии, тогда как в неледниковых бассейнах изменчивость определяется режимом выпадения осадков, существует и эффект задержки, вызванный удержанием воды в толще ледника и действием подледниковой дренажной сети [16]. В ледниковых водосборных бассейнах сочетание измерения расхода воды и изотопных индикаторов позволяет сделать количественные оценки современного вклада таяния ледников в стокообразование. Особенно это важно для бассейнов, где получение метеорологических и гидрологических данных затруднено или ограничено. На леднике Джанкуат с 1968 г. ведется непрерывный масс-балансовый мониторинг, ледник включен в перечень объектов Всемирной службы мониторинга ледников (WGMS, World Glacier Monitoring Service, www.wgms.ch) как опорный репрезента-

тивный ледник Кавказа. В период Международного геофизического десятилетия (МГД) проводились режимные метеорологические и гидрологические наблюдения, после 1975 г. они стали неполными.

Наши исследования позволяют сделать качественную оценку вклада таяния ледникового льда в общем стоке. Определение вклада ледникового стока в стокообразование — ключевая часть комплексного гидроклиматологического подхода к мониторингу ледниковых бассейнов.

Ю.К. Васильчук и Н.А. Буданцева в процессе исследования суточных вариаций изотопного состава воды р. Азау (исток р. Баксан) в районе Эльбрусской учебно-научной станции географического факультета МГУ в августе 2010 г. выявили изотопный импульс у талых ледниковых вод.

Опробование воды проводили в створе, заложенном в 1 км от края ледника Большой Азау, образцы отбирали в течение суток с интервалом 3 ч. Значения $\delta^{18}\text{O}$ варьировали от $-14,8\text{‰}$ в интервале 3—9 ч.; в дневные часы (12—18 ч.) значение $\delta^{18}\text{O}$ составило $-14,1\text{‰}$, вечером и ночью отмечалось утяжеление изотопного состава до $-13,9\text{‰}$. Таким образом, в течение суток изотопный состав р. Азау изменился на $0,5\text{‰}$. Сдвиг времени максимального таяния льда (12—16 ч.) и фиксация наиболее легкого изотопного состава воды в р. Азау (3—9 ч.), скорее всего, соответствует времени добегания основного объема талой ледниковой воды до русла реки [4].

В задачу работ в 2013 г. входило исследование сезонной и суточной вариативности изотопного состава талых ледниковых вод ледника Джанкуат.

Материалы и методы исследований. Ледник Джанкуат расположен на северном склоне Главного Кавказского хребта. Верхняя граница ледника оконтурена скальным гребнем Главного Кавказского хребта и далее проходит по относительно выровненной поверхности Джантуганского фирнового плато, лежащего в пригребневой части Кавказского хребта. Большая часть плато относится к ледосбору ледника Лекзыр, стекающего на юг. Однако часть льда с плато питает систему ледника Джанкуат. Вытекая из-под одноименного ледника, р. Джанкуат служит одним из истоков р. Адьлсу, которая впадает в р. Баксан. В горно-ледниковом бассейне ледника Джанкуат расположены три малых ледника — Койавган, Виатау и Висячий, сток с которых поступает в р. Джанкуат (рис. 1).

В пределах ледника Джанкуат выделяются восемь высотных зон [7]. Зона I (2700—2730 м над уровнем моря) — участки мертвого льда, обрамляющие язык в его концевой части и практически потерявшие с ним связь. Толща льда насыщена моренными отложениями. Скорость абляции подморенного льда в несколько раз меньше, чем скорость абляции чистого льда [9]. Зона II (2700—2770 м) — конец языка с крутизной свыше 20° . Его поверхность перекрыта моренными валами, вытянутыми вдоль движения ледника, трещины отсутствуют. Толщина льда достигает 50 м.

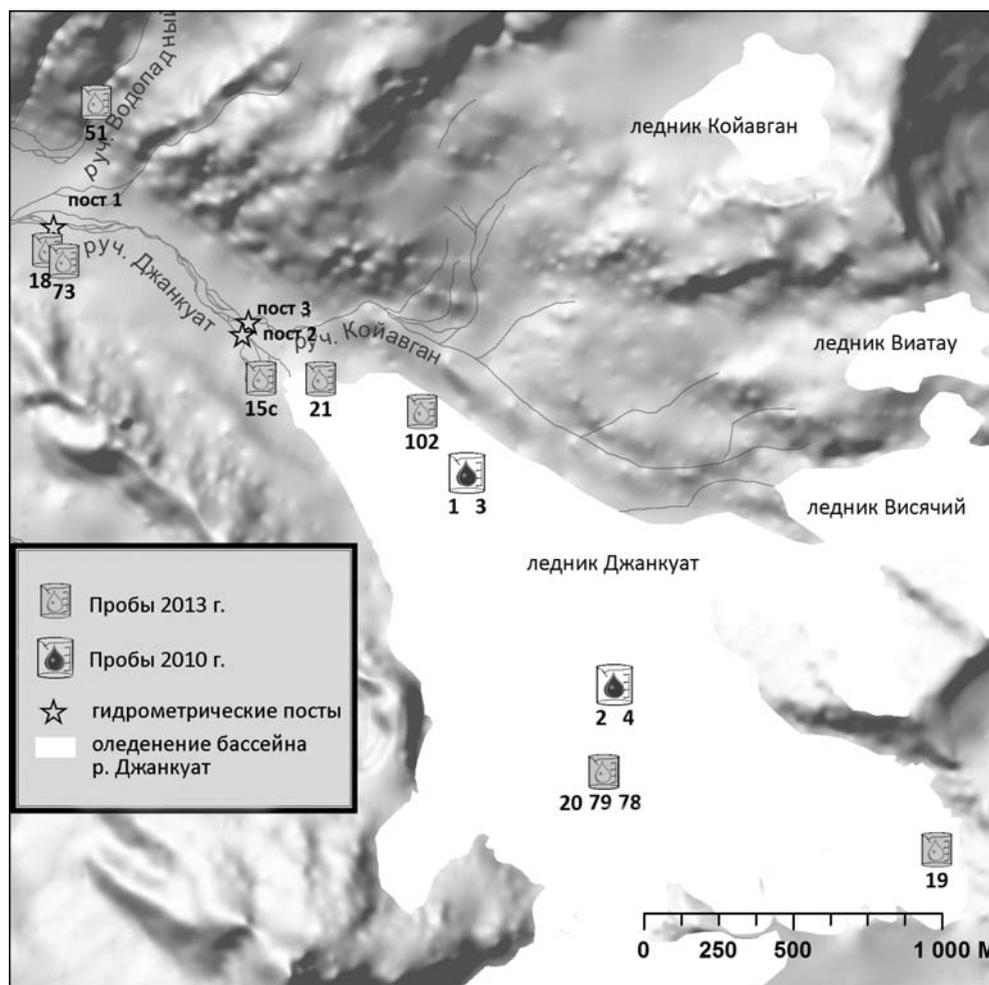


Рис. 1. Карта-схема бассейна ледника Джанкуат, расположение гидрологических створов и точек опробования

Зона III (2770–2850 м) — пологий участок ледника (крутизна до 8°). Вся эта зона представляет собой зону сжатия. Толщина льда достигает 80 м. Зона IV (2850–2940 м) — крутой участок ледника (крутизна 15–20°), разбитый в центральной части ледопадом с системой радиальных и поперечных трещин отрыва. Толщина льда на ледопаде составляет 30–40 м. Зона V (2940–3020 м) — пологий участок ледника (4–6°), заключенный между IV зоной и ледопадом, разделяющим области аккумуляции и абляции. Толщина льда в верхней части зоны более 100 м. Зона VI (3020–3200 м) — ледопад, разделяющий области аккумуляции и абляции. В пределах этой зоны от года к году мигрирует фирновая граница (кроме аномально теплых или холодных лет). Примерно 80% площади зоны разбито поперечными трещинами. Толщина льда, очевидно, невелика, судя по выходящему местами на поверхность скальному ригелю, и составляет 30–50 м. В зону VII (3200–3500 м) входит большая часть области аккумуляции, вплоть до бергшрунда. Поверхность разбита многочисленными трещинами и провальными воронками. К зоне VIII относятся участки ледника, лежащие выше бергшрунда (3500 м и выше) на скальном обрамлении [7].

В.В. Поповниным [8] и А.А. Алейниковым [1] на основе прямых наблюдений и данных об изменении гипсометрии ледника Джанкуат для конца XX в. установлена тенденция к переходу от квазистационарного состояния к деградации — общее отступление языка ледника за период с 1968 по 2000 г. составило 105 м, но этот процесс был крайне неравномерным. Так, с 1968 по 1974 г. ледник отступил на 60 м, к началу 1980-х гг. еще на 28 м, после чего оставался стационарным в течение нескольких лет. С 1985 по 1993 г. положение ледника было квазистационарным, а начиная с 1994 г. отступление фронта продолжилось. Среднее понижение поверхности ледника с 1968 по 1999 г. составило почти 6 м в слое воды, в нижней части его языка, свободной от морены, максимальное понижение поверхности превысило 28 м, а по всему языку составило 10,5 м [8].

Для изучения изотопных вариаций ледникового стока ледника Джанкуат были заложены постоянные гидрологические створы (рис. 1). Полевые гидрологические работы в бассейне р. Джанкуат в период абляции 2013 г. включали:

— непрерывное измерение стока р. Джанкуат на посту 1 (рис. 1). Регистрация уровня воды с часовым

ходом проводилась автоматическим самописцем уровня воды АДУ-02. Для перерасчета уровня воды в расход воды построены кривые зависимости расхода от уровня воды в р. Джанкуат для разных месяцев теплого периода. Суммарно выполнено более 40 измерений расхода воды методом ионного паводка. При измерении расхода воды также определялась ее фоновая электропроводность;

— пробы воды для исследования суточного хода вариаций $\delta^{18}\text{O}$ и содержания главных ионов отбирали в р. Джанкуат и руч. Койавган в створе постов 1—3 (рис. 1) 11.06., 20.06., 29.06 и 19.09.;

— пробы снега, фирна и льда с разных частей ледника Джанкуат, атмосферных осадков, а также из отдельных водотоков бассейна отбирали для определения изотопного состава источников питания р. Джанкуат (суммарно 9 проб).

Исследован изотопный состав льда ледника Джанкуат в зоне абляции и на границе зон абляции и аккумуляции. В августе 2010 г. В.Г. Пастухов отобрал образцы льда из глубоких трещин в III и VI гляциологических зонах ледника Джанкуат. Для сравнения использован изотопный состав снега и фирна из зоны аккумуляции ледникового плато Джантуган, исследованный ранее [21].

Таблица 1

Суточный ход значений $\delta^{18}\text{O}$ в стоке ледников Джанкуат (посты 1 и 2) и Койавган (пост 3) в 2013 г.

Время отбора, ч.	$\delta^{18}\text{O}$, ‰				
	11.06.	20.06.	29.06.	29.06.	19.09.
	пост 1		пост 2	пост 3	пост 1
07:00	-14,86	-14,54	—	—	—
08:00	-14,88	-14,53	—	—	-12,88
09:00	-14,73	-14,59	—	—	—
10:00	-14,75	-14,46	—	—	-12,91
11:00	-14,8	-14,66	-14,66	-14,6	-12,98
12:00	-14,74	-14,41	-14,82	-14,58	-12,85
13:00	-14,71	-14,50	-14,40	-14,59	-12,7
14:00	-14,82	—	-14,75	-14,58	-12,96
15:00	-14,76	—	-14,06	-14,54	-12,97
16:00	-14,77	—	-14,72	-14,52	-12,34
17:00	-14,75	-14,47	—	-14,51	-13
18:00	-14,82	-14,35	-14,62	-14,50	-12,85
19:00	-14,82	—	-14,57	-14,53	-11,97
20:00	-14,67	—	-14,75	-14,61	-11,27
21:00	-15,04	—	-14,73	-14,65	—
22:00	-14,8	—	—	—	-12,88
23:00	-14,89	-14,54	—	—	-12,83

Примечание. Прочерк — образцы не отбирали.

Изотопные определения выполнены в изотопной лаборатории географического факультета МГУ на масс-спектрометре “Delta-V” со стандартной опцией газ-бенч. Для измерений использованы международные стандарты V-SMOW ($\delta^{18}\text{O} = 0\text{‰}$), GISP ($\delta^{18}\text{O} = -24,76\text{‰}$), SLAP ($\delta^{18}\text{O} = -55,5\text{‰}$), лабораторные стандарты МАГАТЭ (IAEA 12: $\delta^{18}\text{O} = -12,1\text{‰}$, IAEA 13: $\delta^{18}\text{O} = -33,35\text{‰}$), собственный лабораторный стандарт МГУ — снег ледника Гарабаши ($\delta^{18}\text{O} = -15,60\text{‰}$). Точность определений $\delta^{18}\text{O}$ составила $\pm 0,08\text{‰}$. Химический анализ 19 отобранных проб воды р. Джанкуат проводили частично в оборудованной полевой лаборатории (электропроводность воды, значение pH и общая щелочность), а общий солевой состав вод — в лаборатории Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные значения $\delta^{18}\text{O}$ стока ледника Джанкуат с 06.06.2013 по 23.09.2013 варьируют от $-11,27$ до $-15,04\text{‰}$ (табл. 1), значения $\delta^{18}\text{O}$ атмосферных осадков и снега на леднике — от $-8,85$ до $-17,64\text{‰}$ (табл. 2). Расход воды в створе 1 в течение всего периода наблюдений изменялся от $0,4$ до $3,0 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 2).

Таблица 2

Значения $\delta^{18}\text{O}$ в образцах осадков, льда, снега и воды ледника Джанкуат в 2013 г.

Номер образца	Дата	Время	Описание образца	$\delta^{18}\text{O}$, ‰
18	12.06.		Дождь	-8,85
19	12.06.		Снег с ледника, рейка 70	-11,08
20	12.06.		Снег с ледника, рейка 49	-8,97
21	12.06.		Снег с языка	-14,80
51г	11.06.		Правый ручей выше двух снежников	-13,87
52к			Ручей из-под моренного вала	-14,06
53к			Р. Джанкуат	-14,25
72	20.06.	00:00	Р. Джанкуат	-14,69
73	20—21.06	23:00—4:00	Мокрый свежесвыпавший снег	-9,90
78	22.06.		Снег из шурфа, глубина 1 м	-17,64
79	22.06.		Фирн из шурфа, глубина 3,8 м	-11,24
102	01.07.		Лед с языка ледника, II зона	-14,96
15с	23.09.		Ручей из-под правой морены	-11,94
16с	23.09.		Р. Джанкуат	-11,89

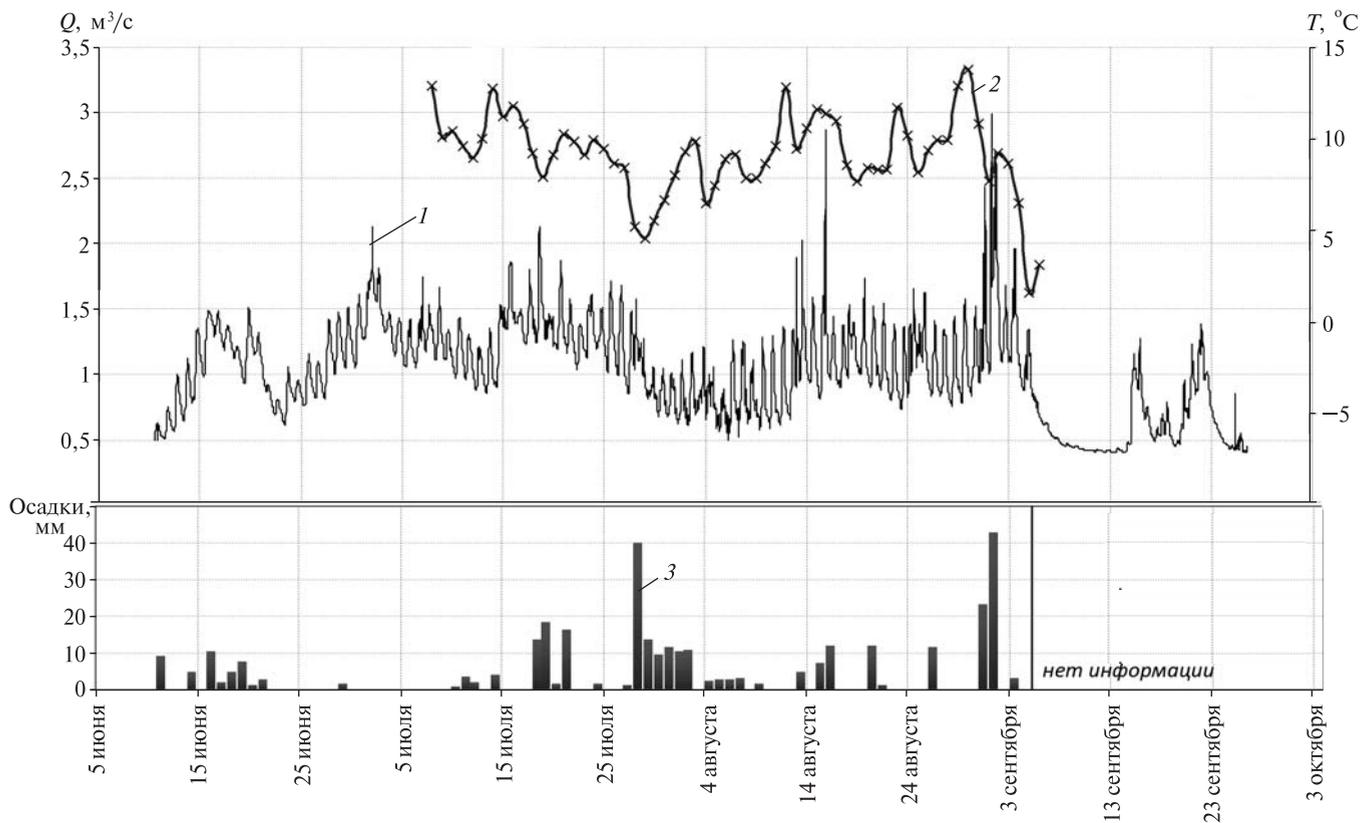


Рис. 2. Расходы воды в р. Джанкуат (1), температура воздуха (2) и количество осадков (3) в июне—сентябре 2013 г.

В характере сезонных изменений изотопного и гидрохимического состава воды р. Джанкуат в замыкающем створе (створ 1) отражены метеорологические и гидрологические условия в бассейне во время сезона абляции в 2013 г., основной погодной особенностью которого было повышенное количество атмосферных осадков (рис. 2). Так, за июль и август в бассейне выпало 293 мм осадков, что на 50% выше многолетней нормы для этих месяцев по данным наиболее близко расположенной метеостанции Терскол (находится на высоте 2143 м). Преобладание пасмурной погоды стало причиной низкой интен-

сивности таяния в бассейне и относительно меньшей водности р. Джанкуат летом 2013 г. Гидрограф стока р. Джанкуат имел в 2013 г. волнообразную форму, отличающуюся от типичного для этого ледникового бассейна колоколовидного изменения расхода воды. Периодические спады водности связаны с периодами похолоданий и пасмурной погоды (рис. 2).

В сезонном ходе $\delta^{18}\text{O}$ воды в р. Джанкуат (рис. 3) прослеживается общее монотонное увеличение значений за период с июня по сентябрь от $-14,75\text{‰}$ — $-14,85\text{‰}$ в начале июня до $-11,8\text{‰}$ — $-12,8\text{‰}$ в конце сентября. Эта закономерность характерна для ледниковых рек и связана со значительной долей таяния изотопно-легкого зимнего снега в структуре питания реки в первую половину сезона абляции. Так, в период абляции 2007 г., согласно данным моделирования [9], доля таяния снега в суммарном таянии в бассейне р. Джанкуат изменялась от 99% в начале июня до 40% в начале сентября.

Изотопные значения ледникового стока в течение суток в июне варьируют незначительно — $\delta^{18}\text{O}$ изменяется менее чем на 1‰ в пределах от -15 до -14‰ . Более выраженные колебания $\delta^{18}\text{O}$ в суточном ходе 29.06. связаны с тем, что отбор проводился на посту 2, который находится на 30—50 м ниже слияния нескольких ручьев, формирующих р. Джанкуат, каждый из них имеет свои особенности формирования стока, а следовательно, изотопного состава, т.е. отбор проб проводился в зоне смешения вод из разных источников.

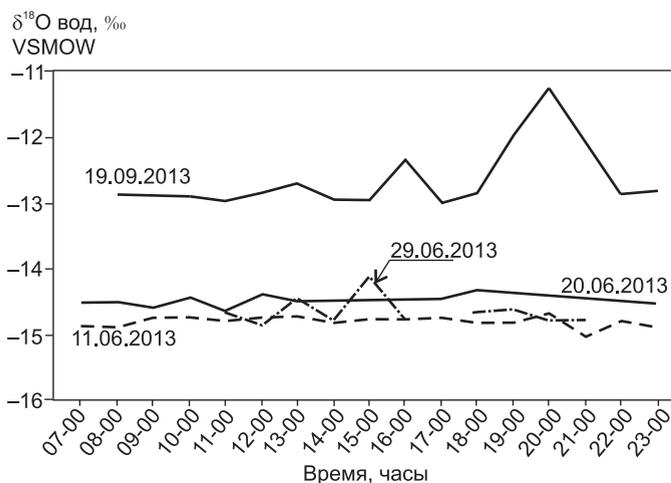


Рис. 3. Сезонный ход суточных значений $\delta^{18}\text{O}$ в р. Джанкуат

В сентябре в течение суток значения $\delta^{18}\text{O}$ также варьировали от -13 до -12‰ , однако вечером от 19 до 21 ч. (табл. 1, рис. 4) отмечено резкое увеличение значений изотопного состава талой воды до $-11,27\text{‰}$. Это, скорее всего, связано с добеганием волны дневного таяния снега, выпавшего в начале сентября. В сентябре 2013 г. ледник дважды перекрывался свежим снегом — первый раз после интенсивных осадков 05.09., при этом практически полностью приостанавливалось таяние ледника. На гидрографе за период с 05.09. по 14.09. (рис. 2) отражается кривая сработки запаса регулирующей емкости ледника, а также неледниковой части бассейна. Выпавший на ледник снег с дождем в течение последующих дней не таял вследствие наступившего похолодания. Затем с 14.09. по 22.09. наступило временное потепление, послужившее причиной активного таяния свежеснеговывпавшего снега, что отражается в заметном утяжелении изотопного состава воды р. Джанкуат при добегании суточной волны таяния. После непродолжительного потепления ледник снова был перекрыт свежеснеговывпавшим снегом 23.09., период абляции окончательно завершился. Таким образом, проба воды, отобранная из р. Джанкуат 23.09., характеризует изотопный состав “базисной” составляющей стока р. Джанкуат за 2013 г., формирующейся за счет подземных вод, сезонных талых и дождевых вод длительного хранения. Достаточно тяжелый изотопный состав базисной составляющей стока р. Джанкуат ($-11,89\text{‰}$) связан прежде всего с большим количеством осадков в период абляции 2013 г.

В сезонном изменении минерализации р. Джанкуат прослеживается ярко выраженная обратная зависимость от водности реки, связанная с разбавлением базисной составляющей стока талой водой быстрого добегания с ледника. При этом зависимость имеет

более сложный характер, чем простая линейная обратная пропорциональность. В начале сезона таяния (пробы отобраны 09.06.—10.06.) минерализация вод р. Джанкуат на посту 1 (рис. 1) составляла $60\text{—}70$ мг/л, с подъемом волны таяния 13.06.—15.06. она уменьшилась до $40\text{—}50$ мг/л. Серия интенсивных дождей 16.06.—21.06. вызвала увеличение минерализации воды в ручье до $50\text{—}60$ мг/л вследствие насыщения склонового стока солями (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^-) в процессе добегания по свободной от снега поверхности водосбора и фильтрации через чехол моренных отложений. После уменьшения таяния ледникового льда из-за заморозков в начале сентября минерализация воды в замыкающем створе установилась на уровне 80 мг/л, что может характеризовать минерализацию “базисной” составляющей стока. Во время последующих оттепелей минерализация в реке уменьшилась до $50\text{—}60$ мг/л.

Общее изменение изотопного состава талой воды в р. Джанкуат в период абляции с июня по сентябрь оставило немного более 2‰ (рис. 4). Аналогичный сезонный ход $\delta^{18}\text{O}$ отмечается на ледниках Австрийских Альп [12, 18], Скалистых гор [13], где в годовом ходе содержания ^{18}O отмечается ярко выраженный минимум в начале периода таяния и увеличение значений $\delta^{18}\text{O}$ на $2\text{—}3\text{‰}$ в конце периода абляции.

Исследование механизма формирования стока с ледника осложняется его образованием из атмосферных осадков и в результате таяния снега и льда. В ледниковом стоке, как правило, выделяют три компонента таяния: а) талые воды с языка ледника, б) прямой сток от таяния фирна и снега, в) талые воды более длительного сохранения в леднике (во внутриледниковых полостях). Обычно каждый компонент имеет суточные колебания с разным временем добегания [12].

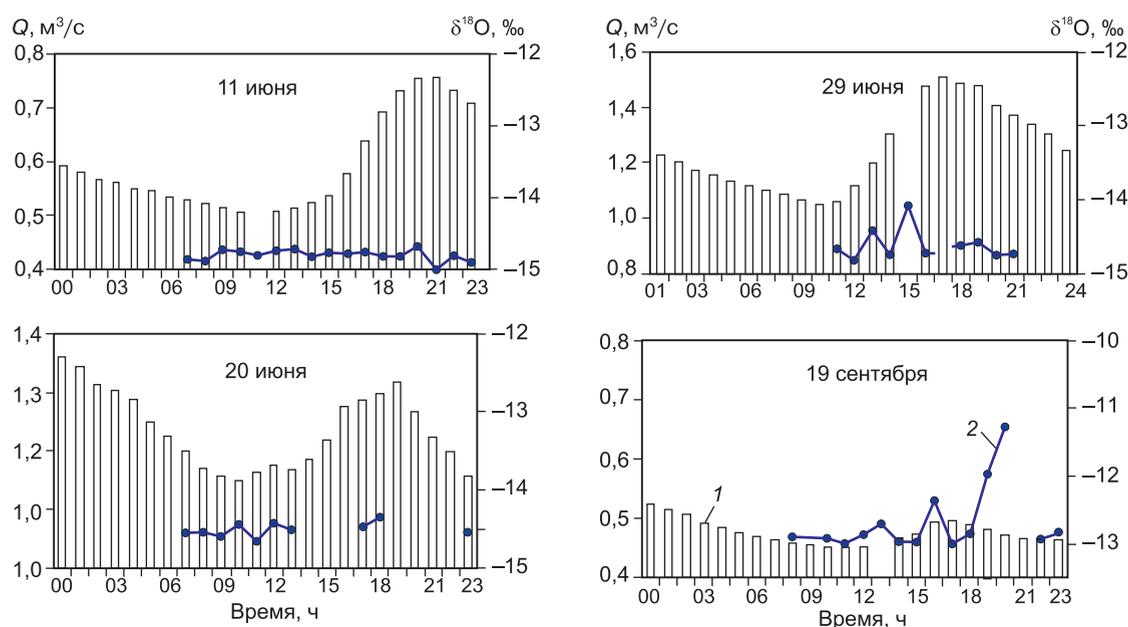


Рис. 4. Суточный ход значений $\delta^{18}\text{O}$ и расхода воды в р. Джанкуат

В нашем случае эти внутрисуточные эффекты полностью нивелированы. В начале периода абляции стает снег и лед, что формирует относительно низкие изотопные значения стока. В течение всего периода абляции тает подморенный лед, и во время всего периода абляции в стоке участвуют внутрiledниковые и подледниковые воды более длительного хранения, а также подземные (внутригрунтовые) воды неледниковой части. Видимо, в июне их роль крайне невелика. В конце сентября лед не тает, на леднике начинается новый сезон аккумуляции, поэтому в ледниковом стоке принимают участие лишь подледные, внутрiledниковые и внутригрунтовые воды.

Сезон абляции 2013 г. характеризовался обильными осадками. Летние атмосферные осадки обладают наиболее тяжелым изотопным составом. Значение $\delta^{18}\text{O}$ в дожде, выпавшем 12.06., составило $-8,85\text{‰}$, в мокром свежевывавшем снеге 20.06.—21.06. — $-9,9\text{‰}$. Наименьшее значение $\delta^{18}\text{O}$ характерно для зимних атмосферных осадков. В течение лета сезонный снежный покров насыщается ^{18}O под воздействием промачивания летними атмосферными осадками, которые имеют относительно тяжелый изотопный состав, и вследствие изотопного фракционирования, происходящего при таянии снежного покрова. Наименьшее значение $\delta^{18}\text{O}$ ($-17,64\text{‰}$) характерно для пробы, отобранной с глубины 1 м из шурфа № 7 (рис. 1, № 78), это, скорее всего, ранневесенний снег или ранневесенний снег, подвергшийся незначительному изотопному обогащению. В поверхностном снеге в зоне аккумуляции (рис. 1, № 19, 20) в результате насыщения дождевыми осадками значение $\delta^{18}\text{O}$ уже повышено относительно более глубоких слоев сезонного снега и составляет $-8,97\text{‰}$ — $-11,08\text{‰}$ (табл. 2). В зоне абляции снег за счет меньшей мощности и большей интенсивности таяния задерживается на по-

верхности ледника менее продолжительное время, чем в зоне аккумуляции, что в совокупности позволяет толще снега быстрее дойти до температуры таяния [10]. Вследствие этого поверхностный снег в зоне абляции не успевает насытиться водой летних атмосферных осадков в той же мере, что и в зоне аккумуляции. Поверхностная проба снега, отобранная на языке ледника (рис. 1, № 21), имеет более легкий состав ($\delta^{18}\text{O} = -14,8\text{‰}$). Относительно тяжелый изотопный состав поверхностного снега в более гипсометрически высоких зонах может быть связан с участием изотопно более тяжелого весеннего снега, в то время как в нижних зонах ледника осадки выпадали уже в жидкой форме. При этом жидкие осадки не могут пропитать снег больше, чем на величину водоудерживающей способности.

Изотопный состав ледникового льда может значительно варьировать в зависимости от погодных условий, при которых он образовывался. В августе 2010 г. по нашей просьбе В.Г. Пастухов отобрал образцы льда из глубоких трещин в III и VI гляциологических зонах (рис. 1, 1, 3 и 2, 4.).

В зоне III значения $\delta^{18}\text{O}$ варьируют в толще льда от $-18,62$ до $-13,41\text{‰}$, в зоне VI — от $-15,05$ до $-11,78$ (рис. 5). Зона VI — область ледопадов, здесь находится средняя многолетняя граница питания ледника, зона III — зона абляции и находится на 200 м ниже. То что в области абляции лед изотопно легче, чем в верхних зонах ледника, говорит о том, что этот изотопноотрицательный пластически сместившийся сюда лед характеризует накопление в более низкотемпературный период или в период, когда весенние снегопады на Кавказе были очень незначительны и весенний изотопно более теплый снег не участвовал в льдонакоплении.

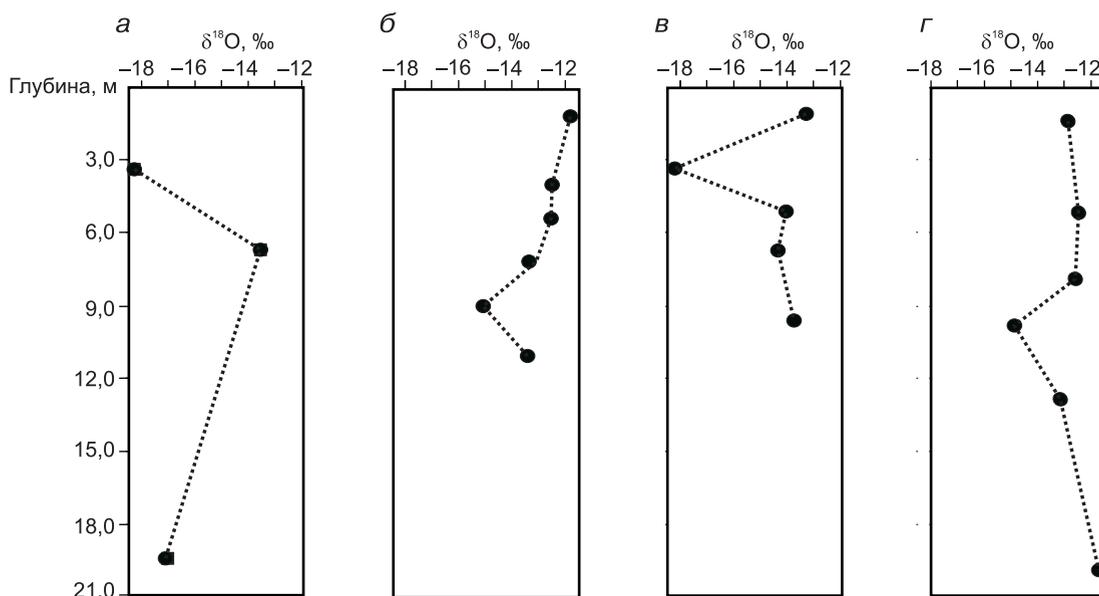


Рис. 5. Вариации $\delta^{18}\text{O}$ и δD , исследованные в образцах льда из трещин ледника Джанкуат, по [3]: а — трещина 1, зона III; б — трещина 2, зона VI; в — трещина III, зона 3; г — трещина 4, зона VI

Согласно прямым наблюдениям на ст. Терскол, температура воздуха зимой за последние 60 лет менялась незначительно [2], а колебания среднегодовой температуры воздуха по метеостанции Пятигорск в течение последних 100 лет составили 0,5 °С, при этом наиболее холодным был период 1890—1900 гг., когда отклонение среднегодовой температуры составило –0,3 °С от средней за столетие [6]. Возможно, более изотопно холодный лед в зоне абляции — это лед, сформировавшийся в такой период похолодания.

Значение $\delta^{18}\text{O}$ в пробе льда, отобранной с поверхности языка 01.07. (рис. 1, 102), составило –14,96‰, что близко к его значению в поверхностном снеге в этой же зоне.

Так как на языке ледника тают одновременно обнаженные на его поверхности разновозрастные и соответственно разные по составу слои льда, то в итоге составляющая стока, формирующаяся за счет таяния льда, обладает некоторыми осредненными характеристиками изотопного состава.

Изотопный состав фирна зависит прежде всего от погодных условий предыдущего года, когда происходило его формирование. В пробе фирна (рис. 1, 20) значение $\delta^{18}\text{O}$ составило –11,24‰, это меньше, чем в летних атмосферных осадках, но больше, чем в среднем для образцов льда (табл. 2).

Ранее изотопно-кислородные исследования выполнены в скважине на фирновом плато Джантуган [21]. Здесь из скважины, пробуренной на высоте 3620 м, проанализировано около 50 образцов фирна и льда до глубины 52 м, где залегает лед, сформировавшийся из снега в конце 1950-х — начале 1960-х гг.

Скорость накопления фирна составляет ~3 м/год, т.е. нижняя граница фирна, залегающая на глубине около 14,5 м, датируется 1978 г. (бурение проводилось в 1980 г.). Отбор на изотопные определения выполнен из нижней части фирновой толщи и из средней

части ледяной толщи (с глубины 45—52 м), накопившейся с 1960 по 1964 г.

Значения $\delta^{18}\text{O}$ в толще варьируют от –7,8 до –18,9‰ [21]. Таким образом, общая вариативность значений $\delta^{18}\text{O}$ в области абляции ледника Джанкуат находится внутри диапазона вариаций в области его питания.

Выводы:

— значения $\delta^{18}\text{O}$ воды р. Джанкуат в период абляции 2013 г. варьировали от –15,04‰ в начале июня до –11,27‰ в конце сентября. Значение $\delta^{18}\text{O}$ базисной составляющей стока в конце периода абляции составило –11,9‰;

— сток ледника Джанкуат с июня по сентябрь характеризовался значениями расхода воды от 0,5 до 3,0 м³/с (средняя величина стока для бассейна), гидрограф имел волнообразную форму, это необычно и связано с периодическими резкими изменениями температуры воздуха и количества осадков в течение сезона абляции;

— низкие значения $\delta^{18}\text{O}$ (–14...–15‰) ледникового стока в июне связаны с таянием изотопически легкого зимнего и ранневесеннего снега и ледникового льда, увеличение значений $\delta^{18}\text{O}$ (>–12‰) в сентябре, возможно, указывает на преобладающую роль в питании реки подледных и подземных вод при снижении интенсивности абляции;

— заметные изотопные вариации выявлены в суточном ходе талого стока ледника Джанкуат 19.09. — резкое увеличение $\delta^{18}\text{O}$ почти на 2‰ между 18 и 20 ч. (до –11,27‰). Резкий рост $\delta^{18}\text{O}$ при незначительном повышении расходов связан с поступлением талых вод из-за дневного таяния изотопнотяжелого свежевыпавшего снега при краткосрочном потеплении.

Авторы благодарят за помощь в полевых и лабораторных работах М.В. Гайдамуху, В.Г. Пастухова, А.М. Смирнова и А.Г. Ростиашвили.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников А.А. Взаимосвязь движения горного ледника и его баланса массы на примере ледника Джанкуат, Центральный Кавказ: Автореферат канд. дисс. М., 2001.
2. Васильчук Ю.К., Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А. и др. Быстрое сокращение ледника Большой Азау в Приэльбрусье на фоне стабильных климатических условий и возникающие при этом риски // Геориск. 2010. № 2. С. 16—29.
3. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К. Изотопные методы в географии. Ч. 1. Геохимия стабильных изотопов природных льдов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011. 222 с.
4. Васильчук Ю.К., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Чижова Ю.Н. Изотопные методы в географии. Ч. 3. Геохимия стабильных изотопов атмосферы и гидросферы. М., 2013. 216 с.
5. Голубев Г.Н. Гидрология ледников. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 248 с.
6. Золотарев Е.А., Поповнин В.В. О реакции ледника Джанкуат на изменения климата // Материалы гляциологических исследований. 2003. Вып. 95. С. 107—110.
7. Ледник Джанкуат: Центральный Кавказ. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 184 с.
8. Поповнин В.В., Петраков Д.А. Ледник Джанкуат за минувшие 34 года (1967/68—2000/01) // Материалы гляциологических исследований. 2005. Вып. 98. С. 167—174.
9. Резепкин А.А. Тепловые потоки на ледяной и заморенной частях ледника Джанкуат (Приэльбрусье) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 5. С. 43—48.
10. Рец Е.П., Фролова Н.Л., Поповнин В.В. Моделирование таяния поверхности горного ледника // Лед и снег. 2011. № 4. С. 24—31.
11. Barnett T., Adam J., Lettenmaier D. Potential impacts of a warming climate on water availability in snow dominated regions // Nature. 2005. Vol. 438, iss. 7066. P. 303—309. doi:10.1038/nature04141.
12. Behrens H., Moser H., Oerter H. et al. Models for the runoff from a glaciated catchments area using measurements of environmental isotope contents // Isotope Hydrology. Vienna: I.A.E.A., 1979. P. 829—846.

13. *Cable J., Ogle K., Williams D.* Contribution of glacier meltwater to streamflow in the Wind River Range, Wyoming, inferred via a Bayesian mixing model applied to isotopic measurements // *Hydrol. Process.* 2011. Vol. 25, N 14. P. 2228–2236.
14. *Dansgaard W.* Stable isotopes in precipitation // *Tellus.* 1964. Vol. 16, iss. 4. P. 436–468.
15. *Dinner T., Payne B.R., Florkowski T.* et al. Snowmelt runoff from measurements of tritium and oxygen-18 // *Water Res.* 1970. Vol. 6, N 1. P. 110–124.
16. *Jansson P., Hock R., Schneider P.* The concept of glacier storage: A review // *J. Hydrol.* 2003. Vol. 282. P. 116–129. doi:10.1016/S0022-1694(03).
17. *Herrmann A., Stichler W.* Groundwater-runoff relationships // *Catena.* 1980. Vol. 7. P. 251–263.
18. *Krainer K., Mostler W., Spotl C.* Discharge from active rock glaciers, Austrian Alps: a stable isotope approach // *Austr. J. Earth Sci.* 2002. Vol. 100. P. 102–112.
19. *Mook W.G., Groeneveld D.J., Brouwn A.E., Van Ganswijk A.J.* Analysis of a runoff hydrograph by means of natural ^{18}O — Isotope techniques in groundwater hydrology // *Proc. I.A.E.A. Symp. Vienna, March 11–15, 1974.* Int. At. Energy Agency (I.A.E.A.). Vienna, 1974. P. 145–155.
20. *Oerlemans J.* Extracting a climate signal from 169 glacier records // *Science.* 2005. Vol. 308. P. 675–677. doi:10.1126/science.1107046.
21. *Popovnin V.V.* Annual mass-balance series of a temperate glacier in the Caucasus, reconstructed from an ice core // *Geografiska Ann.* 1999. Vol. 81A, N 4. P. 713–724.

Поступила в редакцию
26.08.2014

Yu.N. Chizhova, N.A. Budantseva, E.P. Rets, N.A. Loshakova, V.V. Popovnin, Yu.K. Vasilchuk

ISOTOPIC VARIATION OF RUNOFF FROM THE DZHAN KUAT GLACIER (CENTRAL CAUCASUS)

The isotopic variation of glacial runoff from the Dzhan Khat glacier (Central Caucasus) during the 2013 summer season is described. The season was abnormally rainy with resulting non-typical form of the Dzhan Khat River hydrograph. The contribution of melting glacier ice to the total runoff was qualitatively assessed. Studying the input of glacial melt water into the runoff is a key element of integral hydroclimatic approach to the monitoring of glacier basins.

In summer 2013 the $\delta^{18}\text{O}$ of the Dzhan Khat River water varied from $-15,04\text{‰}$ in June to $-11,27\text{‰}$ in September. The basic component of runoff in the end of ablation season has $\delta^{18}\text{O} = -11,9\text{‰}$. Low values of $\delta^{18}\text{O}$ (-14‰ – -15‰) for the glacial runoff in June correspond to the melting of isotopically light winter and early spring snow and glacier ice. The growing $\delta^{18}\text{O}$ values of river water (more than -12‰) in September probably indicate a predominant role of subglacial water and groundwater in runoff formation during the period of decreasing intensity of ice ablation. Daily isotopic variations of runoff are negligible.

Key words: isotopic composition, variation, ablation, Central Caucasus.

УДК 914/919

Р.Ф. Темиргалеев¹**ВЛИЯНИЕ ИММИГРАЦИИ НА СДВИГИ В РАЗМЕЩЕНИИ ЭТНОРАСОВЫХ ГРУПП НАСЕЛЕНИЯ США В 2000-е гг.**

Итоги переписи населения США в 2010 г. проанализированы сквозь призму этнорасовой ситуации. Рассмотрены общая картина размещения населения, этнический и расовый состав населения по штатам и статистическим районам, трансформации в пределах городского пространства, в том числе этнорасовые, а также внутренние миграции населения и иммиграция в США. Все указанное рассмотрено как в динамике (учитывая материалы переписи 2000 и 2010 г.), так и в пространстве — по отдельным штатам и статистическим регионам.

Сделан вывод о консервативности пространственной картины распределения темпа роста численности населения США. Выяснилось, что самые крупные штаты по численности населения в период с 2000 по 2010 г. росли медленнее остальных, в то время как в наименее заселенных штатах численность населения увеличивалась.

Распределение по территории страны всех четырех основных этнорасовых групп США — белых, латинос, афроамериканцев и азиатов — становится все равномернее. Иммиграция в США находится на стабильно высоком уровне. При этом выходцы из других стран по разным подсчетам дают от 1/2 до 3/4 прироста населения страны. В составе иммигрантов резко преобладают выходцы из стран Центральной Америки. Если раньше они оседали преимущественно в штатах мексиканского приграничья, то в последние годы наблюдается их распространение по территории США.

Ключевые слова: география, иммиграция, население, перепись, США, этносы.

Введение. В США, в отличие от многих других стран, в целом сохраняется благоприятная демографическая ситуация, которую обеспечивает сравнительно высокий и устойчивый естественный прирост вкпе с мощнейшей иммиграцией. США зародились в качестве переселенческой нации, под влиянием различных потоков иммигрантов сформировалась уникальная американская нация — сплав разных культур, расовых и этнических групп. Вместе с тем население США не представляет собой монолитного образования с точки зрения этнической структуры. Потоки переселенцев сформировали уникальный этнорасовый “портрет” страны, имеющий тенденцию к постоянному изменению во времени. Поэтому для понимания процессов, происходящих в американском обществе, важно своевременно отслеживать изменения в этой сфере. Не менее важен и тот факт, что США имеют богатейший опыт обращения с массовой иммиграцией, в чем заключается их преимущество перед странами Западной Европы, для которых наплыв иммигрантов из стран Азии и Африки стал своего рода испытанием на прочность.

В 2010 г. в США прошла очередная 23-я перепись населения. Использование ее материалов предоставляет возможность выяснить последние изменения в географических особенностях размещения населения США, особенно в этническом и расовом аспектах.

Постановка проблемы. Цель исследования — построение комплексной картины распределения насе-

ления США по территории страны, в частности основных этнорасовых групп, в свете данных, полученных в результате переписи населения в 2010 г.

В соответствии с поставленной целью автор выделяет следующие задачи исследования:

— выяснить, какие изменения по сравнению с 2000 г. претерпела пространственная картина распределения темпа роста численности населения США по штатам и более крупным образованиям — статистическим районам (Северо-Восток, Юг, Средний Запад, Запад);

— установить, какие сдвиги произошли в распределении по территории США основных этнорасовых групп — белых американцев, афроамериканцев, американцев азиатского происхождения (азиатов) и американцев испанского и латиноамериканского происхождения (латинос);

— определить, каковы основные тенденции в рамках городов и городских агломераций США, в том числе в этнорасовом аспекте;

— установить, как изменился в 2000—2010 гг. по сравнению с предыдущими десятилетиями масштаб внутривнутристрановой миграции, оценить степень “оседлости” американского общества — стало ли оно в последние годы более оседлым;

— выяснить динамику иммиграции в США и вклад иммигрантов в рост численности населения страны; установить, выходцы из каких стран и регионов мира преобладают среди иммигрантов.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, аспирант; e-mail: renattemirgaleev@yandex.ru

География населения США в целом и сдвиги в размещении этнических и расовых групп длительное время находятся в поле внимания крупных отечественных географов. В 1989 г. вышла в свет фундаментальная монография Л.В. Смирнягина “Районы США: портрет современной Америки”. Исследованию городов США, в том числе в этнорасовом разрезе, посвящена монография крупнейшего советского и российского ученого-урбаниста В.М. Харитоновна “Урбанизация в США” (1983). Среди новых экспертов в этой области — Д.В. Кузнецов из Санкт-Петербургского государственного университета, опубликовавший ряд работ, в том числе “Сдвиги в географии населения США в XX в.” (2005), “Внутренние миграции населения в США: 2000—2004 гг.” (2006). В обзорных трудах по социально-экономической географии зарубежных стран значительный вклад в описание размещения этнорасовых групп населения США внесли также такие крупнейшие отечественные страноведы, как В.П. Макасовский и В.В. Вольский.

Материалы и методы исследований. Основными материалами послужили статистические сведения по итогам переписи населения США в 2010 г., выложенные в открытом доступе на веб-сайте Бюро переписей США [14, 15]. Кроме того, для рассмотрения процессов в динамике использованы статистические сведения по итогам переписи населения США в 2000 г., также находящиеся в открытом доступе. Данные извлекались из необработанных таблиц, сводились в таблицы по основным показателям, необходимым для исследования, и сравнивались между собой и с показателями прошлой переписи. В ходе работы применялись историко-географический, картографический и статистический методы.

Результаты исследований и их обсуждение. Изменения в общей численности населения США с 2000 по 2010 г. По состоянию на 1 апреля 2010 г. постоянное население США составляло 308 745 538 человек. Перепись 2000 г. показала 281 421 906 человек. Главной неожиданностью переписи 2010 г. стало резкое замедление темпа роста численности населения. Население страны за десятилетие (2000—2010) росло почти на 1/3 медленнее, чем с 1990 по 2000 г. Вместе с тем высокий темп роста численности населения всегда выгодно отличал США от других развитых стран.

Территориальные сдвиги. В пространственной картине распределения темпа роста сохранились прежние соотношения. По статистическим районам США изменений, по сути, нет, а если и есть, то они связаны, как и прежде, лишь с общим снижением прироста численности населения с 2000 по 2010 г. Опережающим темпом увеличивалось население на Юге и Западе, а на Среднем Западе и Северо-Востоке — наоборот. В целом и в предыдущее десятилетие (1990—2000) картина была такой же. Некоторое исключение составляет тот факт, что в 1990—2000 гг. население Запада росло несколько быстрее, чем Юга. В 2000—2010 гг. по темпу роста эти два региона поменялись местами.

Последняя перепись показала изменение картины роста численности населения по отдельным штатам. За прошедшее десятилетие шло своего рода выравнивание численности: население самых больших по численности штатов росло медленнее, а самых маленьких — быстрее. Одновременно те штаты, которые в период с 1990 по 2000 г. “набирали” население опережающими темпами, ныне уже не входят в число лидеров по этому показателю. Первое и второе места по темпу роста в оба десятилетия неизменно занимают Невада и Аризона. Однако, как ни парадоксально, для них же отмечено наибольшее снижение роста численности населения по сравнению с предыдущим десятилетием.

По сравнению с 2000 г. первая десятка штатов—лидеров по численности населения также осталась практически без изменений, выпал из десятки штат Нью-Джерси (таблица). По-прежнему наиболее населенным штатом остается Калифорния, численность населения которой сравнима с таким странами, как Польша и Алжир. За Калифорнией с большим отрывом следует штат Техас, третью позицию занимает Нью-Йорк. Согласно прогнозам, издававшимся в период, который предшествовал проведению переписи 2010 г. [7], предполагалось, что около 2010 г. Флорида обгонит Нью-Йорк по общей численности населения, однако этого не произошло. Из года в год, подобно параболической кривой, численность населения Флориды приближается к численности населения Нью-Йорка, но до сих пор даже не сравнялась с ним (таблица).

Резко сократился и размах внутренней миграции. США издавна отличались очень высокой подвижностью жителей, еще четверть века назад 1/5 населения страны меняла адрес в течение одного года. В 1984—1985 гг., например, место жительства сменили 20,2% жителей США. Однако за 2010—2011 гг. этот показатель сократился почти в 2 раза — до 11,6%, это самый низкий уровень с первых послевоенных лет.

Среди крупнейших по численности населения штатов картина оттока населения характерна для Калифорнии, Нью-Йорка, Нью-Джерси, Иллинойса, в которых сальдо отрицательное и превышает 50 тыс. человек в год. На противоположном полюсе находятся штаты Юга, в частности Техас и Флорида, в последние годы притягивающие мигрантов и имеющие сугубо положительное сальдо внутривнутристрановой миграции.

Иммиграция как важнейший источник роста численности населения США. Из всех жителей США в 2010 г. лишь 12,9% родились за пределами страны. По сравнению с 2000 г. и даже с 1990 г. этот показатель практически не изменился. При этом иммиграция играет решающую роль в высокой скорости увеличения численности населения страны. Центр миграционных исследований (Center for immigration studies) приводит несколько методик оценки вклада иммигрантов в прирост населения США с 2000 по 2010 г. Если учитывать всех, вновь прибывших за этот период, и добавить к ним детей, родившихся у всех

Показатели общей численности населения, доли и прироста отдельных этнических групп по штатам и статистическим регионам США (без Аляски и Калифорнии), по данным [14]

Штат/статистический регион	Численность населения, 2010, тыс. чел.	Прирост, 2000—2010, %	Доля afroамериканцев, 2010, %	Прирост afroамериканцев, 2000—2010, %	Доля выходцев из Азии, 2010, %	Прирост выходцев из Азии, 2000—2010, %	Доля латинос, 2010, %	Прирост латинос, 2000—2010, %
Айдахо	1568	21,1	0,6	79,8	1,2	60,4	11,2	73,0
Айова	3046	4,1	2,9	44,1	1,7	44,9	5,0	83,7
Алабама	4780	7,5	26,2	8,2	1,1	71,0	3,9	144,8
Аляска	710	13,3	3,3	6,8	5,4	51,8	5,5	51,8
Аризона	6392	24,6	4,0	63,0	2,8	91,6	29,6	46,3
Арканзас	2916	9,0	15,4	7,4	1,2	78,5	6,4	114,2
Вайоминг	564	14,1	0,8	27,6	0,8	59,7	8,9	58,6
Вашингтон	6725	14,1	3,6	26,2	7,1	49,2	11,2	71,2
Вермонт	626	2,8	1,0	104,9	1,3	52,3	1,5	67,3
Виргиния	8001	13,0	19,4	11,6	5,5	68,5	7,9	91,7
Висконсин	5687	6,0	6,3	18,0	2,3	45,6	5,9	74,2
Гавайи	1360	12,3	1,6	-2,6	38,6	4,2	8,9	37,8
Джорджия	9688	18,3	30,5	25,6	3,2	81,6	8,8	96,1
Дэлавер	898	14,6	21,4	27,3	3,2	75,6	8,1	96,4
Западная Виргиния	1853	2,5	3,4	10,3	0,7	31,5	1,2	81,3
Иллинойс	12 831	3,3	14,5	-0,6	4,6	38,6	15,8	32,5
Индиана	6484	6,6	9,1	15,9	1,6	73,3	6,0	81,6
Калифорния	37 254	10,0	6,2	1,5	13	31,5	37,6	27,8
Канзас	2853	6,1	5,9	8,9	2,4	44,8	10,5	59,4
Кентукки	4339	7,4	7,8	14,0	1,1	64,5	3,1	121,6
Колорадо	5029	16,9	4,0	22,2	2,8	46,0	20,6	41,2
Коннектикут	3574	4,9	10,1	16,9	3,8	64,7	13,4	49,6
Луизиана	4533	1,4	32,0	0,03	1,5	28,1	4,2	78,7
Массачусетс	6548	3,1	6,6	26,5	5,3	46,9	9,6	46,4
Миннесота	5304	7,8	5,2	59,8	4	50,9	4,7	74,5
Миссисипи	2967	4,3	37,0	6,2	0,9	38,2	2,7	105,9
Миссури	5989	7,0	11,6	10,2	1,6	59,2	3,5	79,2
Мичиган	9884	-0,5	14,2	-0,9	2,4	34,9	4,4	34,7
Монтана	989	9,7	0,4	49,6	0,6	33,3	2,9	58,0
Мэн	1328	4,2	1,2	132,3	1,0	48,9	1,3	80,9
Мэриленд	5774	9,0	29,4	15,1	5,5	51,2	8,1	106,5
Небраска	1826	6,7	4,5	20,9	1,8	47,2	9,2	77,3
Невада	2701	35,1	8,1	61,4	7,2	116,5	26,5	81,9
Нью-Джерси	8792	4,5	13,7	5,5	8,2	51,1	17,7	39,2

Окончание табл.

Штат/статистический регион	Численность населения, 2010, тыс. чел.	Прирост, 2000—2010, %	Доля афроамериканцев, 2010, %	Прирост афроамериканцев, 2000—2010, %	Доля выходцев из Азии, 2010, %	Прирост выходцев из Азии, 2000—2010, %	Доля латиносов, 2010, %	Прирост латиносов, 2000—2010, %
Нью-Йорк	19 378	2,1	15,9	2,0	7,3	35,9	17,6	19,2
Нью-Мексико	2059	13,2	2,1	23,9	1,4	46,5	46,3	24,6
Нью-Хэмпшир	1316	6,5	1,1	66,4	2,2	78,3	2,8	79,1
Огайо	11 536	1,6	12,2	8,2	1,7	44,9	3,1	63,3
Оклахома	3751	8,7	7,4	6,4	1,7	39,1	8,8	85,2
Округ Колумбия	602	5,2	50,7	-11,1	4,5	48,2	9,1	21,8
Орегон	3831	12,0	1,8	24,3	3,7	39,4	11,7	63,5
Пенсильвания	12 702	3,4	10,8	12,5	2,7	58,8	5,7	82,6
Род-Айленд	1053	0,4	5,7	28,3	2,9	28,7	12,4	43,9
Северная Дакота	6723	4,7	1,2	103,3	1,0	91,6	2,0	73,0
Северная Каролина	9535	18,5	21,5	17,9	2,2	83,8	8,4	111,1
Теннесси	6346	11,5	16,7	13,3	1,4	61,0	4,6	134,2
Техас	25 146	20,6	11,8	23,9	3,8	71,5	37,6	41,8
Флорида	18 801	17,6	16,0	28,4	2,4	70,8	22,5	57,4
Южная Дакота	814	7,9	1,2	117,9	0,9	73,8	2,7	102,9
Южная Каролина	4625	15,3	27,9	8,9	1,3	64,0	5,1	147,9
Юта	2764	23,8	1,1	65,9	2,0	49,0	13,0	77,8
Запад	69 875	13,9	4,8	11,4	8,7	36,5	29,2	34,2
Северо-Восток*	62 590	3,9	14,0	8,4	5,5	45,3	12,1	36,4
Средний Запад	66 927	3,9	10,4	7,0	2,6	44,4	7,0	49,2
Юг	107 283	14,6	18,5	16,6	2,6	70,4	16,4	55,8
Итого по США	308 746	9,7	12,6	12,3	4,7	43,3	16,3	43,0

* С Дэлавером, Мэрилендом и округом Колумбия.

лиц, рожденных за пределами США, то в этом случае вклад иммигрантов в прирост будет составлять 80,4%. Если к вновь прибывшим приплюсовать лишь детей, родившихся только у тех, кто прибыл в период с 2000 по 2010 г., то вклад будет существенно меньше, но все равно больше половины (56,3%). Наконец, если учитывать только лиц, вновь прибывших в 2000—2010 гг. из-за рубежа, то в этом случае их доля в приросте населения составляет 48,2%. Если сделать поправку на уехавших из США за те же годы (нетто-иммиграция), то эти три показателя составят 72,5; 48,4 и 40,4% соответственно.

Важнейшая тенденция в иммиграционной картине США — доминирование в общей массе иммигрантов выходцев из Мексики — свыше 11,5 млн жителей США родились именно в этой стране. На втором месте

по общему числу прибывших — Восточная Азия (7,5 млн человек), на третьем — Европа (4,9 млн человек). Если рассмотреть прибывших только в период с 2000 по 2010 г., то и здесь динамика останется без изменений — Мексика (4 млн человек), Восточная Азия (2,5 млн человек) и Европа (1,2 млн человек).

Немного более 75% американцев, родившихся в Мексике, проживают в 5 “традиционных” для них штатах США — Калифорнии, Техасе, Нью-Мексико, Иллинойсе и Аризоне. В штатах Нью-Мексико, Аризона и Техас выходцы из Мексики составляют более половины всех иммигрантов. Важнейший тренд последнего десятилетия — “распыление” мексиканских иммигрантов по территории США, за пределы указанных пяти традиционно “мексиканских” штатов. Аналогичная картина характерна и для иммигрантов

из стран Центральной Америки (Сальвадора, Никарагуа, Гватемалы, Гондураса).

Изменения в этническом составе США — “экс-пансия” этносов. Белые по-прежнему преобладают в США и составляют около 3/4 населения, однако их доля быстро сокращается. Наименьшая доля белого населения наблюдается в резко выделяющемся по этому признаку штате Гавайи, что естественно, если учесть высокую численность лиц аборигенного происхождения и высокую долю иммигрантов из Восточной Азии. Менее 60% белых зафиксировано в штатах Калифорния, Мэриленд, Миссисипи, Джорджия. За исключением Калифорнии, где особенно высока доля лиц латиноамериканского происхождения, все эти штаты — территории бывшего рабовладельческого Юга, где традиционно высока доля афроамериканцев.

Белые (за вычетом латиносов) оказываются в меньшинстве в нескольких штатах. Именно поэтому в США широкое распространение получил термин “белые-не-латиносы” (white non-Hispanic). Лидером по темпу прироста белых американцев (во многом за счет белых латиносов) стал штат Аризона, следом за ним идут Техас, Юта, Невада и ряд других штатов Юга и Запада.

Наиболее серьезна убыль белого населения в штате Нью-Йорк, а также в штатах Огайо, Нью-Джерси, Массачусетс, Мичиган и Род-Айленд. В среднем по статистическим районам убыль наблюдается лишь на Северо-Востоке. В среднем по стране белое население по сравнению с 2000 г. выросло на 5% (таблица).

Впервые за историю существования США на второе место в перечне этнических групп вышли латиносы, обогнав афроамериканцев, чья доля по сравнению с 2000 г. изменилась еще меньше, чем доля белых (таблица). На Юге доля афроамериканцев по-прежнему очень высока: шесть штатов из тех, где афроамериканцев более 1/4 от общей численности, расположены на Юге; в то же время в некоторых штатах США их практически нет — в Вайоминге, Айдахо и Монтане доля афроамериканцев не превышает 1%.

Активное перемещение афроамериканцев по стране привело к тому, что по данным за 2010 г. они появились в штатах, где еще недавно их практически не было. Одновременно в исконно “черных” штатах их прирост был очень маленьким вследствие оттока в более развитые в социально-экономическом отношении районы Северо-Востока, Запада и Среднего Запада. Так, в штате Мэн за указанное десятилетие доля афроамериканцев выросла на 132,35%! В штатах Южная Дакота, Вермонт и Северная Дакота этот показатель также превысил 100%. Для контраста приведем аналогичные показатели для штатов Юга: в Кентукки, Теннесси, Миссури и Западной Виргинии прирост составил всего от 10 до 15%, а в Южной Каролине, Алабаме, Арканзасе и Миссисипи еще меньше — от 6 до 10%. Расселение афроамериканцев становится все более равномерным по территории США.

Снова возросла доля жителей США азиатского происхождения. Из 6 штатов с наибольшей долей

азиатов четыре (условно включая Неваду) относятся к штатам Тихоокеанского побережья, что естественно и исторически обусловлено тем, это побережье “обращено” к Азии. Наибольшая их доля наблюдается в штате Гавайи. Затем с большим отрывом следует Калифорния, а также компактная группа штатов со значением, превышающим средний показатель по США: Нью-Джерси, Нью-Йорк (тяготение к крупным городам), Невада и Вашингтон. В большинстве остальных штатов США численность азиатов не насчитывает и 5%. Вместе с тем до полного выравнивания пока далеко, сохранились области с высокой концентрацией лиц азиатского происхождения, но она стала менее контрастной.

После бурного роста численности азиатов (1990—2000) наступило некоторое замедление темпа их прироста в 2000—2010 гг. Кроме того, проявляется яркая тенденция к их территориальному перераспределению — опережающему росту численности в тех штатах, где ранее их численность и доля были невысоки. Выходцы из Азии, особенно китайцы, издавна селились в США, однако в последнюю четверть XX в. произошло резкое увеличение иммиграции из Азии. Можно констатировать, что иммиграция из стран Азии вступила в следующую фазу — бывшие иммигранты из первоначальных точек концентрации распределяются по территории США равномернее, чем прежде.

Большинство штатов, где преобладают латиносы, либо непосредственно граничат с Мексикой, либо находятся в относительной близости от границы с ней, либо находятся на пути мигрантов со стороны латиноамериканских стран и территорий Карибского бассейна (Флорида). Так, в штате Нью-Мексико 46% населения составляют латиносы. Некоторое исключение составляют удаленные от Мексики штаты Нью-Джерси и Нью-Йорк с их высокой долей латиносов, но это, скорее всего, следствие эффекта массы агломерации Нью-Йорка, концентрирующей значительное число лиц разного, в том числе латиноамериканского, происхождения.

Важный тренд десятилетия 2000—2010 гг. — своего рода бросок латиноамериканцев на черный Юг. Если в целом по США в указанный период рост численности латиносов составил 43%, то быстрее всего (>125%) их доля растет в таких южных штатах, как Южная Каролина, Алабама и Теннесси (таблица). Тенденция выглядит еще отчетливее, если учесть указанное выше сокращение прироста афроамериканцев в штатах Юга.

Скорость увеличения доли латиносов отстает от средней по США всего в 9 штатах, это Техас, Колорадо, Нью-Джерси, Гавайи, Мичиган, Иллинойс, Калифорния, Нью-Мексико, Нью-Йорк. Как и в отношении других подобных явлений, справедливо утверждение: чем выше уровень явления, тем меньше изменения. Большинство из указанных штатов граничат с Мексикой либо это близлежащие территории, давно освоенные мигрантами из стран Латинской Америки. Нью-

Йорк, Нью-Джерси, Мичиган и Иллинойс — штаты, расположенные вблизи крупных городов — центров многочисленных диаспор (Чикаго, Нью-Йорк и т.д.).

В связи с этим можно сделать общий для всех этнических групп вывод: в США существуют места с повышенной концентрацией небелых: для латиносов это южное приграничье, для азиатов — западное побережье, для афроамериканцев — Юго-Восток. За их пределами доли этих групп невелики, но ко всем этим ядрам всегда примешивается скачок доли в главной агломерации страны — Нью-Йорке. В связи с этим всегда очень высока их доля в штатах Нью-Йорк и Нью-Джерси. Эта тенденция совпадает с главной особенностью изменения населения США в 2000-х гг. — выравниванием, т.е. доля той или иной расовой или этнической группы растет опережающим темпом в тех местах, где до этого она была низкой (рис. 1—4).

Трансформации, в том числе этнорасовые, в пределах городского пространства. Доля городского населения США по сравнению с 2000 г. выросла всего на 2,2% (80,7% против 79,0%). Рассматривая 19 круп-

нейших агломераций США с большим числом входящих в них графств, можно сделать вывод, что при общем снижении темпа прироста численности городского населения прирост в центральных городах или графствах агломераций замедлился в гораздо большей степени, чем прирост агломераций в целом (11,3%), в то время как центральные графства (в контексте исследования — те, в пределах которых расположен крупнейший город метрополитенского статистического ареала, МСА) выросли всего на 3,9%. В общенациональных масштабах ситуация была схожей, но разрыв был меньше — 16,9 и 8,46% соответственно.

По результатам переписи 2010 г. в среднем в 19 рассмотренных городских агломерациях 38,6% населения проживают в рамках центральных городов/графств (для сравнения, в 2000 г. этот показатель составлял 41%, а в 1990 г. — 43,5%).

Постепенно выравнивается и этнический состав населения городских агломераций США. Если в 1970 г. 95% населения пригородов составляли белые, то сегодня пригороды, по сути, представляют собой во-

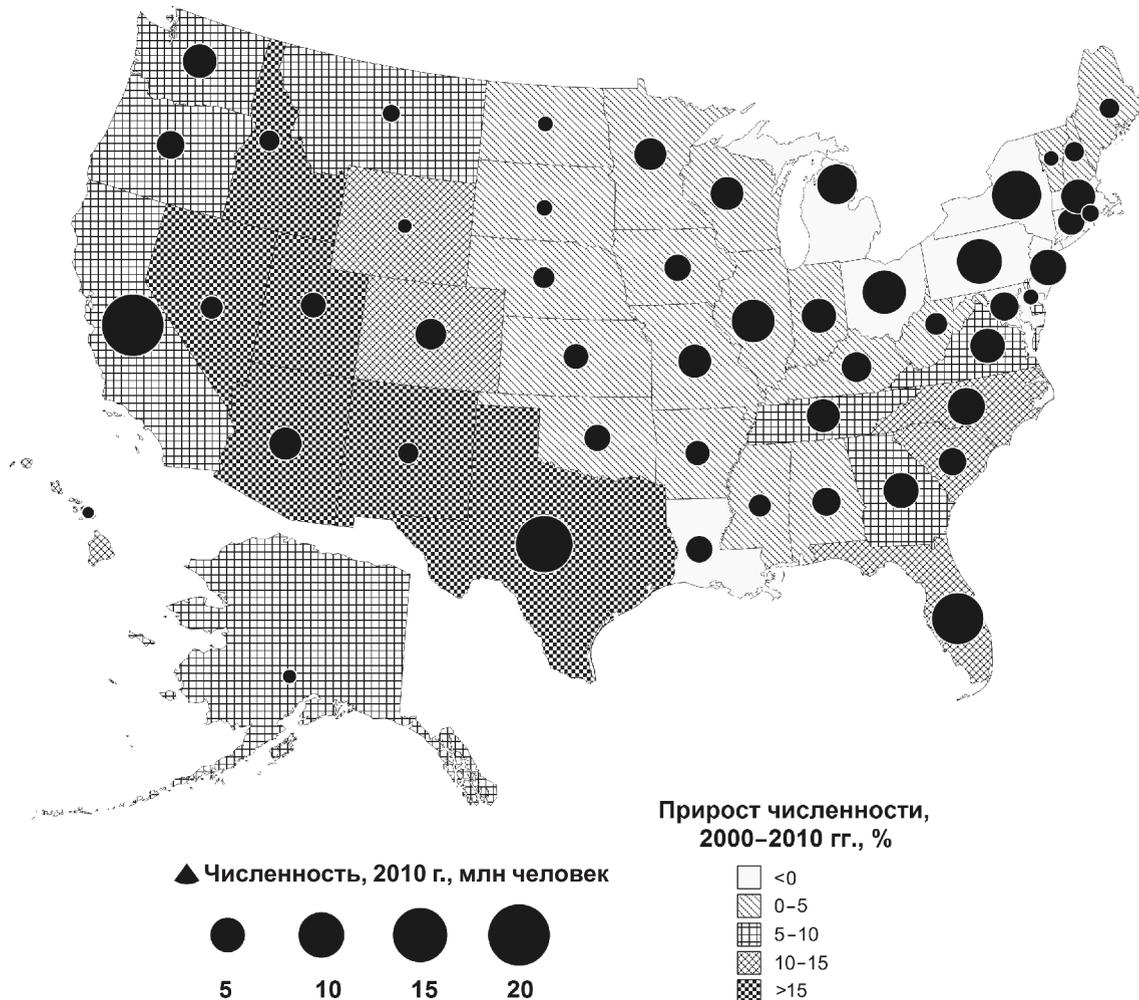


Рис. 1. Территориальная динамика белого населения США (включая белых латиносов), 2000—2010 гг. Составлена автором по данным [14]

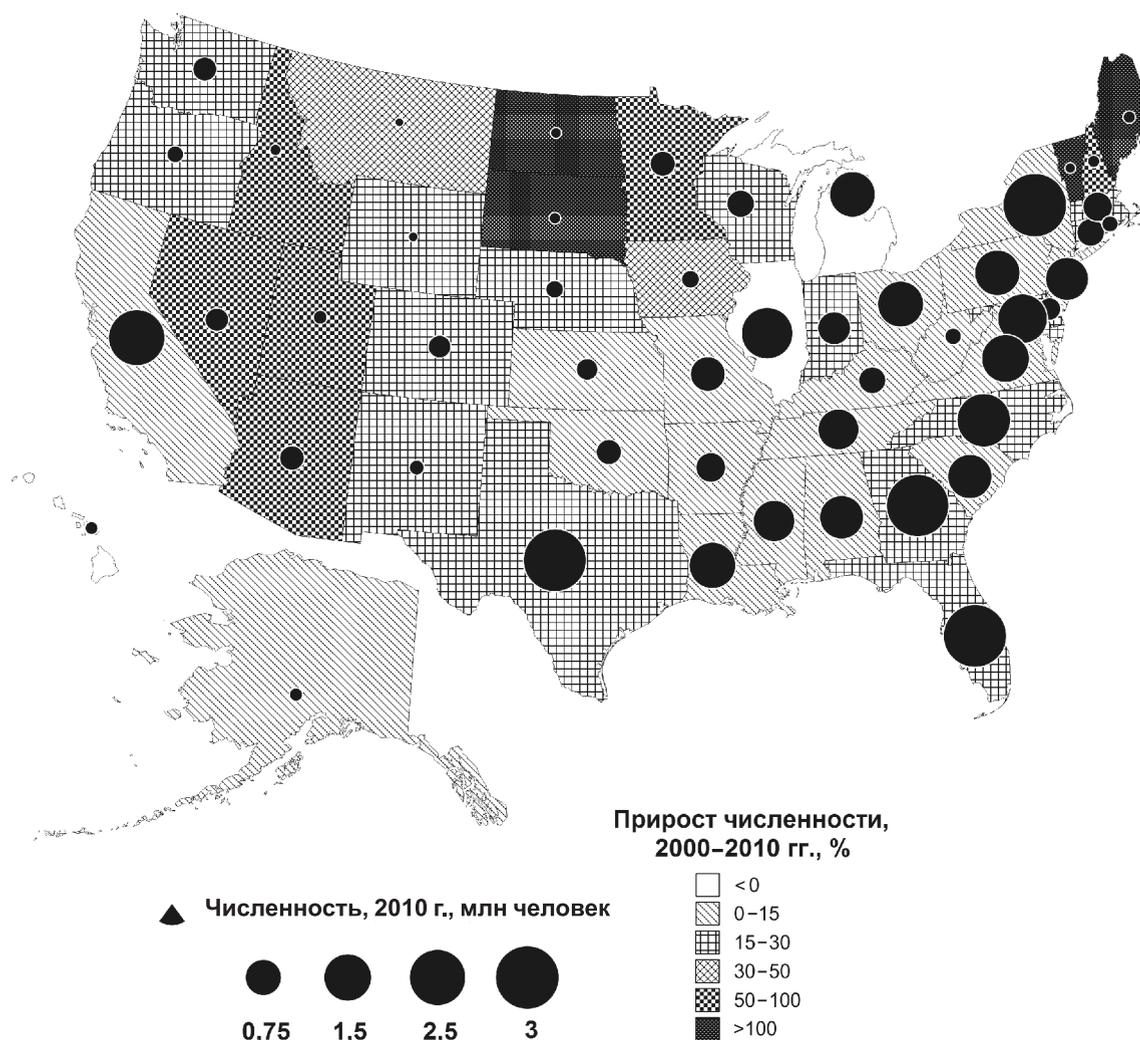


Рис. 2. Территориальная динамика афроамериканского населения США за 2000–2010 гг. Составлена автором по данным [14]

площадь “правильного горна” американского общества. Так, если в 1990 г. в центральных зонах МСА доля небелого населения составляла 35%, в то время как в зоне ближней периферии (пояс графств, непосредственно граничащих с центральным) — лишь 13%, а в зоне дальней периферии — 10%, то к 2000 г. разрывы сократились до соотношения в 42–20–15, а к 2010 г. — 43–24–17. Ближняя периферия МСА становится все более похожей на центр и с той точки зрения, что ее, как и центральные зоны, начали активно осваивать иммигранты. В 2000 г. в центрах МСА доля родившихся за границей составляла около 19%, в зоне ближней периферии — около 16%. К 2010 г. разрыв сократился до 21,5 и 19,5% соответственно.

Выводы:

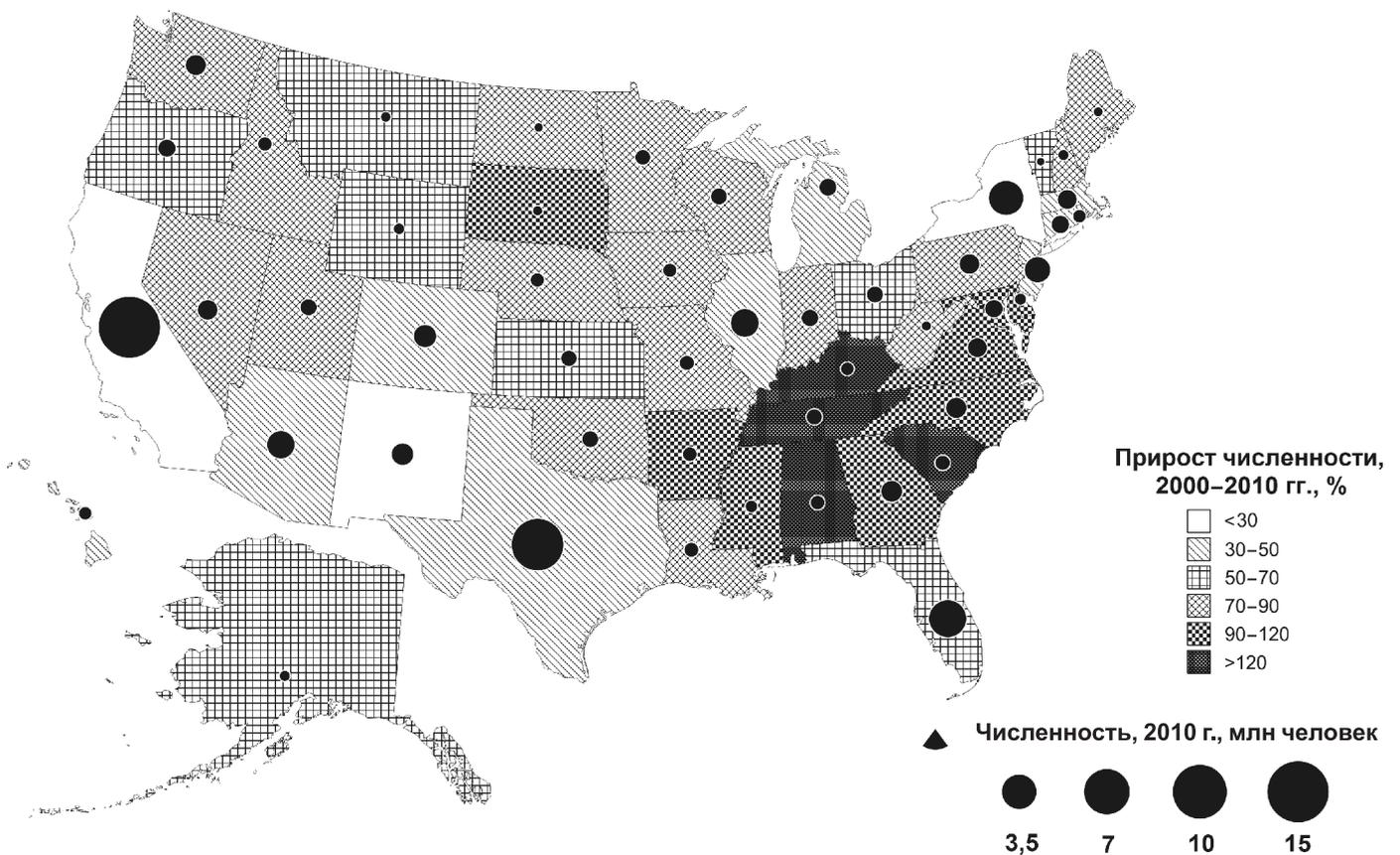
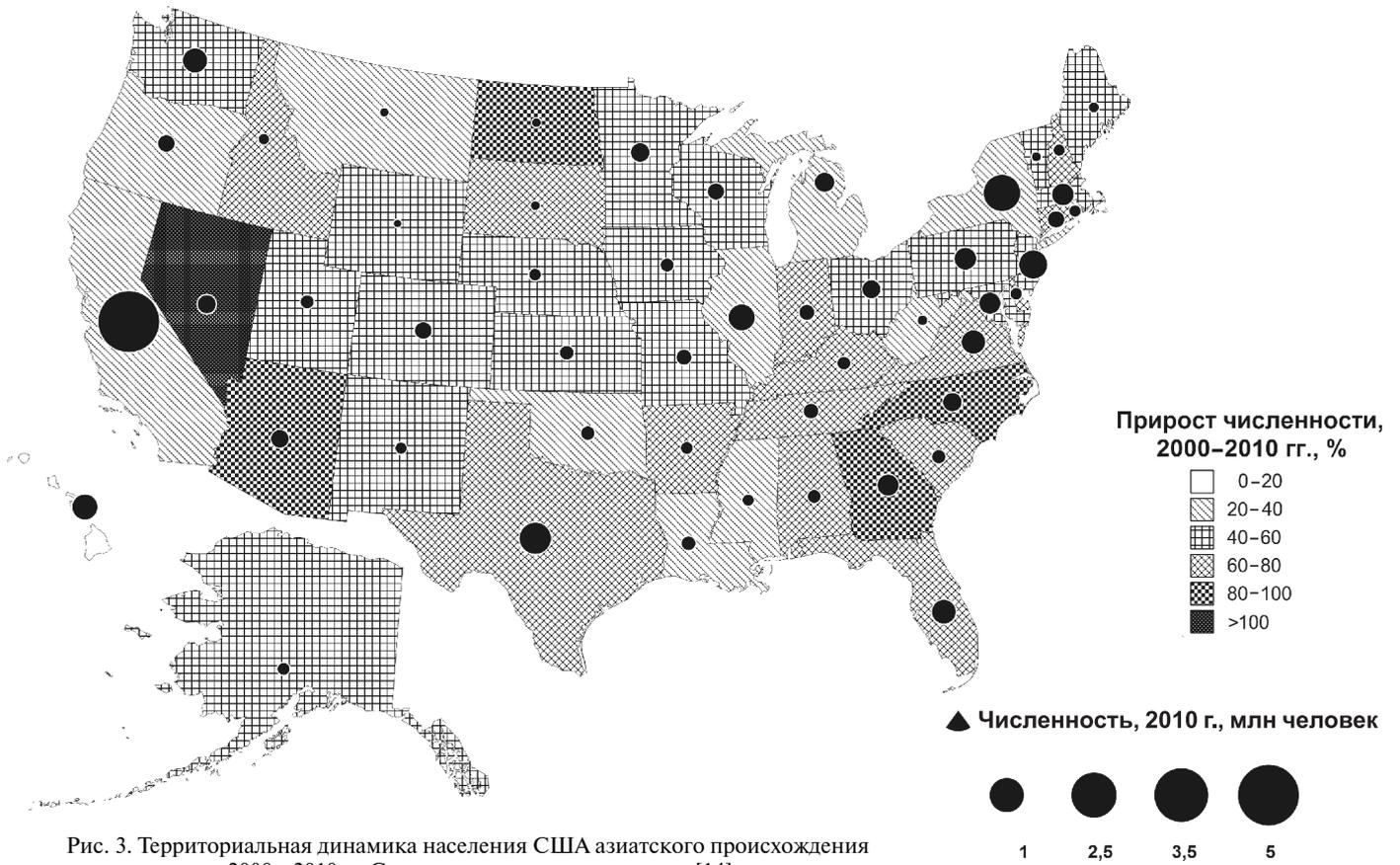
— пространственная картина распределения темпа роста численности населения США по штатам и более крупным образованиям (статистическим районам) отличается консервативностью. Изменений в масштабе статистических районов практически нет. В масштабе отдельных штатов США за прошедшее десятилетие имела место своего рода нивелировка, то

есть население самых больших по численности штатов росло медленнее, а самых маленьких — быстрее;

— в десятилетие с 2000 по 2010 г. наблюдался процесс активного освоения небелыми этнорасовыми группами США тех штатов, в которых ранее их доля в общей численности населения была невелика. Распределение всех четырех этнорасовых групп США по территории страны становится все равномернее;

— скорость роста численности населения в центральных городах/графствах городских агломераций снизилась гораздо больше, чем городских агломераций в целом. Доля жителей центров городских агломераций — крупных городов — неуклонно снижается. Субурбанизация — опережающий рост периферийной зоны — продолжает оставаться доминирующей тенденцией в урбанизационных процессах в США. “Этнический рельеф” агломераций выравнивается — небелое население активно осваивает периферийные зоны;

— масштаб внутренней миграции в США резко снизился. Доля лиц, сменивших место жительства в



пределах страны, уменьшилась в 2 раза по сравнению с серединой 1980-х гг.;

— иммиграция в США находится на стабильно высоком уровне, по состоянию на 2010 г. она не претерпела существенных изменений по сравнению с 2000 и 1990 г. При этом вклад иммигрантов в рост численности населения США очень велик — выходцы из других стран, по разным подсчетам, дают от 1/2 до 3/4 прироста населения страны;

— в составе иммигрантов в США резко преобладают выходцы из стран Центральной Америки, преимущественно из Мексики. Если раньше иммигранты из

указанных стран оседали преимущественно в штатах мексиканского приграничья, то в последние годы наблюдается их распределение по территории США, что в целом хорошо коррелирует с выводами о выравнивании “этнического рельефа” применительно ко всем четырем этнорасовым группам страны;

— США испытывают немало трудностей в социально-экономическом развитии, однако следует признать, что в демографическом отношении у страны все в порядке, особенно по сравнению с основными странами-конкурентами, что подтвердила перепись населения в 2010 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнягин Л.В.* Районы США: портрет современной Америки. М.: Мысль, 1989.
2. Социально-экономическая география: понятия и термины: Словарь-справочник / Отв. ред. А.П. Горкин. Смоленск: Ойкумена, 2013.
3. *Харитонов В.М.* Урбанизация в США. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983.
4. 2010 Standards for delineating metropolitan and micropolitan Statistical Areas; Notice // Federal Register. Vol. 75, N 123. Monday, June 28, 2010. Notices.
5. *Aizenman N.C.* Number of Illegal Immigrants to US Is Down, Report Finds // The Washington Post. 03.10.2008.
6. *Dougherty C.* Largest Cities Growing Faster Than Surrounding Suburbs // The Wall Street J. 01.07.2009.
7. Florida Demographic Overview // The Florida Legislature Office of Economic and Demographic Res., 2007.
8. *Frey W.* The Great American Migration Slowdown: Regional and Metropolitan Dimensions // Brookings. 2009.
9. *Judkis M.* Good News: Cities are Growing, Suburbs are Slowing // US News & World Report. 01.07.2009.
10. *Peñalver E.* The End of Sprawl? // The Washington Post. 30.12.2007.
11. *Preston J.* Mexican Data Show Migration to US in Decline // The New York Times. 14.05.2009.
12. Revised Delineations of Metropolitan Statistical Areas, Micropolitan Statistical Areas, and Combined Statistical Areas, and Guidance on Uses of the Delineations of These Areas (February 28, 2013). Office of Management and Budget bullet. N 13-01.
13. The End of Suburbia As We Know It? // National Public Radio. 19.06.2008.
14. US Census Bureau. URL: www.census.gov (дата обращения: 30.11.2014).
15. US Census Bureau. Amer. FactFinder. URL: <http://factfinder2.census.gov/faces/nav/jsf/pages/index.xhtml> (дата обращения: 30.11.2014).

Поступила в редакцию
23.04.2014

R.F. Temirgaleev

IMPACT OF IMMIGRATION ON THE CHANGES OF SPATIAL DISTRIBUTION OF ETHNIC AND RACIAL POPULATION GROUPS IN THE USA DURING THE 2000-S

The USA 2010 Census data were analyzed in terms of the ethnic and racial situation. General pattern of population distribution, ethnic and racial composition of population in particular states and statistical areas, its transformation within the urban space, internal migration of population and the immigration are discussed both in temporal dynamics (considering 2000 and 2010 census data) and in spatial interrelations (for states and statistical areas).

The first conclusion is about the stability of the spatial pattern of population growth rates in the USA. At the same time it was revealed that during 2000—2010 the largest states increased their population much slower than the least populated ones which demonstrated the highest population growth rates.

Four principal ethnic and racial groups (American Europeans, Latinos, Afro-Americans and Asians) become more and more evenly distributed over the USA territory. The immigration is persistently high in that country and according to different estimations the immigrants account for to of the total population growth. Meso-Americans are predominant group of immigrants to the USA. In the past they settled mainly in the states near the Mexican border, but recently they became dispersed over the whole territory of the country.

Key words: geography, immigration, population census, races, the USA, ethnoses.

УДК 911.2(571, 517)

М.И. Герасимова¹, Н.С. Касимов², И.А. Горбунова³,
М.Д. Богданова⁴, Н.В. Рябова⁵, М.Ю. Лычагин⁶

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ БАССЕЙНА СЕЛЕНГИ⁷

В рамках проекта “Эколого-геохимическая оценка состояния и картографирование трансграничного речного бассейна р. Селенги” составлена карта ландшафтно-геохимического районирования в масштабе 1:2 500 000. Традиционно в ландшафтно-геохимическом (ЛГХ) районировании обширных территорий используется зональный подход, реализующийся в общих показателях биологического круговорота и классов водной миграции. Бассейн Селенги отличается горно-котловинным рельефом в сочетании со сложным геологическим строением и пестрым литогеохимическим фоном, контрастными климатическими условиями, спектрами вертикальной поясности. В качестве главного критерия выделения территориальных единиц ЛГХ районирования бассейна Селенги приняты литолого-геоморфологические факторы, определяющие характер и направленность миграционных процессов.

Система ландшафтно-геохимического районирования бассейна состоит из трех уровней. Первые два уровня отражают общие физико-географические факторы формирования миграционных геохимических процессов. На нижнем уровне учитывалась сложная комбинированность местных условий, проявляющаяся в рамках общих литолого-геоморфологических и климатических возможностей миграции, аккумуляции и поступления вещества в речные системы.

Ключевые слова: методология, уровень районирования, природные факторы, ландшафтно-геохимические процессы.

Введение. Бассейн р. Селенга, поставляющей большую часть стока воды и взвешенных наносов в оз. Байкал, в последнее время привлекает внимание исследователей и общественности в связи с усилением техногенной нагрузки в регионе, что может отразиться на состоянии экосистем Байкала как объекта Всемирного природного наследия. Бассейн Селенги расположен на территории России и Монголии (33 и 67% соответственно), его российская часть входит в состав Байкальской природной территории, правовое положение которой определено Федеральным законом “Об охране озера Байкал” (1999). Выполненное при участии авторов комплексное гидролого-геохимическое изучение водных объектов этого бассейна [26, 29] выявило сложность и многофакторность процессов формирования и трансформации геохимических потоков вещества в регионе. Исследуемая территория характеризуется высокой неоднородностью геолого-геоморфологического строения и литогеохимического фона, множеством месторождений полезных ископа-

емых, значительным разнообразием природных и техногенно-измененных ландшафтов, что определяет целесообразность проведения ландшафтно-геохимического (ЛГХ) районирования в масштабе 1:2 500 000 как основы для дальнейших эколого- и ландшафтно-геохимических работ. Их цель — оценить условия ЛГХ миграции в бассейне реки в целом и вклад отдельных притоков в экологическую обстановку региона.

Природное районирование относится к традиционным направлениям в тематическом картографировании, оно представлено серией обзорных карт физико-географического, геоморфологического, зоогеографического, почвенно-географического районирования России и СССР; большая часть их них входит в серию “Карты для высшей школы” масштаба 1:8 000 000. При составлении карт ЛГХ районирования используется ряд показателей геохимических условий и процессов, например вещественный состав компонентов ландшафта, факторы и условия миграции химических элементов, формы и интенсивность миграционных

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, проф., докт. биол. н.; *e-mail:* maria.i.gerasimova@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, академик, докт. геогр. н.; *e-mail:* secretary@geogr.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* iagorb@mail.ru

⁴ 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

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, инженер; *e-mail:* rjabova99@mail.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* lychagin2008@gmail.com

⁷ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-РГО (грант № 13-05-41408 “Эколого-геохимическая оценка состояния и картографирование трансграничного речного бассейна р. Селенги”) и ИШ (грант № 1689.2014.5).

процессов, но методология ЛГХ районирования пока слабо разработана.

Основы методологии ландшафтно-геохимического картографирования были заложены А.И. Перельманом [20, 21] и М.А. Глазовской [5, 8]. Мелкомасштабные ЛГХ карты, опубликованные главным образом в комплексных атласах, отличаются использованной классификацией геохимических ландшафтов, подходами к выбору геохимических параметров и их интерпретацией [4, 7, 13]. Например, на карте Перельмана А.И. в Физико-географическом атласе мира [27] высшие единицы картографирования представлены категориями, соответствующими ландшафтными (под)зонам и классам водной миграции; следующий уровень выделяется по условиям рельефа и геологическим формациям. Геохимические ландшафты этого уровня носят местные названия.

Карты ЛГХ районирования разделяются на базовые и прикладные [6]. Пример последних — карта М.А. Глазовской с соавторами “Районирование СССР по типам возможных изменений природной среды при нефтедобыче”, территориальные единицы которой основаны на сочетании технобиогеом и бассейнов [9]. Карты ЛГХ районирования Якутии, Иркутской области, зоны БАМ базируются на основных принципах физико-географического районирования [17, 18]. В качестве высшей единицы принята область, выделенная по общности типа биологического круговорота и класса водной миграции. На втором уровне выделяются провинции с определенным типом рельефа, составом отложений, типом почвенных комбинаций, на третьем — округа, характеризующиеся специфическими кислотно-основными условиями в почвах, типоморфными элементами, типами геохимических барьеров. Иной подход использован при составлении карты ЛГХ районирования в масштабе 1:2 500 000 на российскую часть бассейна р. Амур [15]; здесь основные единицы — почвенно-геохимические зоны миграции, которые выделяются по факторам миграции (ландшафтной зоне, положению в катене, почвенно-геохимическим потокам, характеру водообмена и пр.).

Постановка проблемы. Приведенный краткий обзор мелкомасштабного ЛГХ районирования иллюстрирует разнообразие подходов, отражающих авторские концепции. В задачу ЛГХ районирования бассейна р. Селенга входило отражение природного фона как обстановки формирования и протекания разнообразных природно-техногенных миграционных процессов в ландшафтах, что потребовало решения важной *методологической* задачи: выбора показателей, адекватных масштабу, достоверных и отражающих ЛГХ специфику территории, а также их структуризации и введения в содержание карты.

Материалы и методы исследований. Объект районирования — территория бассейна р. Селенга, общая площадь 447 060 км², отличается контрастностью и сложностью природных условий, влияющих на ЛГХ особенности ландшафтов. К основным факторам ЛГХ дифференциации относятся:

- горный рельеф, представленный высокими и средними горами с узкими межгорными котловинами, заполненными мощными толщами аллювиально-пролювиальных грубообломочных отложений, преобладают процессы механической миграции разноразмерного твердофазного материала, его гравитационная и криогенная сортировка и перемешивание при подчиненной водной и биогенной миграции;

- разломная тектоника, чрезвычайно разнообразный литогеохимический фон (магматические и метаморфические породы кислого и основного состава, чередующиеся с вулканогенными и терригенными отложениями), господствуют гетеролитные ЛГХ сопряжения;

- резкоконтинентальный климат в сочетании с многолетней мерзлотой, длительным и глубоким сезонным промерзанием, замедленность миграционных процессов и заторможенность биологического круговорота;

- контрастность вертикальной зональности и экспозиционных эффектов (от нивальных до степных ландшафтов) и как следствие резкая дифференциация биогенной миграции в макрокатаенах;

- разнообразие транзитно-аккумулятивных ландшафтов котловин в связи с разными абсолютными отметками, степенью геохимической замкнутости котловин, соотношением склоновых и флювиальных процессов, составом аккумулирующегося материала, эоловыми процессами; кроме того, в котловинах происходит агрогенная трансформация ландшафтов и интенсивная пастбищная дигрессия.

ЛГХ районирование проводилось на основе картографических и литературных материалов, использованы комплексные атласы [1, 16], специальные карты (в масштабе от 1:1 000 000 до 1:3 000 000): геологические, четвертичных отложений, геоморфологические, растительности, почвенные, карта экосистем бассейна р. Селенга [2, 10—12, 22, 23, 25], космические снимки и топографическая основа масштаба 1:1 000 000 и 1:2 500 000, а также специализированные и региональные монографии, в том числе результаты многолетних работ совместной Российско(советско)-монгольской комплексной биологической экспедиции РАН—МАН [3, 19, 24, 28]. Анализ этой огромной информации был затруднителен не только из-за разной степени детальности карт (отчасти в связи с их масштабом), но и различий в концепциях, содержании и терминологии, противоречий на разных картах одной тематической группы, неоднородности литературных материалов и пр. В результате выявлены как общие, так и специфические ЛГХ особенности картографируемой территории. Методология ЛГХ районирования предполагала целенаправленный отбор характеристик природных условий, их геохимически ориентированную интерпретацию и преобразование в геохимические показатели. Подобный подход был ранее реализован при составлении ЛГХ карты России [13, 14].

Результаты исследований и обсуждение. В качестве главного критерия выделения территориальных единиц ЛГХ районирования бассейна Селенги приняты литолого-геоморфологические факторы, определяющие характер и направленность миграционных процессов. Учитывались особенности территории, факторы, механизмы, пути и результаты миграции вещества в миграционных системах разного уровня. К ним относятся морфологические параметры рельефа и геохронологические условия; климатические характеристики, обуславливающие формы и интенсивность процессов механической и водной миграции; преобладающие горные породы с определенной геохимической специализацией; сложность и контрастность спектров высотной поясности.

Таблица 1

Критерии, использованные при ландшафтно-геохимическом районировании бассейна р. Селенга

Уровень	Критерий
Группы макро-структур	Доминирующий процесс (денудация, транзит и аккумуляция) и/или их соотношение
Макроструктуры	Условия рельефа (абсолютная высота, степень расчленения), механизмы миграционных процессов, состав коренных пород и/или рыхлых отложений, главные черты климата, интенсивность геохимических процессов, сложность вертикальных спектров
Районы	Литогеохимический фон, растительные сообщества по высотным поясам, геохронологические условия, сложность каскадных систем, сочетания ландшафтно-геохимических процессов, формы и состав продуктов аккумуляции, класс водной миграции

Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна проведено на трех уровнях, выделяемых по разным критериям: *группы макро-структур, макро-структуры, районы* (табл. 1). Первые два уровня носят типологический характер и отражают общие физико-географические предпосылки формирования миграционных геохимических процессов. При выделении единиц нижнего уровня принималась во внимание сложная комбинаторика местных условий, проявляющаяся в рамках общих литолого-геоморфологических и климатических возможностей миграции, аккумуляции и поступления вещества в речные системы. Сочетание типологического и регионального подхода в нашем случае объясняется широким спектром природных условий и особенностей геохимической миграции. На карте границы трех рангов показаны линиями разной толщины.

Группы макро-структур выделяются по доминирующему процессу (денудация, транзит и аккумуляция) и/или их соотношению (рисунок).

Денудационные ЛГХ макро-структуры высоких гор и расчлененных средневысотных гор широко распространены в бассейне Селенги; они сложены изверженными, преимущественно кислыми породами.

Преобладает механическая миграция веществ; обвально-осыпные перемещения крупнообломочных продуктов выветривания сочетаются с нивацией и водной миграцией; отмечены локальная криогенная сортировка мелкоземисто-обломочного материала и его незначительная аккумуляция. Миграционные процессы активны, хотя и кратковременны. Такие макро-структуры характерны для хребтов Хамар-Дабан, Хентэй, Джидинский и др.

Аккумулятивно-денудационные ЛГХ макро-структуры средневысотных лавовых плато занимают ограниченную площадь. Элювиальные ландшафты — результат инситного выветривания, продукты которого на крутых склонах перемещаются гравитационными процессами. Этот тип макро-структур представлен лавовым плато восточнее оз. Хубсугул.

Денудационно-аккумулятивные ЛГХ макро-структуры широко распространены. Ландшафты с заметной аккумуляцией приурочены к средневысотным плосковершинным поверхностям хребтов и плоским речным долинам; другой вариант — останцовые горы среди высоких равнин. Активны процессы водной миграции, иногда приводящие к аккумуляции карбонатных солей в долинах — областях флювиального транзита. Локально развиты эоловые процессы. Гравитационная миграция не является ведущей. Примерами подобных макро-структур служат хребты Курбинский, Цаган-Дабан, Заганский в Забайкалье, юго-западная часть Витимского плоскогорья.

Аккумулятивные ЛГХ макро-структуры тяготеют к высоким засушливым равнинам на юге бассейна, им свойственно сочетание сухих русел и заболоченных пойм, эоловая и солевая аккумуляция; эпизодическая водная миграция. Эти структуры наиболее ярко выражены в бассейнах Нарин-Гол и Тарнайн-Гол.

Транзитно-аккумулятивные ЛГХ макро-структуры обширных полузакнутых межгорных котловин — здесь происходит аккумуляция со склонов гравитационная, криогенная, в долинах эоловая и гравитационная (на останцовых возвышенностях), локально солевая; флювиальный транзит, чередующийся с аккумуляцией.

Макроструктуры выделяются в рамках перечисленных групп по условиям рельефа, определяющего механизмы и характер миграционных процессов, по составу коренных пород и/или рыхлых отложений, главным чертам климата, влияющего на интенсивность геохимических процессов, а также по сложности вертикальных спектров и классам водной миграции (табл. 1).

На территории бассейна выделено 11 ландшафтно-геохимических макро-структур (рисунок). Например, к группе денудационных макро-структур относятся высокие горы с разной степенью расчленения и средневысотные сильно расчлененные горы с разными формами проявления процессов механической и водной миграции, с максимально сложными спектрами вертикальных поясов. Классы водной миграции изменяются от кислого до переходного к кальциевому.

В группу денудационно-аккумулятивных макроструктур объединены средневысотные плосковершинные умеренно расчлененные горы с широкими долинами, плоскогорье и останцовые плосковершинные горы с преобладанием процессов аккумуляции продуктов водной миграции, в меньшей степени механической, с относительно простыми спектрами вертикальных поясов и с большой долей степных ландшафтов кальциевого класса.

Ландшафтно-геохимические районы — территории с определенным литогеохимическим фоном, сложными каскадными системами, комплексами ЛГХ процессов, парагенетическими ассоциациями химических элементов. Районы отличаются сочетаниями высотных поясов, климатическими параметрами — атмосферным увлажнением, длительностью безморозного периода, т.е. климатическим потенциалом миграции [13], которые определяют тренды и интенсивность миграционных процессов. Границы районов и правомочность их выделения контролировались по космическим снимкам GOOGLE Earth с разрешением до 300 м. Размеры, конфигурация, а также число районов в пределах макроструктур сильно варьирует. Всего на территории бассейна выделено 37 районов, им даны местные географические названия. Число индивидуальных ЛГХ районов в макроструктурах колеблется от 1 до 5, в макроструктуре межгорных котловин выделяется 15 районов, что объясняется территориальной

разобщенностью котловин, отличающихся размерами, конфигурацией, гипсометрическим положением, а также литологическими особенностями субстратов и степенью дренированности.

Легенда карты составлена в двух вариантах. Краткий вариант имеет вид списка и приведен на рисунке. Второй вариант — сводная табличная легенда (ее схема приведена в табл. 2), она имеет значительный объем, так как кроме названий уровней районирования содержит характеристики природных компонентов для каждого ЛГХ района, представляющих условия рельефа, коренные породы и рыхлые отложения, климатический потенциал миграции, геокриологические условия, растительные сообщества по высотным поясам, классы водной миграции.

Индивидуальность районов подчеркнута введением дополнительной информации — сочетаниями ЛГХ процессов, предложенных в 1989 г. М.А. Глазвской [8] и впервые показанных на ЛГХ карте России [13, 14]. Перечень ЛГХ процессов, свойственных ландшафтам бассейна Селенги и выявленных путем анализа и целенаправленной интерпретации литературных и картографических материалов, приведен в табл. 3. Выделенные 16 ЛГХ процессов сгруппированы следующим образом: механическая миграция, водная миграция, инситное преобразование твердофазного субстрата. Каждый район характеризуется определенным набором процессов.

Таблица 2

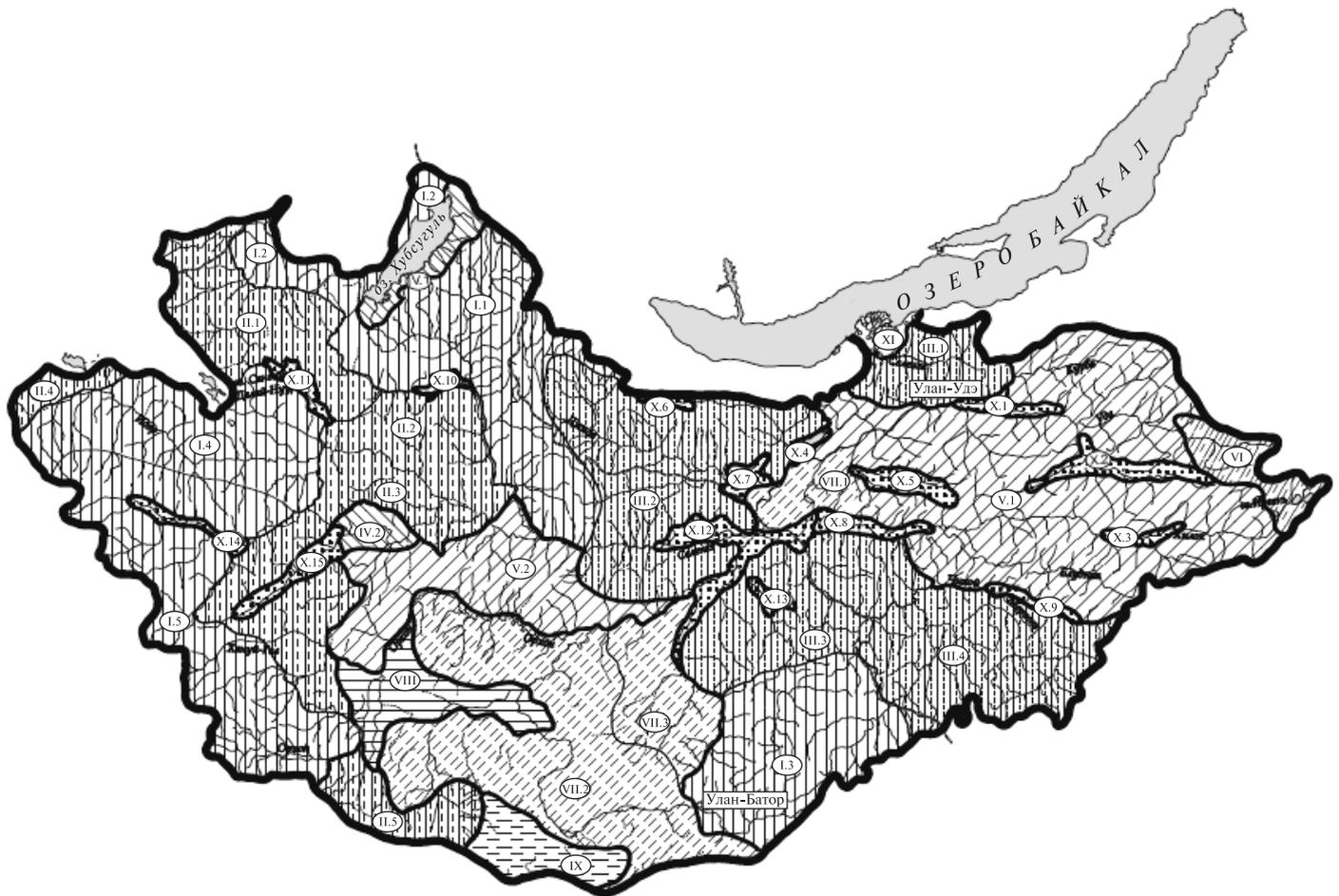
Показатели ландшафтно-геохимических обстановок — характеристики районов в сводной табличной легенде карты

Литолого-геоморфологические факторы			Биоклиматические факторы
Характеристики рельефа	Коренные породы	Четвертичные отложения	Климатический потенциал ландшафтно-геохимических процессов
			Климат
			Продолжительность безморозного периода, мес.
			Геокриологические условия
			Атмосферное увлажнение
			Интенсивность биологического круговорота
			Растительность
			Класс водной миграции

Таблица 3

Ландшафтно-геохимические процессы для характеристики районов

Процессы механической миграции	Процессы водной миграции	Инситные преобразования субстрата	
		физические (механические)	физико-химические
Обвальнo-осыпные Делювиальные Гляциальные Пролувиальные Солифлюкционные Флювиальные Эоловые	Тонкодисперсный силикатный материал Карбонаты Легкорастворимые соли	Физическое выветривание Криогенная сортировка Криотурбации Озерная седиментация	Глеегенез и оксидогенез Детритогенез и гумусонакопление



Карта ландшафтно-геохимического районирования бассейна р. Селенга: миграционные структуры и ландшафтно-геохимические районы. Уменьшено с масштаба 1:2 500 000

На составленной карте полная информация о ЛГХ районе выглядит следующим образом. Например, район X.8 (рисунок) — долина Нижнего Хилка, которая относится к транзитно-аккумулятивным миграционным макроструктурам, это широтно ориентированная котловина с холмисто-увалистым рельефом и абсолютной высотой 650—700 м; четвертичные отложения представлены делювиально-пролювиальными, озерно-аллювиальными и эоловыми. Этот район отличается высоким климатическим потенциалом миграции, глубоким сезонным промерзанием и островной многолетней мерзлотой; для него характерны разнотравно-дерновинно-злаковые степи и влажнотравные луга и кустарники, а также высокая интенсивность биологического круговорота, Ca^{2+} ($\text{Ca}^{2+}-\text{Na}^{+}$) и $\text{Ca}^{2+}-\text{Fe}^{2+}$ классы водной миграции. Среди процессов механической миграции преобладают делювиальные, пролювиальные и флювиальные; процессы водной миграции включают перемещение тонкодисперсного силикатного материала и легкорастворимых солей, детритогенез и гумусонакопление.

Выводы:

— горно-котловинный рельеф бассейна Селенги определяет приоритет литолого-геоморфологических факторов ЛГХ дифференциации, что отличает составленную карту от других карт ЛГХ районирования,

базирующихся на зональных подходах; среди ЛГХ процессов в бассейне господствуют разнообразные формы механической миграции;

— ЛГХ районирование сочетает черты типологического и регионального районирования. На каждом из трех уровней районирования используются разные критерии выделения единиц, которые отражают факторы и аспекты ЛГХ дифференциации территории. На верхнем уровне главное — общее соотношение процессов денудации, транзита и аккумуляции вещества; на следующем уровне — типы и интенсивность миграционных и аккумулятивных процессов в зависимости от климатических условий и сложности спектров вертикальных поясов; на нижнем уровне учитываются литогеохимический фон, классы водной миграции, формы и химические особенности продуктов аккумуляции, а также комбинированность ЛГХ процессов;

— опыт составления карты ландшафтно-геохимического районирования бассейна Селенги может быть полезен для ЛГХ исследований горных территорий при выборе, построении иерархии и представления многих разноплановых ЛГХ показателей на картах мелкого масштаба. Карту можно использовать для выявления путей миграции и аккумуляции экологически опасных веществ из природных и техногенных источников.

МИГРАЦИОННЫЕ СТРУКТУРЫ

денудационные



I. Высокие горы, глубоко расчлененные; интенсивная механическая денудация (обвальнo-осыпные процессы), криогенная дезинтеграция плотных пород и сортировка продуктов их разрушения; ограниченная водная миграция; очень короткий период протекания геохимических процессов; сложный спектр вертикальных поясов

- I.1. Хамар-Дабан–Джидинский I.3. Хэнтэй I.5. Хангай–Тарбагатай
- I.2. Эгийн-Гол–Дэлгэр-Мурэн I.4. Идэр



II. Высокие горы, умеренно расчлененные; механическая денудация (обвальнo-осыпные процессы), криогенная дезинтеграция плотных пород и сортировка продуктов их разрушения, дефлюкция и солифлюкция; ограниченная водная миграция; очень короткий период протекания геохимических процессов; сложный спектр вертикальных поясов

- II.1. Цагаан-уул II.3. Хр. Телин-Цаган II.5. Верховья Нарин-Гол и Тараны-Гол
- II.2. Эгийн-Гол–Селенга II.4. Верховье Идэра



III. Средние горы, глубоко расчлененные; механическая денудация (склоновые процессы, дефлюкция и солифлюкция); ограниченная водная миграция; короткий период протекания геохимических процессов; умеренно сложный спектр вертикальных поясов

- III.1. Улан-Удэ III.2. Джида–М. Хабар-Дабан III.3. Бассейн среднего Ерее-Гол III.4. Петля Чикоя

аккумулятивно-денудационные



IV. Средневысотные лавовые плато, умеренно расчлененные; слабая механическая миграция (склоновые процессы, дефлюкция и солифлюкция); дезинтеграция плотных пород; короткий период протекания геохимических процессов; относительно простой спектр вертикальных поясов

- IV.1. Хубсугул IV.2. Хануйн-Гол

денудационно-аккумулятивные



V. Средние горы, плосковершинные, умеренно расчлененные с широкими речными долинами; интенсивная водная и умеренная механическая миграция, дефлюкция и солифлюкция; относительно продолжительный период протекания геохимических процессов; в долинах накопление мелкозема и продуктов водной миграции (карбонатов); относительно простой контрастный спектр вертикальных поясов

- V.1. Забайкальские хребты V.2. Селенга–Орхон



VI. Плоскогорье, слабо расчлененное; умеренная водная и механическая миграция в сочетании с аккумуляцией, дефлюкция и солифлюкция; относительно продолжительный период протекания геохимических процессов, термокарст; простой спектр вертикальных поясов; накопление мелкозема и продуктов водной миграции

- VI. Витимское плоскогорье



VII. Останцовые плосковершинные горы (мелкосопочник) с широкими речными долинами и озерными котловинами; элювиально-делювиальные, солифлюкционные и эоловые процессы; относительно короткий период протекания геохимических процессов; слабая вертикальная дифференциация; накопление мелкозема, карбонатов; локальное засоление

- VII.1. Междуречье Селенга–Чикой–Хилок VII.2. Туул–Орхон VII.3. Орхон–Хараа-Гол

аккумулятивные



VIII. Высокая равнина с плосковершинными останцами и широкими речными долинами и озерными заболоченными и частично засоленными котловинами; элювиально-делювиальные и эоловые процессы; накопление мелкозема и карбонатов, локально заболачивание, в долинах – засоление

- VIII. Нарин-Гол–Тарнайн-Гол



IX. Высокая плоская бессточная равнина с редкими останцами с сухими руслами и озерными террасами; эоловые процессы, местами засоление

- IX. Бурэн

транзитно-аккумулятивные



X. Межгорные котловины относительно замкнутые, сток по узким долинам; флювиальные процессы, аккумуляция делювиальных и пролювиальных отложений, локально эоловых, заболачивание, засоление

- X.1. Уда X.5. Тугнуй-Сухара X.9. Чикой X.13. Ерее-Гол
- X.2. Худан X.6. Темник X.10. Эгийн-Гол X.14. Хойд–Тэрхийн-Гол
- X.3. В. Хилок X.7. Джида X.11. Дэлгэр-Мурэн X.15. Хануйн-Гол
- X.4. Гусиное оз. X.8. Н. Хилок X.12. Селенга-Орхон



- XI. Дельта Селенги

ГРАНИЦЫ

групп макроструктур
 макроструктур
 районов

индексы ландшафтно-геохимических районов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Забайкалья (Бурятская АССР и Читинская область). М.; Иркутск: ГУГК, 1967.
2. Геоморфологическая карта Монгольской Народной Республики. Масштаб 1:1 500 000 / Под ред. Н.А. Флоренсова, С.С. Коржуева. М.: ГУГК, 1987.
3. Геоморфология Монгольской Народной Республики. М.: Наука, 1982. 229 с.
4. Герасимова М.И., Гаврилова И.П., Богданова М.Д. Ландшафтно-геохимические карты в комплексных атласах // Изв. РАН. Сер. геогр. 2007. № 6. С. 107—115.
5. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена, 2002. 286 с.
6. Глазовская М.А. Прикладное и общее (базовое) ландшафтно-геохимическое районирование // Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды / Вопр. географии. Сб. 120. М.: Мысль, 1983. С. 11—19.
7. Глазовская М.А. Принципы классификации природных геосистем по устойчивости к техногенезу и прогнозное ландшафтно-геохимическое районирование // Устойчивость геосистем. М.: Наука, 1983. С. 61—78.
8. Глазовская М.А. Геохимические ландшафты мира: концепция и принципы картографирования // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1989. № 5. С. 25—33.
9. Глазовская М.А., Пиковский Ю.И., Коронцевич Т.И. Комплексное районирование территорий СССР по типам возможных изменений природной среды при нефтедобыче // Ландшафтно-геохимическое районирование и охрана среды / Вопр. географии. Сб. 120. М.: Мысль, 1983. С. 84—108.
10. Карта растительности Монгольской Народной Республики. Масштаб 1:1 500 000 / Под ред. Е.М. Лавренко. М.: ГУГК, 1979.
11. Карта четвертичных отложений Монгольской Народной Республики. Масштаб 1:1 500 000 / Под ред. Н.А. Маринова, Н.А. Флоренсова. М.: ГУГК, 1987.
12. Карта “Экосистемы Монголии” (на 15 листах). Масштаб 1:1 000 000 / Гл. ред. П.Д. Гунин, Е.А. Востокова. М., 1995.
13. Касимов Н.С., Гаврилова И.П., Герасимова М.И., Богданова М.Д. Ландшафтно-геохимическая карта России в Национальном атласе // Геохимия ландшафтов и география почв: К 100-летию М.А. Глазовской. М.: АПР, 2012. С. 45—58.
14. Ландшафтно-геохимическая карта России. Масштаб 1:7 500 000 / Авторы: Касимов Н.С., И.П. Гаврилова, М.И. Герасимова, М.Д. Богданова. М.: ООО “Феория”, 2013.
15. Махинова А.Ф., Махинов А.Н., Купцова В.А. и др. Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна р. Амур // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 2. С. 76—89.
16. Национальный атлас Монгольской Народной республики. Улан-Батор; Москва: ГУГК, 1990.
17. Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимическое районирование // География и природные ресурсы. 1999. № 2. С. 104—111.
18. Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимическое районирование Азиатской России // География и природные ресурсы. 2001. № 1. 12—18.
19. Ногина Н.А. Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
20. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Изд. геогр. лит-ры, 1961. 496 с.
21. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель, 1999. 764 с.
22. Почвенная карта Монгольской Народной Республики. Масштаб 1:2 500 000 / Под ред. Н.А. Ногиной. М.: ГУГК, 1980.
23. Почвенный покров Бурятской АССР. Масштаб 1:1 000 000 / Под ред. Ковалева Р.В., О.В. Макеева, И.А. Соколова, В.М. Фридланда. М.: ГУГК, 1980.
24. Почвенный покров и почвы Монголии. М.: Наука, 1984. 191 с.
25. Растительность юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1 500 000 / Под ред. В.Б. Сочавы. М.: ГУГК, 1972.
26. Чалов С.Р., Лычагин М.Ю., Белозерова Е.В. и др. Оценка стока речных наносов р. Селенга: трансграничный аспект // Маккавеевские чтения—2012. М., 2013. С. 43—59.
27. Физико-географический атлас мира. М.: ГУГК, 1964.
28. Экосистемы бассейна Селенги. М.: Наука, 2005. 359 с.
29. Chalov S., Kasimov N., Lychagin M. et al. Water resources assessment of the Selenga-Baikal river system // Geoöko. 2013. Vol. 34, N 1—2. P. 77—102.

Поступила в редакцию
11.07.2014

M.I. Gerasimova, N.S. Kasimov, I.A. Gorbunova, M.D. Bogdanova, N.V. Ryabova, M.Yu. Lychagin
LANDSCAPE-GEOCHEMICAL REGIONALIZATION OF THE SELENGA RIVER BASIN

A map of landscape-geochemical regionalization of the Selenga River basin (1:2,5 M) was compiled to study factors and processes of geochemical flows formation and modification. Traditionally the zonal approach is used for landscape-geochemical regionalization of vast territories, which takes into account the general parameters of biological cycle of matter and the classes of water migration. Within the Selenga River basin the predominant relief of mountain depressions is combined with the complicated geological structure, varied litho-geochemical background, contrasting climatic conditions and several spectra of altitudinal zones. Therefore it is lithological-morphological factors governing the nature and trends of migration processes that became a principal criterion for identifying the main territorial units of landscape-geochemical regionalization of the basin.

The system of landscape-geochemical regionalization of the basin includes three hierarchical levels with different criteria of identification. The both upper levels are of typological character and represent general physical-geographical conditions of geochemical migration processes. The units of the lower classification level were identified with the account of complex combinations of local conditions within the framework of general lithological-morphological and climatic prerequisites of migration, accumulation and input of matter into river systems. Combination of typological and regional approaches stems from a wide variety of natural conditions and geochemical migration features within the area under study.

Methodological bases of regionalization may be of utility for the landscape-geochemical studies of mountain territories.

Key words: methodology, hierarchical levels of regionalization, natural factors, landscape-geochemical processes.

УДК 551.465 (262.5)

С.А. Мысленков¹, А.Г. Зацепин², К.П. Сильвестрова³, В.И. Баранов⁴**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДРЕЙФУЮЩИХ БУЕВ И БУКСИРУЕМОГО ПРОФИЛОГРАФА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕЧЕНИЙ НА ШЕЛЬФЕ ЧЕРНОГО МОРЯ⁵**

Приводятся результаты апробации системы мониторинга поверхностных течений, основанной на отслеживании траекторий дрейфующих буюв, оснащенных GPS-приемником и GSM-связью. Основное достоинство разработанной системы — низкая стоимость оборудования и высокая пространственно-временная детализация данных о течениях. Благодаря использованию GSM-связи за движением дрейфующих буюв можно наблюдать в режиме реального времени.

Исследованы поверхностные течения на шельфе Черного моря в районе г. Геленджик. Используются данные о поверхностных течениях, полученные при помощи дрейфующих буюв и буксируемого профилографа течений. Приводятся данные трех экспериментальных запусков дрейфующих буюв и результаты сравнения траекторий их движения с полем скорости, полученным по профилографу. Продолжительность экспериментов составляла от нескольких часов до 2 сут. Для каждого эксперимента приводится информация о скорости и направлении ветра во время эксперимента. Выявлено наличие параллельно-струйных течений в районе исследования — буюв, выпущенные на расстоянии 30—40 м, двигались практически параллельно на протяжении 5—10 ч.

В одном эксперименте наблюдался диполь, характерный для субмезомасштабной вихревой динамики в рассматриваемом районе. Этот диполь, вероятно, возник в результате диссипации энергии и разрушения наблюдаемой в начале эксперимента вихревой структуры. Поле течений в ходе этого эксперимента не было связано с полем ветра. Однако в другом эксперименте направление течения в поверхностном слое вод совпадало с ветром, что позволяет сделать вывод только о периодическом влиянии вихрей на динамику вод. Показано, что поверхностные течения, полученные по данным профилографа течений, в целом совпадают с данными дрейфующих буюв, однако применение разных методов позволяет по-разному интерпретировать полученные картины циркуляции.

Данные экспериментов показали, что разработанная система наблюдения за течениями действенна, с помощью нее можно изучать структуру течений на шельфе. В будущем планируются более масштабные и продолжительные эксперименты.

Ключевые слова: дрейфующий буй, дрейфтер, буксируемый профилограф течений, шельф, морские течения, Черное море.

Введение. Шельфовые зоны океанов и морей отличаются чрезвычайной сложностью и многообразием морских природных условий, которые испытывают интенсивную пространственно-временную изменчивость в широком диапазоне масштаба. Морские течения на шельфе — одно из наиболее сложных и динамичных явлений. На шельфе северо-восточной части Черного моря ведется активная хозяйственная деятельность, связанная прежде всего с разведкой новых нефтегазоносных месторождений, транспортировкой нефтепродуктов и рекреацией, что в свою очередь вызывает высокую антропогенную нагрузку на морские шельфовые экосистемы. Согласно планам Правительства РФ на активную разработку месторождений углеводородов в шельфовой зоне арктических и

южных морей, на шельфе Черного моря ожидается бурное развитие строительства и хозяйственной деятельности. Следовательно, возрастет потребность в качественных инструментальных данных о течениях на шельфе, результатах моделирования течений и разливов нефти, поскольку информация о морских течениях чрезвычайно важна для инженерных расчетов, обеспечивающих строительство гидротехнических сооружений. Кроме того, течения — один из основных параметров при проведении экологического мониторинга состояния водной среды.

В этом аспекте очень актуальны исследования течений на шельфе Черного моря, так как информация о них используется для инженерных расчетов, обеспечивающих разработку нефтегазовых месторож-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с.; *e-mail:* stasocan@gmail.com

² ФГУБН Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, заведующий лабораторией, докт. физ.-мат. н.; *e-mail:* zatsepin@ocean.ru

³ ФГУБН Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, мл. науч. с.; *e-mail:* ksenia.ocean@yandex.ru

⁴ Атлантическое отделение Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН, гл. спец.; *e-mail:* baranovlad@mail.ru

⁵ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 13-05-90438, 13-05-41450, 14-05-00159), в рамках договора № 11.G34.31.0007, гранта Президента РФ МК-793.2013.5, договора №10/2013/РГО-РФФИ, соглашения № 14.604.21.0044 с Минобрнауки РФ, Программы 23 РАН, проекта РНФ 14-17-00382.

дений и исследований, связанных с изучением сопутствующих этой деятельности загрязнений морской среды.

Постановка проблемы. Объект исследования — течения в поверхностном слое толщиной 1 м. Временной масштаб изменчивости исследуемых процессов начинается от 15 мин., а горизонтальный — 100 м, что обусловлено используемыми приборами и характером течений в исследуемом районе.

Побережье на северо-востоке Черного моря характеризуется узким шельфом (2—10 км), здесь нередко наблюдаются вихревые образования с горизонтальным масштабом 2—5 км. Динамика движения вод в этом районе Черного моря описана в работе [3—5].

В работах по численному моделированию циркуляции в Черном море, например в [16, 17], как правило, рассматривается все Черное море и исследуется сезонная и межгодовая динамика основного черноморского течения либо крупных вихревых образований. Одна из основных проблем в развитии этих исследований заключается в том, что качество большинства моделей не оценивается на основании инструментальных данных, либо это лишь косвенные оценки. Кроме того, модели созданы для большого пространственно-временного масштаба, что не дает представления о течениях с характерным масштабом нескольких сотен метров.

В последние годы широкое распространение получило изучение циркуляции вод по данным спутниковой альтиметрии. Применение спутниковых изображений для восстановления полей течений в Черном море описано в работах [16, 17], в них исследована главным образом динамика Основного черноморского течения. Это перспективное направление развивается очень быстро, однако пока эти данные имеют грубое пространственное и временное разрешение для исследования прибрежных течений. К тому же очень остро стоит проблема сравнения спутниковых данных с качественной подспутниковой информацией, которая чаще всего отсутствует.

Среди натурных (экспериментальных) исследований течений в северо-восточной части Черного моря можно отметить 5-летние наблюдения на заякоренной станции вблизи Геленджика [13], а также многократные судовые съемки гидрофизических условий у российского берега Черного моря в 1990—2000-х гг. [7—9, 15]. Но практически во всех перечисленных работах исследованы прибрежные антициклонические круговороты (вихри), измерения проводились точно и на достаточно большом расстоянии. По данным последних исследований, течения на шельфе характеризуются собственными модами изменчивости (например, субмезомасштабными вихрями [6]), а также сильно зависят от ветрового воздействия (прибрежного ветрового апвеллинга) и речного стока.

Первые комплексные дрейфтерные эксперименты в Черном море проводили с использованием буев “ЛОБАН”, данных съемок акватории Черного моря

в инфракрасном (ИК) диапазоне со спутников NOAA, а также материалов полигонных измерений с научно-исследовательских судов летом в 1987 и 1988 гг. Цель этих экспериментов состояла в исследовании поля скорости Основного черноморского течения (ОЧТ) в западной части моря. Всего за 10 лет (1987—1997) в Черном море выполнено пять дрейфтерных экспериментов с использованием 14 дрейфующих буев типа “ЛОБАН” [11].

В 1999 г. начались исследования Черного моря при помощи лагранжевых SVP- и SVPH-дрейфтеров, соответствующих международным стандартам, для изучения циркуляции вод в верхнем слое моря. Работы осуществлялись в рамках экспериментов для развития черноморского сегмента GOOS (Global Ocean Observing System). Описание изменчивости поля течений, полученных в ходе дрейфтерных экспериментов в период с 1999 по 2004 г., представлено в работе [2]. Траектории перемещения дрейфтеров подтвердили наличие интенсивных мезомасштабных вихрей (преимущественно антициклонических) как в прибрежной, так и в центральной части Черного моря. В некоторых из таких вихрей дрейфтеры вращались весьма продолжительное время (1,5—2,5 мес.) и показали очень высокую скорость (0,6—0,8 м/с в Батумском антициклоне). Однако из-за высокой стоимости и масштабности проектов по запуску дрейфтеров детальная информация о прибрежных течениях не была получена.

В 2009 г. в рамках проекта “Iridium” (<http://www.jcommops.org/dbcp/iridium-pp/>) выполнено несколько широкомасштабных экспериментов в Черном море с термопрофилирующими дрейфтерами “Iridium SVP”. Эксперимент выполнен при сотрудничестве Морского гидрофизического института (Украинская академия наук, до марта 2014 г.), украинской научно-производственной фирмы “Марлин-Юг” и Национальной метеорологической службы Франции (Meteo-France). Этот эксперимент также был направлен на исследование динамики ОЧТ. Более подробно история и развитие применения дрейфтерных технологий в Черном море и Мировом океане изложены в работе [11].

Пробный запуск дрейфующих буев в Голубой бухте (Черное море) выполнен сотрудниками кафедры океанологии МГУ имени М.В. Ломоносова летом 2005 г. Слежение за дрейфтерами осуществлялось при помощи электронного тахеометра, поэтому эксперимент проходил только в пределах бухты [1].

Таким образом, результаты перечисленных и других исследований, отражающие современные представления о динамике вод в прибрежной зоне Черного моря, дают весьма ограниченное представление о структуре поверхностных течений на шельфе северо-восточной части Черного моря, особенно в пространственно-временном масштабе нескольких сотен метров и нескольких часов. Большинство исследований, базирующихся на натурных данных, математическом моделировании либо спутниковой информации, посвящено динамике ОЧТ или крупных вихревых образований,

нами же исследуются течения на порядок меньшего масштаба, ранее практически не описанные в научной литературе; знания о них востребованы в настоящее время в морской и прибрежной деятельности.

Также практически отсутствуют результаты сравнения данных о течениях с доплеровских измерителей течений ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) и лагранжевых измерителей. Одна из проблем используемого в нашем исследовании профилографа заключается в наличии “слепой” зоны у течений (3–4 м). В соответствии с теорией Экмана в поверхностном слое 1–4 м не предполагается сильный разворот течений, но достоверных подтверждений этого предположения нет.

Кроме того, работа была направлена на оценку применимости метода Эйлера (измерения в точке) и метода Лагранжа (отслеживание траекторий частиц) при измерении течений на шельфе.

Материалы и методы исследований. Для наблюдения за течениями использовалась оригинальная технология, использующая дрейфтеры с GPS-позиционированием и GSM- или GPRS-передачей данных, что позволяет получать данные о перемещении дрейфующего буя с дискретностью во времени до 1 мин. и в горизонтальном масштабе до 10 м.

Разработанный дрейфующий буй представляет собой конструкцию, состоящую из поплавка с закрепленным на нем ГНСС-приемником и GSM-модулем передачи данных, подводного паруса и груза (рис. 1). Основное требование к конструкции дрейфующих буюв для корректного измерения течений — такое соотношение надводной и подводной частей, которое позволяет минимизировать влияние ветра на движение поплавка. Для дрейфующего буя в соответствии с формулой из работы [14, с. 439] нами рассчитано предельное влияние ветра на дрейф поплавка. Эта формула учитывает скорость ветра (в нашем случае максимальная скорость ветра составляла 20 м/с), лобовое сопротивление надводной части и соотношение надводной и подводной частей. Если наблюдаемая скорость течений составляет 50–80 см/с, то влияние ветрового дрейфа не более 5%.

От высоты подводного паруса зависит толщина слоя воды, в котором измеряется течение. Используемая конструкция рассчитана на получение данных о скорости и направлении интегрального поверхностного слоя вод толщиной 1 м. Подводный парус представляет собой пластиковый каркас из пластиковых труб сечением 20 мм, на каркас натянута полипропиленовая ткань. При помощи соединительного троса подводный парус можно поместить на необходимой глубине в зависимости от решаемой задачи.

Пластиковый каркас буя наполовину разборный, что позволяет при транспортировке складывать конструкцию, а перед запуском ее собирать в рабочее положение. Процесс сборки занимает не более минуты. В сложенном состоянии 5 буюв занимают объем ~1 м³. Массы груза (5 кг) достаточно, чтобы подводный па-

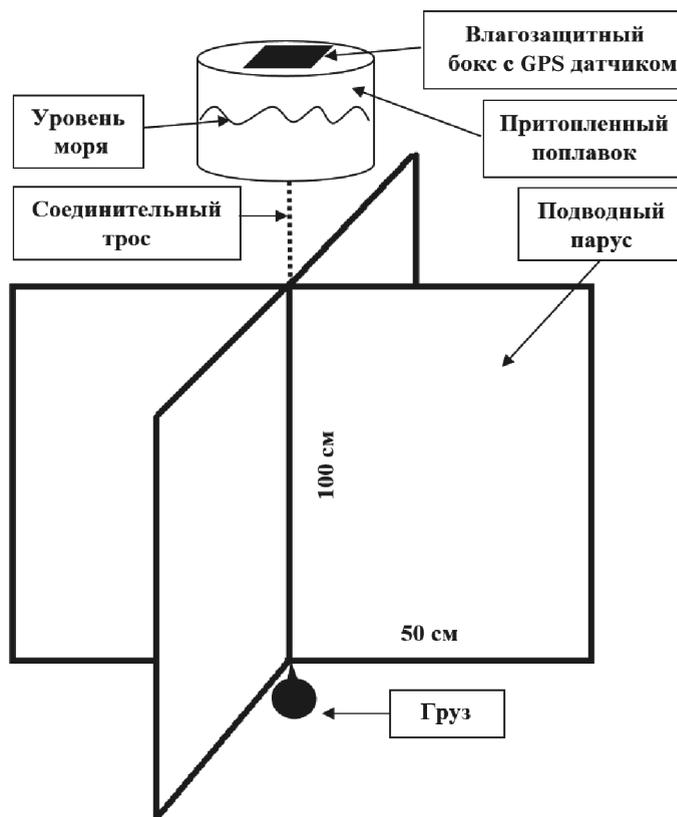


Рис. 1. Конструкция дрейфтера

рус, имеющий положительную плавучесть, был полностью погружен в воду. В надводной части буя имеется петля из прочного троса для удобного извлечения устройства из воды при помощи багра после окончания эксперимента.

На надводном поплавке расположен влагозащитный бокс, в который помещен ГНСС-приемник “Proma-Sat 1000”, оснащенный модулем GSM для передачи координат.

Специальное программное обеспечение приемника позволяет осуществлять настройку параметров работы прибора для наиболее эффективного решения поставленных задач. В процессе настройки можно устанавливать непрерывный или периодический режим работы, периодичность отправки данных по GSM- или GPRS-каналу, реагирование на начало и конец движения и др. В нашем случае использовался режим постоянной отправки координат дрейфующего буя на сервер с интервалом 10 мин.

Технологическая схема работы дрейфтерной системы выглядит следующим образом. В начале эксперимента буи запускают в заранее намеченных точках в море и оставляют в свободном дрейфе, ГНСС-приемники должны быть включены и запрограммированы на необходимый режим работы. Местоположение буюв определяется через заданный интервал времени (в зависимости от настроек). Полученные координаты отправляются на веб-сервер Proma-Sat (<http://map.proma-sat.ru>) через канал связи GSM/GPRS. Все приемники должны быть предварительно зарегистриро-

ваны на сервере по их индивидуальным идентификаторам. Картографическое веб-приложение позволяет в реальном времени наблюдать местоположение и путь, пройденный каждым датчиком.

Мониторинг дрейфующих буев в реальном времени позволяет полностью решить проблему их поиска после окончания эксперимента. Эта проблема всегда была актуальна, так как буй вместе с течением могут пройти большое расстояние, их поиск даже при штилевой погоде довольно сложен, потому что плавучий буй видно с борта судна на расстоянии не более 200—300 м. В нашем случае судно выходит прямо на точку последнего зафиксированного местоположения буя, что представляет несомненное преимущество. Веб-приложение можно использовать и с мобильных устройств, что существенно упрощает вылавливание буюв после окончания эксперимента.

Следует учитывать, что покрытие GSM характеризуется неравномерностью и нестабильностью во времени. Необходимо опытным путем определить зону устойчивого сигнала и через пользовательский интерфейс следить, чтобы буй не уходил из указанной зоны. Другой вариант — отправка приемником SMS-сообщения с координатами на мобильный телефон пользователя через заданный промежуток времени; если в назначенный срок датчик находится вне зоны действия сети, то команда будет выполнена сразу, как только появится сеть.

К удобствам использования картографического веб-приложения и ГНСС-мониторинга относится возможность визуального просмотра истории треков и экспорта данных треков в текстовый файл, что позволяет в дальнейшем работать с траекториями буюв в любых программах обработки данных и ГИС. Более полное техническое описание работы этой системы изложено в работе [12].

Измерения скорости течения также проводились с помощью буксируемого в специальной гондоле прибора “ADCP RDI WH Sentinel” (300 кГц), обеспечивающего измерение вертикальных профилей течения в шельфовой зоне на глубине до 250 м. ADCP работал в режиме, позволяющем вычислять реальную скорость течения во время движения судна (bottom tracking). Точность измерения горизонтальных составляющих скорости течения составляла 2—3 см/с с вертикальным разрешением 1,5—2,5 м. В нашем случае буксировка производилась на НИС “Ашамба” 5-ю галсами от берега до бровки шельфа (изобата 200 м).

Результаты исследований и их обсуждение. Рассмотрим результаты трех экспериментов, которые выполнены в районе г. Геленджик на шельфе Черного моря 20, 24 и 29 июня 2013 г.

Пробный запуск 3-х дрейфующих буюв был осуществлен 20 июня 2013 г. в районе Голубой бухты (Геленджик, Краснодарский край). На рис. 2 приведены траектории движения буюв во время эксперимента, продолжительность которого составила около 6 ч. Буй двигались в среднем со скоростью 10—15 см/с, преимущественно в юго-западном направлении.

Для анализа траекторий движения буюв привлечены данные автоматической метеостанции, расположенной на пирсе Голубой бухты на расстоянии 1—2 км от района дрейфа буюв (рис. 2). Привлечение данных этой метеостанции вызвано тем, что локальная метеорологическая обстановка может отличаться от данных сетевых метеостанций Росгидромета, ближайшие из которых находятся в 15—20 км от района запуска буюв. На рис. 3 видно, что до начала эксперимента ветер был северо-восточных румбов, а в течение эксперимента преобладал северный ветер, причем его сила уменьшилась от 6 до 2 м/с, в конце эксперимента вновь стало преобладать северо-восточное направление. Для вычисления скорости и направления ветровых (дрейфовых) течений часто применяют модель Экмана и ее улучшенные версии, согласно которым течение на поверхности отклоняется от направления ветра под углом 10—15° вправо (в Северном полушарии) [10]. Однако в нашем случае можно наблюдать полное согласие движения буюв с направлением ветра. Поскольку наблюдаемая скорость ветра не превышала 6 м/с, то полученные траектории не могли быть вызваны непосредственным влиянием ветра на буй, т.е. они отражают реальное перемещение верхнего слоя воды. Полученный результат свидетельствует о том, что в ряде случаев течение в поверхностном слое вод направлено согласно с ветром.

Дрейфующие буй были выпущены 24.06.2013 в трех точках парами на расстоянии 20—30 м (рис. 3). Расстояние между траекториями буюв, выпущенных рядом, практически не менялось на всем протяжении эксперимента. Отсюда следует важный вывод: в некоторых ситуациях в установившемся потоке движение лагранжевых частиц объемом 1 м³ (объем подводной части дрейфующего буя) выглядит параллельно-струйным. Движение же воды в Черном море, несомненно, сильнотурбулентное, однако объем запущенных частиц, с одной стороны, гасит и усредняет мелкие пульсации скорости, а с другой — так как рассматривается горизонтальный масштаб 5—10 км, то невозможно наблюдать турбулентность более высоких порядков, какова, например, нестабильность ОЧТ (масштаб >50 км). Таким образом, в масштабе 5—10 км можно наблюдать параллельно-струйное движение жидкости.

Запуск буюв сопровождался также измерением течений при помощи буксируемого акустического доплеровского профилографа. На рис. 3 представлены значения скорости течений на глубине 3,2 м (верхний горизонт измерений профилографа), полученные в ходе буксировки, а также траектории 3-х буюв и данные метеостанции на пирсе Голубой бухты. В результате совместного анализа направления течения по дрейфтерам и профилографу можно заключить, что в мористой части исследуемого района направления течений, полученные разными методами, совпадают, а ближе к берегу траектории дрейфтеров отклоняются от направления по профилографу на 40—60° вправо.

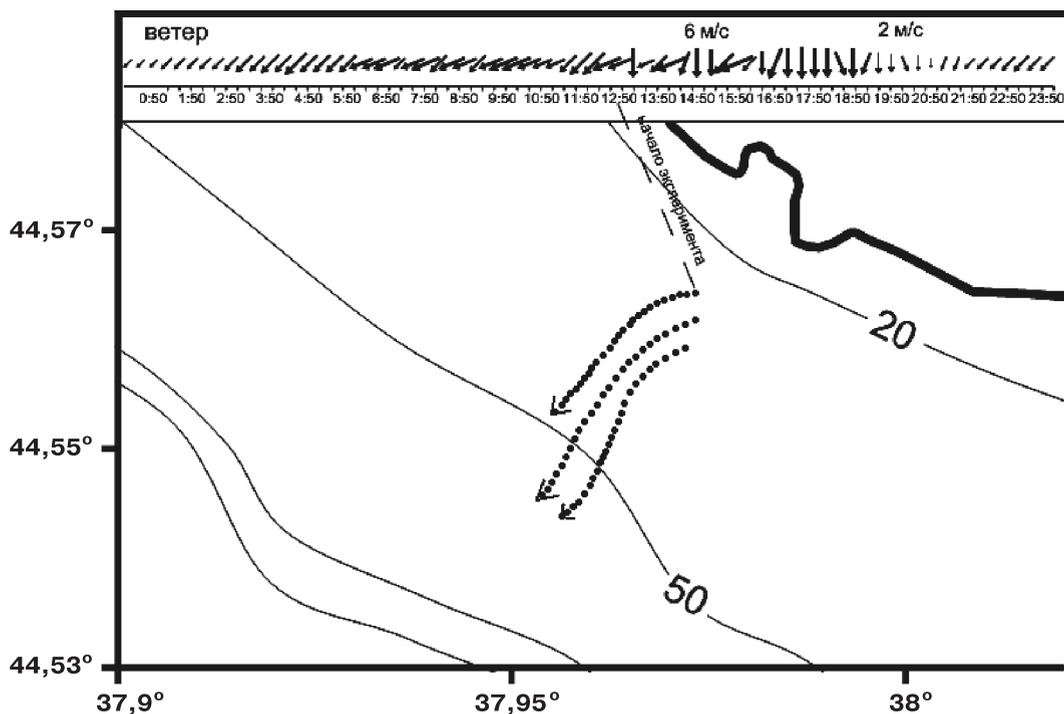


Рис. 2. Траектории движения дрейфующих буев (пунктирные линии), скорость и направление ветра. Дрифтерный эксперимент 20 июня 2013 г.

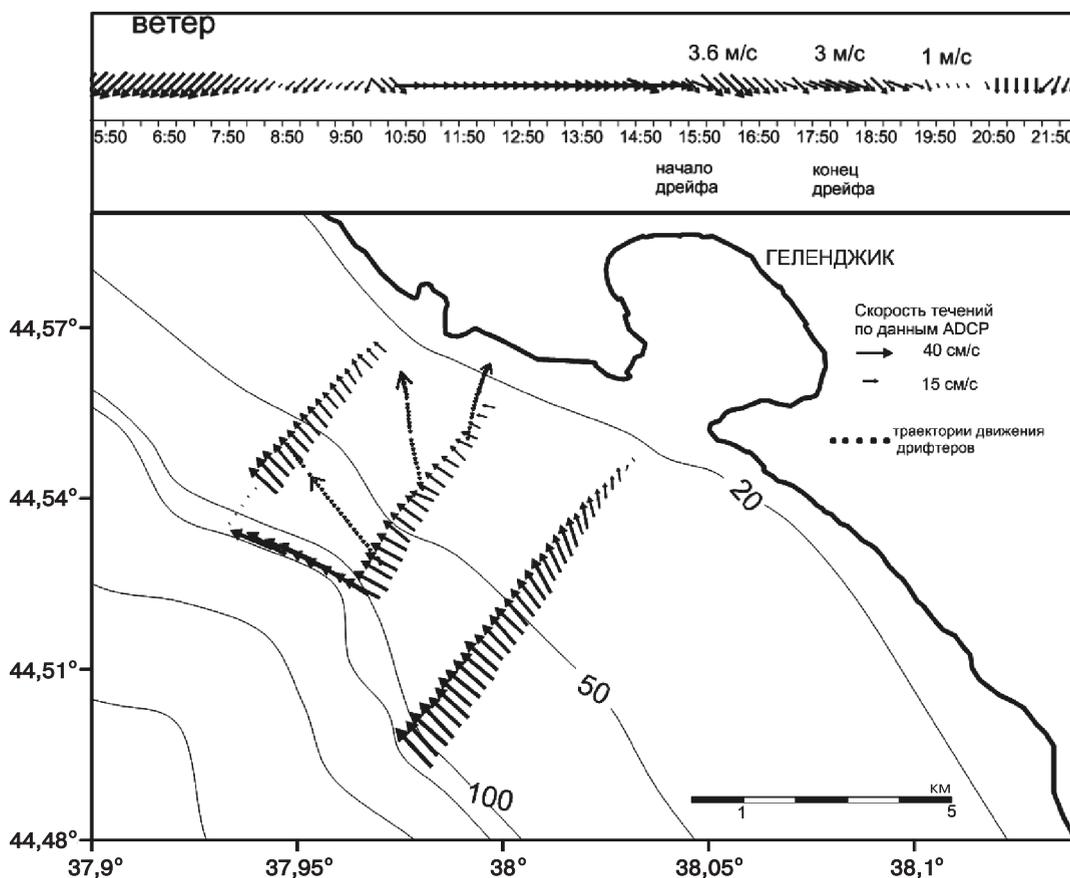


Рис. 3. Траектории дрейфа, векторы скорости по профилографу течений, скорость и направление ветра. Дрифтерный эксперимент 24 июня 2013 г.

Затухание скорости от 35–40 м/с в мористой части до 7–10 см/с наблюдается также по данным обоих методов. С направлением ветра течения практически не связаны, дрейтеры двигались почти против ветра, что связано с малой скоростью ветра и сильным влиянием фонового течения. Отметим, что не совсем корректно сравнивать скорость течений на глубине 1 и 3 м, однако, как видно на рис. 4, течения на этих горизонтах могут быть как одинаковыми, так и отличаться. Теория Экмана вновь не подтверждается, так как течения на глубине 3 м должны отклоняться вправо, а фактически наблюдается обратная картина.

Дрейфующие буи были выпущены 29.06.2013 также в 5 точках парами на расстоянии 20–30 м. Буи запускались во время буксировки профилографа течений, во время которой данные о течениях поступали в режиме реального времени на компьютер. По данным профилографа выделены контуры предполагаемого вихря, а запуск буев был осуществлен по линии, проходящей через центр этого контура.

На рис. 4 представлены траектории 5 буев и векторы течений по данным буксировки профилографа. На этом рисунке видно, что траектории движения буев совпадают с направлением течений по данным профилографа в момент запуска. В целом буи описали трансформированную дипольную вихревую структуру, которая хорошо видна на рис. 4 по данным буев. По данным профилографа удалось однозначно выделить несколько циклонических и антициклонических образований, которые вследствие диссипации энергии выродились в затухающий диполь. Поэтому можно заключить, что дипольная структура просуществовала не менее суток. В конце эксперимента скорость движения буев составляла ≤ 2 –3 см/с, течения практически отсутствовали, о чем также свидетельствовало скопление плавучего мусора. Как и в предыдущих экспериментах, вначале течения выглядели параллельно-струйными, однако к концу эксперимента эта структура нарушилась и буи разошлись на значительное расстояние.

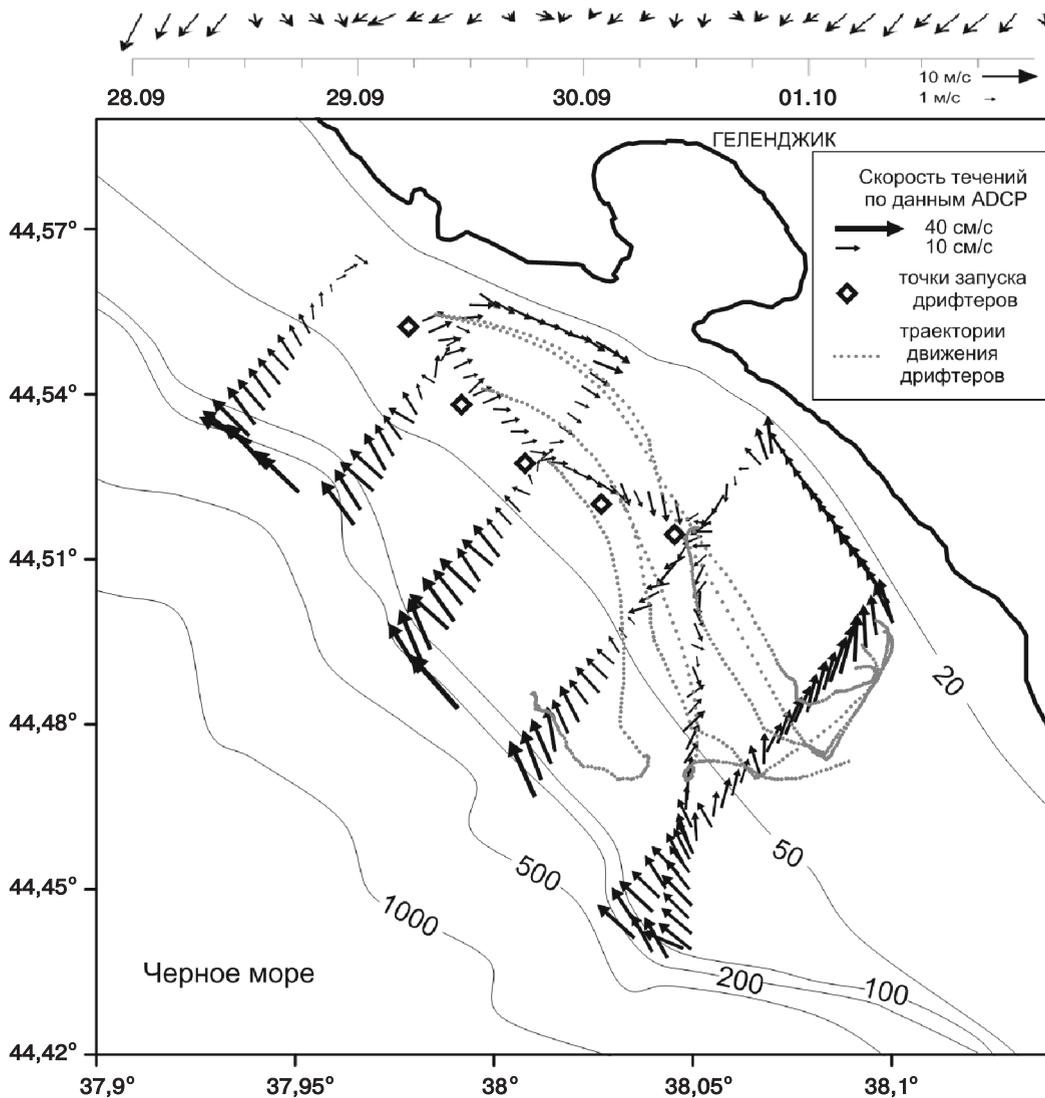


Рис. 4. Траектории дрейфа, вектора скорости по профилографу течений, скорость и направление ветра. Дрейфтерный эксперимент 29–30 сентября 2013 г.

Выводы:

— протестирована система мониторинга поверхностных течений и получены первые результаты. К достоинствам разработанной системы относятся относительно невысокая стоимость экспериментов, высокая пространственно-временная детализация получаемых данных, простота сборки и настройки дрейфующих буев, компактный размер в сложенном виде. Удобен веб-интерфейс ГНСС-приемника “Proma-Sat”, благодаря которому можно в режиме реального времени наблюдать за положением буев. Использование GSM для передачи координат на сервер, с одной стороны, представляет преимущество, так как этот метод намного удобнее, чем использование радиолокационных каналов связи, и дешевле, чем спутниковая связь, однако неравномерное покрытие сетями GSM в некоторых акваториях создает ограничения для ее использования;

— получены первые данные о траекториях движения дрейфующих буев. Анализ информации показал, что течения в прибрежной зоне могут быть направлены строго по ветру в случае отсутствия фонового течения, а в случае сильной вихревой динамики течения направлены в соответствии с главным потоком, с небольшим отклонением при наличии ветра;

— успешно проведены одновременные измерения течений дрейфующими буями и при помощи буксируемого профилографа течений. Течения, полученные разными методами, в целом совпадают по скорости и

направлению. Однако поскольку данные профилографа получены для глубины 3,5 м, а данные буйков соответствуют глубине 1 м, то и отличия в течениях, измеренных разными способами, можно объяснить изменчивостью течений в этих слоях. Это несоответствие горизонтов наблюдения будет ликвидировано в дальнейших экспериментах. Подчеркнем, что акустический доплеровский профилограф измеряет мгновенную скорость в точках, а траектории буев — развитие процесса во времени и пространстве, поэтому в случае сильной изменчивости течений проводить сравнение результатов некорректно;

— отметим, что в ряде случаев в установившемся потоке движение лагранжевых частиц объемом 1 м^3 , выпущенных на близком расстоянии (20—30 м), параллельно-струйное. Это наблюдалось как при устойчивом ветровом дрейфе, так и при движении буев в поле действия субмезомасштабных вихревых структур. Значительное расхождение частиц наблюдалось только при диссипации вихревых структур.

В ближайшее время планируется доработать конструкцию паруса буев, чтобы соотношение надводной и подводной частей составляло 1:40 и соответствовало международным требованиям. Также планируется ряд экспериментов с расположением подводного паруса на разной глубине, что позволит корректнее сравнивать траектории движения буев с данными профилографа течений, а также выявить проявление экмановского сдвига скорости по глубине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архипкин В.С., Шербак С.С. Численное моделирование циркуляции вод в Геленджикской и Голубой бухтах // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2006. № 3 (2). С. 15—20.
2. Журбас В.М., Зацепин А.Г., Григорьева Ю.В. и др. Циркуляция вод и характеристики разномасштабных течений в верхнем слое Черного моря по дрейфтерным данным // Океанология. 2004. Т. 44, № 1. С. 34—48.
3. Зацепин А.Г., Кондрашов А.А., Корж А.О. и др. Субмезомасштабные вихри на кавказском шельфе Черного моря и порождающие их механизмы // Океанология. 2011. Т. 51, № 4. С. 592—605.
4. Зацепин А.Г., Корж А.О., Кременецкий В.В. и др. Изучение гидрофизических процессов на шельфе и верхней части континентального склона Черного моря с использованием традиционных и новых методов измерений // Океанология. 2008. Т. 48, № 4. С. 510—519.
5. Зацепин А.Г., Кременецкий В.В., Пиотух В.Б. и др. Формирование прибрежного плотностного течения из-за пространственно-неоднородного ветрового воздействия // Океанология. 2008. Т. 48, № 2. С. 176—192.
6. Зацепин А.Г., Пиотух В.Б., Корж А.О. и др. Изменчивость поля течений в прибрежной зоне Черного моря по измерениям донной станции ADCP // Океанология. 2012. Т. 52, № 5. С. 629—642.
7. Кривошея В.Г., Москаленко Л.В., Титов В.Б. К вопросу о режиме течений на шельфе северо-кавказского побережья Черного моря // Океанология. 2004. Т. 44, № 3. С. 358—363.
8. Кривошея В.Г., Овчинников И.М., Титов В.Б. и др. Динамика вод и изменчивость температуры воды у северокавказского побережья Черного моря // Океанология. 1996. Т. 36, № 3. С. 355—363.
9. Кривошея В.Г., Плахин Е.А., Савин М.Т., Титов В.Б. О внутрigoдовой изменчивости течений на шельфе кавказского побережья Черного моря // Океанология. 1980. Т. 20, № 1. С. 34—39.
10. Лебедев В.Л. Введение в теорию морских течений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 128 с.
11. Мотыжев С.В., Лунев Е.Г., Толстошеев А.П. Развитие дрейфтерных технологий и их внедрение в практику океанографических наблюдений в Черном море и Мировом океане // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: НПЦ “ЭКОСИ-Гидрофизика”, 2011. Вып. 24. С. 259—273.
12. Мысленков С.А., Самсонов Т.Е. Исследование течений на шельфе Черного моря с помощью ГНСС-мониторинга // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 3. С. 60—68.
13. Овчинников И.М., Титов В.Б. Антициклоническая завихренность течений в прибрежной зоне Черного моря // Докл. АН СССР. 1990. Т. 314, № 5. С. 1236—1239.
14. Руководство по гидрологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977.
15. Титов В.Б. Характеристики Основного черноморского течения и прибрежных антициклонических вихрей в российском секторе Черного моря // Океанология. 2002. Т. 42, № 5. С. 668—676.

16. Korotaev G.K., Oguz T., Nikiforov A., Koblinsky C. Seasonal, interannual, and mesoscale variability of the Black Sea upper layer circulation derived from altimeter data // *J. Geophys. Res.* 2003. Vol. 108, N 4. P. 22—31. doi: 10.1029/2002JC001508.

17. Stanev E.V., Staneva J.V. The sensitivity of the heat exchange at sea surface to meso and sub-basin scale eddies. *Model*

study for the Black Sea // *Dyn. Atm. and Oceans.* 2001. Vol. 33. P. 163—189.

18. Tolstosheev A.P. A method of estimation of the results of reconstruction of the trajectories of drifting buoys // *Physical Oceanography.* 2010. Vol. 19, N 6. P. 358—365.

Поступила в редакцию
04.06.2014

S.A. Myslenkov, A.G. Zatsepin, K.P. Silverstova, V.I. Baranov

APPLICATION OF DRIFT BUOYS AND TOWED PROFILER FOR INVESTIGATION OF CURRENTS WITHIN THE BLACK SEA CONTINENTAL SHELF

Results of testing of the system of surface currents monitoring based on tracing the trajectories of drift buoys equipped with GPS-receivers and GSM connection. The principal advantage of the system is the low cost of equipment and the detailed spatial and temporal information about the currents. The GSM connection provides for the on-line observation of the movement of drift buoys.

Surface currents within the Black Sea continental shelf near the town of Gelendzhik were studied using drift buoys and towed current profiler. Data of three experimental launches of drifting buoys are presented, as well as the comparison of their trajectories with the current velocity field produced by current profiler. The experiments lasted for several hours to two days. Information of wind velocity and direction is presented for each of them. Parallel jet currents were identified in the area of study; the buoys launched at 30—40 m from one another moved practically along the parallel directions for 5 to 10 hours. During one experiment a dipole typical for sub-mesoscale cyclonic dynamics of the region under study was observed. The dipole was probably the result of energy dissipation and destruction of a cyclone which occurred at the beginning of the experiment. The field of current had no correlation with that of wind during the experiment. In other case, however, the directions of surface current and the wind were the same, suggesting just periodic influence of cyclones on water dynamics. Surface currents identified by the current profiler data demonstrate generally good correlation with the data of drift buoys. Application of different methods allows multiply interpretation of the circulation patterns.

The experimental data prove the efficiency of proposed system of current monitoring, which allows investigating the structure of currents on the continental shelf. Wider and longer experiments are planned for the future.

Key words: drift buoy, towed current profiler, continental shelf, marine currents, the Black Sea.

ЮБИЛЕИ

ЮБИЛЕЙ ЭММЫ ПЕТРОВНЫ РОМАНОВОЙ

14 ноября 2009 г. — юбилей у профессора Эммы Петровны Романовой, заведующей кафедрой физической географии мира и геоэкологии, заслуженного работника высшей школы Российской Федерации, заслуженного профессора МГУ, академика Российской экологической академии, регионального члена Комиссии по образованию Международного географического союза.

Эмма Петровна — известный физико-географ, ведущий специалист по физической географии мира и Европы. Ее научная, педагогическая и организаторская деятельность неразрывно связана с географическим факультетом МГУ имени М.В. Ломоносова. Научные интересы Э.П. Романовой лежат в области теории антропогенного ландшафтоведения, оценки природно-ресурсного потенциала, фундаментальных исследований природно-антропогенных геосистем на глобальном и макрорегиональном уровнях. Значителен вклад Э.П. Романовой в разработку мелкомасштабной систематики и картографирования современных ландшафтов мира и Европы, агроландшафтных систем. Под руководством Э.П. Романовой на кафедре проведены серии глобальных и материковых исследований по геоэкологической оценке состояния современных ландшафтов суши. С результатами научных исследований Э.П. Романова неоднократно выступала на многочисленных конференциях и съездах, включая международные. Эммой Петровной опубликовано около 200 научных работ, 9 монографий, причем свыше 25 публикаций — на иностранных языках.

Эмма Петровна — вдумчивый педагог и блестящий лектор. Она разработала и в течение многих лет преподает основные курсы кафедры “Современные ландшафты материков”, “Природные ресурсы мира”, “Региональная геоэкология”, “Глобальные геоэкологические проблемы” и др. Она читала лекции в университетах Рима, Флоренции, Варшавы, Лиссабона, а также в Белгороде, Смоленске, Саранске, Севастополе и др. Она научный редактор и один из авторов учебников “Физическая география материков и океанов” (2014), “Природные ресурсы мира” (1993), автор учебного пособия “Современные ландшафты Европы” (1997). Прекрасный знаток ландшафтов зарубежной Европы, Эмма Петровна воспитала не одно поколение студентов и аспирантов. Под ее научным

руководством коллектив кафедры провел общероссийскую научную конференцию “Инновации в геоэкологии: теория, практика, образование” (2010) и молодежную школу “Перспективы геоэкологии после Рио+20”.

Многогранна учебно-методическая деятельность профессора Э.П. Романовой. Ей принадлежит важная роль в создании и развитии системы высшего географического и экологического образования в нашей стране. Более 40 лет она является заместителем председателя учебно-методического совета по экологии и географии Учебно-методического объединения по классическому университетскому образованию России. Э.П. Романова непосредственно руководила и активно участвовала в разработке четырех поколений государственных образовательных стандартов по географическим и экологическим специальностям и направлениям, в составлении типовых учебных планов, программ обязательных дисциплин. Эмма Петровна имеет свыше 20 публикаций по вопросам высшего экологического образования, в том числе на иностранных языках. Она руководила реализацией многочисленных проектов в области развития географического и экологического образования, образования в интересах устойчивого развития. В 2006—2007 гг. она успешно координировала выполнение на географическом факультете масштабного проекта “Формирование системы инновационного образования в МГУ имени М.В. Ломоносова” в рамках национального приоритетного проекта “Образование”.

Плодотворная научная и научно-организационная деятельность Эммы Петровны Романовой неоднократно отмечена премиями Минвуза СССР. Э.П. Романова — лауреат премии Правительства Российской Федерации (2001) за создание системы экологического образования.

Прекрасный педагог, талантливый исследователь, требовательный руководитель и организатор, Эмма Петровна пользуется заслуженным уважением на факультете и кафедре. Друзья и коллеги от всей души поздравляют Эмму Петровну с юбилеем и желают ей отличного здоровья, благополучия, реализации новых идей и многих лет активной работы на географическом факультете.

Коллектив географического факультета

70-ЛЕТИЕ ЕВГЕНИЯ КОНСТАНТИНОВИЧА СЕМЕНОВА

В ноябре 2014 г. исполнилось 70 лет доктору географических наук, профессору кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Евгению Константиновичу Семенову.

Окончив в 1966 году МГУ и отслужив в армии, Е.К. Семенов с 1973 г. бессменный сотрудник кафедры, где он прошел путь от аспиранта до профессора (в должности профессора он работает более 20 лет). На основе научных исследований Е.К. Семенова, его учеников и соратников успешно развивается университетская школа синоптической метеорологии, основы которой были заложены его учителем профессором С.П. Хромовым.

Научные интересы Е.К. Семенова включают исследование общей циркуляции атмосферы, тропической метеорологии, изучение аномалий метеорологического режима. Евгений Константинович — автор более 100 научных публикаций. Под его руководством подготовлено 7 кандидатов наук.

Е.К. Семенов преподавал синоптическую метеорологию, руководил более 10 лет полевой специальной практикой по метеорологии. В последнее десятилетие он преподает курс “Климатология с основами метеорологии” для общего потока студентов географического факультета МГУ. В филиале МГУ в Астане (Казахстан) он читает курс “Учение об атмосфере”. Глубокое знание предмета, увлеченность и энтузиазм всегда привлекают слушателей, под обаяние этого блестящего лектора попадают не только студенты, но и слушатели его выступлений на конференциях и ученых советах.

Желаем Евгению Константиновичу доброго здоровья, благополучия, неиссякаемой энергии, бодрости духа, достойных соратников и продолжателей научного направления!

Редколлегия журнала

НЕКРОЛОГ

АЛЛА КОНСТАНТИНОВНА ДАНИЛЕНКО (1943—2014)

26 сентября 2014 г. ушла из жизни Алла Константиновна Даниленко — известный российский зоогеограф, кандидат географических наук, старший научный сотрудник кафедры биогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Свою научную деятельность А.К. Даниленко начала под руководством А.М. Чельцова-Бебутова — одного из основоположников советской школы зоогеографического картографирования. Еще студенткой она принимала активное участие в работах по созданию Комплексного регионального атласа Северного Казахстана (1970). После окончания университета в 1966 г. А.К. Даниленко пришла работать на кафедру биогеографии, с которой связала свою дальнейшую судьбу. В 1971 г. она поступила в аспирантуру факультета, досрочно ее закончила и успешно защитила кандидатскую диссертацию на тему “Картографический анализ структуры ареалов жаворонков Северного Казахстана”. С 1978 г. А.К. Даниленко работала младшим научным сотрудником, а с 1980 г. и вплоть до выхода на пенсию в 2008 г. старшим научным сотрудником кафедры.

В Комплексном географическом атласе Алтайского края (1978) опубликовано 10 карт, в разработке и составлении которых она принимала самое активное участие. В рамках крупномасштабного проекта переброски части стока вод сибирских рек в бассейн Аральского моря в 1974—1986 гг. А.К. Даниленко ежегодно принимала участие в длительных экспедициях по изучению биологических ресурсов аридных территорий Казахстана и Туркмении. Результаты этих исследований опубликованы, в том числе в тематическом сборнике “Природа Срединного региона СССР” (1980).

Алла Константиновна стала достойным продолжателем направления в картографировании животного мира, основанного А.М. Чельцовым-Бебутовым. Она развивала его, апробируя на разных территориях и для разных групп животных, разрабатывала новые подходы. А.К. Даниленко со своими учениками создала трофико-размерную классификацию и унифицированные шкалы обилия наземных позвоночных, необходимые для придания легендам карт компактности и большей информативности, а также средства обработки этой информации. Созданная Аллой Константиновной совместно с учениками и коллегами в процессе многолетней (с начала 1990-х гг.) и кропот-

ливой работы компьютерная база данных по наземным позвоночным животным России стала основой геоинформационной системы “Население наземных позвоночных животных России”. В дальнейшем эти методические разработки были применены и для территории Казахстана. Они подробно освещены в ряде журнальных публикаций и в обобщающих статьях в сборниках “Биогеография в Московском университете. 60 лет кафедре биогеографии” (2008) и “Вопросы географии. Сборник 134. Актуальная биогеография” (2012). Основным итогом стали многочисленные (более 50) и разнообразные по содержанию карты животного мира в ряде региональных атласов России, а также в Национальном атласе России (2007) и Большом атласе Казахстана (2011).

Алла Константиновна принимала активное участие во всех значимых проектах выполняемых кафедрой, а также вела активную педагогическую работу. Более 25 лет она читала курс систематики и географии птиц для студентов-биогеографов, который лег в основу написанного ею учебного пособия “Систематика и география птиц” (2002). Несколько лет подряд Алла Константиновна проводила студенческие практики в Северном Казахстане. Она руководила многочисленными курсовыми и дипломными работами студентов, а также кандидатскими диссертациями. Защищенные под ее руководством работы отличаются глубоким пониманием предмета, логичностью построения и завершенностью. К ней обращались за консультациями и соискатели, выполнявшие докторские диссертации. Ею опубликовано более 150 научных работ.

Несмотря на то что Алла Константиновна в последние годы жизни тяжело болела, она поддерживала связь с кафедрой и продолжала трудиться. До последних дней она работала над проектом “Оценка изменения биоразнообразия фауны птиц Европейской России с XVIII по XXI вв.” и картами “Животный мир” и “Миграции птиц” для электронного атласа Каспийского моря. Алла Константиновна была очень скромным и добрым человеком, ответственным и принципиальным в научных изысканиях.

Светлая память о замечательном ученом, добром, отзывчивом человеке, всегда бескорыстно приходившем на помощь, останется в памяти и сердцах ее учеников, коллег и друзей.

Редколлегия журнала

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ И МАТЕРИАЛОВ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ в 2014 г.

	№	Стр.
К 100-летию со дня рождения Николая Андреевича Гвоздецкого	1	3
<i>Теория и методология</i>		
Голубев В.Н. Формирование ледового покрова на пресноводных водоемах и водо- токах.	2	9
Кузнецова О.В. Типология факторов социально-экономического развития ре- гионов России	2	3
Махрова А.Г. Особенности стадийного развития Московской агломерации	4	10
Михайлов В.Н., Исупова М.В. Гидрологические, морфологические и экологиче- ские следствия сопряжения Волги и Каспийского моря	1	8
Рычагов Г.И. Хвалынский этап в истории Каспийского моря.	4	3
Умывакин В.М. Квалиметрические модели оценки экологической опасности дляприродно-хозяйственных систем.	1	17
Шполянская Н.А. О механизмах формирования подземных пластовых льдов (критический анализ сегрегационного механизма)	6	
Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. Гир- канский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря	3	3
<i>География и экология</i>		
Авессаломова И.А., Дьяконов К.Н., Савенко А.В., Харитоно- ва Т.И. Геохимическая трансформация постмелиорированных ландшафтов	2	17
Безухов Д.А., Беляев В.Р., Иванова Н.Н. Количественная оценка интен- сивности и направленности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабаты- ваемых склонах в пределах бассейна р. Плава (Тульская область).	6	
Гречушникова М.Г., Пуклакова Н.Г., Эдельштейн К.К. Возможное изменение гидрологического режима Цимлянского водохранилища при потепле- нии климата	4	17
Еремина И.Д., Чубарова Н.Е., Алексеева Л.И., Суркова Г.В. Кис- лотность и химический состав осадков на территории Московского региона в теп- лый период года	5	3
Ерина О.Н. Прогностические оценки изменения кислородного режима и качества воды в Можайском водохранилище в экстремально жаркую погоду	6	
Иванова Н.Н., Шамшурина Е.Н., Голосов В.Н., Беляев В.Р., Мар- келов М.В., Парамонова Т.А., Эврар О. Оценка перераспределения ¹³⁷ Cs экзоген- ными процессами в днище долины р. Плава (Тульская область) после аварии на Чернобыльской АЭС	1	24
Корбут В.В., Цекина М.И. Виртуальные маршруты в экологическом просве- щении.	3	10
Кравцова В.И. Антропогенная нарушенность дюнных ландшафтов Анапской пересыпи по космическим снимкам высокого разрешения	5	12
Рубина Е.А. Картографирование экологических правонарушений	1	35
<i>География мирового хозяйства</i>		
Самусенко Д.Н. Географический анализ процессов прямого инвестирования в со- временном мировом хозяйстве	1	42
<i>Методы географических исследований</i>		
Алексеевко Н.А. Методические особенности картографического обеспечения природоохранной деятельности особо охраняемых территорий России	1	52
Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Методика дешифрирования разновремен- ных космических снимков в тепловом инфракрасном диапазоне.	3	35

Борисова О.К., Новенко Е.Ю. Реконструкция растительности и климата в предмикулинское позднеледниковье по палинологическим данным.	5	30
Варюшин П.С. Методы исследования географии политических предпочтений населения США.	4	42
Зимин М.В., Тутубалина О.В., Голубева Е.И., Рис Г.У. Методика наземного спектрометрирования растений Арктики для дешифрирования космических снимков.	4	34
Зырянов А.И. Систематизация туристских таксонов.	3	16
Карлова Е.В., Зюзин П.В. Локальные сообщества жителей в условиях транспортных городских барьеров.	5	36
Кельман Ю.Ф. Географический анализ этнокультурного разнообразия населения США.	5	22
Книжников Ю.Ф., Балдина Е.А. Особенности восприятия аэрокосмической стереомодели на экране персонального компьютера.	1	49
Ляшенко Е.В. Влияние новых форм организации пассажирских перевозок между Москвой и Санкт-Петербургом на их транспортную доступность.	3	30
Малыгин И.В. Методика прогноза образования ледовых заторов на реках на основе теории распознавания образов.	3	43
Малышева Н.В., Золина Т.А., Владимирова Н.А. Локальный картографический сервис для визуализации статистических данных о лесах России.	6	
Новенко Е.Ю., Цыганов А.Н., Волкова Е.М., Бабешко К.В., Мазей Ю.А. Динамика ландшафтов и климата на северо-западе Среднерусской возвышенности в голоцене.	6	
Прохорова Е.А., Уколова М.Н. Картографирование морского транспорта Российской Федерации.	1	58
Торопов П.А., Шестакова А.А. Тестирование мезомасштабной модели (WRF) для задачи прогноза новороссийской боры.	3	23

Региональные исследования

Антонов Е.В., Денисов Е.А., Ефремова В.А., Фаддеев А.М. Современные проблемы развития убывающих городов на северо-востоке Республики Коми.	2	55
Болиховская Н.С., Поротов А.В., Кайтамба М.Д., Фаустов С.С. Развитие природной среды и климата в районе черноморской дельты Кубани за последние 7 тысяч лет.	1	64
Борщенко Е.В., Чалов Р.С. Особенности формирования и гидролого-морфологическая характеристика русел рек бассейна Амура.	1	83
Виноградов И.В. Территориальная организация сферы услуг в Твери.	5	74
Герасимова М.И., Касимов Н.С., Горбунова И.А., Богданова М.Д., Рябова Н.В., Лычагин М.Ю. Ландшафтно-геохимическое районирование бассейна Селенги.	6	
Горохов С.А. Религиозная мозаичность как фактор экономического развития регионов современного мира.	4	56
Гуринов А.Л., Лукашов А.А., Рогов В.В. Особенности разрушения (выветривания) гранитов Забайкалья.	2	49
Добролюбов С.А., Климчук Е.И. Свердруповский перенос вод в Северной Атлантике.	2	25
Дубовик В.О. Оценка транспортной доступности городов Уругвая и Боливии.	3	57
Иванов М.М., Краснов С.Ф., Беляев В.Р., Сафаров Х.Н. Оценка скорости плоскостного смыва на малом водосборе в предгорной зоне Каратегинского хребта (Центральный Таджикистан).	3	64
Калиниченко А.В. Пространственная модель развития экотуризма в Юго-Западном Крыму.	5	62
Козырева М.С. Геохимические параметры ландшафтов Урскульской котловины (Центральный Алтай).	5	67
Кравцова В.И., Михайлов В.Н. Дельта Замбези и ее изменения под воздействием водохранилищ.	3	48

Краюшкин Е.В., Демидов А.Н. Глобальное изменение термохалинных характеристик промежуточных, глубинных и донных водных масс в Южной Атлантике	2	32
Магрицкий Д.В. Пространственно-временные характеристики наводнений на черноморском побережье Российской Федерации	6	
Мысленков С.А., Зацепин А.Г., Сильвестрова К.П., Баранов В.И. Использование дрейфующих буев и буксируемого профилографа для исследования течений на шельфе Черного моря	6	
Огуреева Г.Н., Бочарников М.В. География разнообразия бореальных лесов у южной границы распространения и их картографирование (горы Южной Сибири и Монголии)	5	53
Письменная Е.Е., Рязанцев С.В., Тикун В.С. Географические особенности трудовой миграции в контексте евразийской интеграции	5	42
Поротов А.А., Мысливец В.И., Зинько В.Н., Зинько А.В., Гайнанов В.Г., Зверев А.С. Развитие рельефа побережья Керченского пролива в районе мыса Камыш-Бурун в позднем голоцене (по данным геoarхеологических и сейсмоакустических исследований)	2	41
Савоскул М.С., Мозгунов Н.А., Пивовар Г.А. Социально-экономическая трансформация малых городов Нечерноземья (на примере Калужской области)	2	62
Самбурова Е.Н. Региональные диспропорции современного развития экономики Китая	4	49
Судакова Н.Г., Немцова Г.М., Глушанкова Н.И. Палеогеографические закономерности изменчивости состава морен в центральной части Восточно-Европейской равнины	4	62
Темиргалеев Р.Ф. Влияние иммиграции на сдвиги в размещении этнорасовых групп населения США в 2000-е гг.	6	
Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., рец Е.П., Лошакова Н.А., Поповнин В.В., Васильчук Ю.К. Вариации изотопно-кислородного состава талого стока ледника Джанкуат на Центральном Кавказе	6	
<i>География городов</i>		
Землянский Д.Ю., Ламанов С.В. Сценарии развития монопрофильных городов России	4	69
Имангалин А.Ф. Прогноз размещения торговых центров в крупных российских агломерациях	4	83
Пилька М.Э., Слук Н.А. Размещение представительств крупнейших транснациональных корпораций в глобальных городах США	4	75
<i>Методика преподавания</i>		
Книжников Ю.Ф. Дистанционное зондирование и проблемы аэрокосмической подготовки университетских географов-картографов	5	80
<i>Юбилеи</i>		
Юбилей Натальи Андреевны Володичевой	2	68
Юбилей Тамары Алексеевны Яниной	2	69
Юбилей Нины Ивановны Глушанковой	3	72
Юбилей Эммы Петровны Романовой	6	
90-летие Георгия Ивановича Рычагова	2	70
85-летие Юрия Фирсовича Книжникова	3	72
80-летие Балиса Балио Серапинаса	4	91
75-летие Валериана Афанасьевича Снытко	2	71
75-летие Артура Николаевича Чилингарова	5	83
70-летие Александра Николаевича Геннадиева	5	83
70-летие Евгения Константиновича Семенова	6	
60-летие Сергея Ивановича Большова	2	72
60-летие Юрия Кирилловича Васильчука	2	73
60-летие Андрея Владимировича Бредихина	5	84

Потери науки

Эмиль Борисович Валеv	5	85
Владимир Александрович Николаев	5	85
Алла Константиновна Даниленко	6	

История науки

К 90-летию со дня рождения Г.И. Лазукова	1	83
--	---	----

Хроника

В диссертационных советах географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова за 2013 г.	4	93
Рыбальский Н.Г., Тикунoв В.С. Форум “Арктика — территория диалога” . . .	2	74
Янина Т.А. О новой стратиграфической шкале четвертичной системы	1	85

Новые книги

Кислов А.В. Учебное пособие по геохимии стабильных изотопов атмосферы и гидросферы	2	76
Малхазова С.М. Фундаментальное издание “Атлас-книга Воронежской области”	3	74
Чалова Е.Р., Скарятин В.Д. Устья рек России на космических снимках	4	95

