

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

- Попова В.В., Мацковский В.В., Михайлов А.Ю. Современные изменения климата суши внетропической зоны Северного полушария 3

География и экология

- Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сомов В.В., Митрофанова Е.С., Кукушкин С.Ю. Влияние разработки Сибайского месторождения (Южный Урал) на трансформацию потока металлов в подчиненных ландшафтах 14
- Табелинова А.С. Геоэкологические процессы на территории северо-восточного Прикаспия (Атырауская и Мангыстауская области Казахстана) 25

Методы географических исследований

- Ермолаева П.О., Кузнецова И.Б. Общественные оценки социально-экономических последствий изменения климата по материалам Республики Татарстан 33
- Яблоков В.М. Геоинформационный анализ структуры и динамики природно-экологического каркаса Москвы на основе открытых геоданных 42
- Серга Э.Н. Особенности распределения однородных зон в полях гидрометеорологических характеристик над Северотихоокеанским регионом в холодный период года 49
- Белова Е.Д. Территориальные различия в уровне развития киноиндустрии стран мира 57
- Лазаренко В.А. Корпоративная социальная ответственность крупного бизнеса в России 66

Региональные исследования

- Авессаломова И.А., Иванов А.Н., Савенко А.В. Водная миграция химических элементов в ландшафтах вулканических островов Центральных Курил (на примере о. Матуа) 73
- Васильчук Ю.К., Чижова Ю.Н., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Облогов Г.Е. Изотопный состав снежников и ледников Полярного Урала ... 81
- Магрицкий Д.В., Евстигнеев В.М., Юмина М.Н., Торопов П.А., Кенжебаева А.Ж., Ермакова Г.С. Изменения стока в бассейне р. Урал 90
- Путилова Е.С. Географические особенности деиндустриализации США во второй половине XX века 102

Краткие сообщения

- Каширина Е.С., Голубева Е.И. Ландшафтная репрезентативность особо охраняемых природных территорий Севастополя 108
- Юбилей (Е.И. Игнатов) 112

CONTENTS

Theory and methodology

- Popova V.V., Matskovsky V.V., Mikhailov A.Yu. Recent climate change over the terrestrial part of extra-tropical Northern Hemisphere zone 3

Geography and ecology

- Opekunov A.Y., Opekunova M.G., Somov V.V., Mitrofanova E.S., Kukushkin S.Y. Influence of the exploitation of Sibay deposit (the Southern Urals) on the transformation of metal migration in subordinate landscapes 14
- Tabelinova A.S. Geoecological processes in the Northeastern Caspian Sea region (Atyrau and Mangystau regions of the Republic of Kazakhstan) 25

Methods of geographical studies

- Ermolaeva P.O., Kuznetsova I.B. Public assessment of social and economic effects of climate change based on the case of the Republic of Tatarstan 33
- Yablokov V.M. GIS-based analysis of structure and dynamics of the Moscow urban environmental infrastructure using the open geodata 42
- Serga E.N. Distribution of homogenous domains in the fields of hydrometeorological parameters over the North Pacific Ocean during cold period of the year 49
- Belova E.D. Geographical differences in the development of national film industries 57
- Lazarenko V. A. Corporate social responsibility of large business in Russia 66

Regional studies

- Avessalomova I.A., Ivanov A.N., Savenko A.V. Water migration of chemical elements in the landscapes of volcanic islands of the Central Kuriles (case study of the Matua Island) 73
- Vasil'chuk Yu. K., Chizhova Ju. N., Budantseva N. A., Vasil'chuk A. C., Oblogov G. E. Stable isotope composition of snow-patches and glaciers in the Polar Urals 81
- Magritsky D.V., Evstigneev V.M., Yumina N.M., Toropov P.A., Kenzhebayeva A.Zh., Ermakova G.S. Changes of runoff in the Ural River basin 90
- Putilova E.S. Geographical features of deindustrialization in the USA in the second half of the 20th century 102

Short communications

- Kashirina E.S., Golubeva E.I. The landscape representativeness of nature protection areas in Sevastopol 108
- Jubilee* (E.I. Ignatov) 112

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 551.583; 551.513.3

В.В. Попова¹, В.В. Мацковский², А.Ю. Михайлов³

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА СУШИ ВНЕТРОПИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

Рассматривается связь изменений приземной температуры на суше внетропической зоны Северного полушария с вариациями крупномасштабной атмосферной циркуляции, выраженными индексами из архива Northern Hemisphere Teleconnection Patterns. Приводятся результаты анализа множественной регрессии, которые показывают, что наблюдаемые с середины XX в. изменения температуры зимнего сезона, включая ее резкий рост с начала 1970-х до середины 1990-х гг. и сменившую его паузу в потеплении, почти полностью объясняются вариациями крупномасштабной циркуляции, описываемыми индексами Северо-Атлантического (NAO), Тихоокеанско-Североамериканского (PNA), Скандинавского (SCAND) колебаний. В смене фаз современного потепления проявляются различия в режиме влияния центров действия атмосферы на изменчивость температуры, что позволяет говорить о смене режимов крупномасштабной циркуляции. Меридиональная циркуляция с преобладающим влиянием тихоокеанских ЦДА, описываемых индексом PNA, в начале 1970-х гг. сменилась зональной циркуляцией, связанной с возросшей ролью североатлантических ЦДА (NAO). С середины 1990-х годов вновь возрастает интенсивность меридиональной циркуляции, но в этот период, в отличие от 1950–1970 гг., она связана с ЦДА SCAND, то есть полярными широтами восточной Атлантики и прилегающим сектором Северного Ледовитого океана и арктического побережья.

Ключевые слова: центры действия атмосферы, циркуляционные индексы, температура приземного воздуха, изменчивость, тренды, множественная регрессионная зависимость.

Введение. Крупномасштабные положительные аномалии зимней температуры на территории Северной Евразии внесли основной вклад в рост глобальной температуры с начала 1970-х до середины 1990-х гг. С середины 1990-х в течение почти 20 лет, согласно данным инструментальных наблюдений [Второй оценочный доклад Росгидромета, 2014], на севере Евразии увеличилась повторяемость аномально холодных зим, что отразилось в замедлении темпов роста приземной температуры в масштабе полушария [IPCC, 2013] и позволило говорить о паузе в глобальном потеплении, причины которого связывают как с сокращением площади арктических морских льдов и повышением температуры поверхности океана на севере Атлантики [Семенов, 2015; Semenov, Latif, 2015; Petoukhov, Semenov, 2010], так и с аномалиями в распределении теплосодержания верхних слоев Тихого океана [England et al., 2014; Trenberth and Fasullo, 2013].

Основным фактором изменчивости и регионального распределения температуры и осадков внетропических широт является крупномасштабная атмосферная циркуляция. Смена направлений переноса воздушных масс и атмосферных вихрей (циклонов и антициклонов, их интенсивности и продолжительности действия) вызывает погодные аномалии, которые при осреднении проявляются как климатичес-

кие аномалии различного временного и пространственного масштаба и демонстрируются в виде изменений средней по полушарию приповерхностной температуры. Наиболее характерным процессом в режиме атмосферной циркуляции, определяющем частоту, интенсивность и другие параметры таких атмосферных образований, как циклоны и антициклоны, является усиление и ослабление зонального переноса. Влияние этих процессов проявляется в региональной структуре климатических аномалий, в первую очередь, зимней температуры на севере континентов Северного полушария [Попова, Шмакин, 2010; Thompson, Wallace, 1998]. Для внетропической зоны СП в целом показателем интенсивности зонального переноса, как известно, является индекс Арктического колебания, для севера Атлантики она выражается индексом Северо-Атлантического колебания (North Atlantic Oscillation – NAO). Особенности этого центра действия атмосферы (ЦДА) и его связь с современными изменениями климата изучается давно [Zveryaev and Gulev, 2009; Popova, 2007; Marshall et al., 2001; Pozo-Vazquez et al., 2001; Hurrell, 1995]. В конце 1980-х количественный показатель NAO был получен при разложении вариаций поля высоты геопотенциала 700 гПа по эмпирическим ортогональным функциям с применением процедуры вращения [Barnston, Livezey, 1987]. Такой

¹ Институт географии Российской академии наук, лаборатория климатологии, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: valeria_porova@mail.ru

² Институт географии Российской академии наук, отдел гляциологии, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: matskovsky@igras.ru

³ Институт географии Российской академии наук, лаборатория климатологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: miha_ku@mail.ru

способ описания атмосферной циркуляции дает наиболее полное представление об изменчивости поля давления внетропической зоны Северного полушария, включая его региональные структуры, или ЦДА. Он позволил выявить ряд мод и соответствующих ЦДА, получивших общее название Northern Hemisphere Teleconnection Patterns (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc>). Изучение их статистической структуры и повторяемости указывает, что механизмы телеконнекции полушарного масштаба проявляются как на низких частотах – от 20–30 суток и более [Athanasiadis et al., 2009; Benedict and Feldstein, 2004; Rennert and Wallace, 2009], так и на возмущениях синоптического масштаба [Benedict and Feldstein, 2004].

Отмеченные циркуляционные моды описывают изменчивость поля давления, которая является непосредственным фактором формирования региональных погодно-климатических аномалий и их многолетних тенденций внетропических широт. В свою очередь, эта изменчивость может быть обусловлена как внутренним взаимодействием в системе атмосфера–океан–суша, так и внешними факторами, способными оказывать влияние на климатическую систему. Первое связано, главным образом, с аномалиями в распределении температуры поверхности океана, описываемыми климатическими модами АМО (Atlantic Multidecadal Oscillation), PDO (Pacific Decadal Oscillation), IPO (Interdecadal Pacific Oscillation), SOI (Southern Oscillation Index) и др. Возможные механизмы таких связей обсуждаются достаточно давно [Arpe et al., 2000; Mokhov and Smirnov, 2006; Trenberth and Fasullo, 2013]. Влиянию внешних факторов, включая естественные (орбитальные и солярные) и антропогенные (рост содержания парниковых газов) на интенсивность атмосферной циркуляции, выражаемую индексами АО, NAO, также уделялось немало внимания, но этот вопрос все еще остается дискуссионным и выходит за рамки данной статьи.

Выяснение роли и сравнительного вклада ЦДА в изменения средней температуры материков внетропических широт Северного полушария и их региональные особенности на всех этапах современного потепления позволит судить о механизмах формирования аномалий как регионального, так и глобального масштаба. Весьма важными представляются вопросы о том, в какой мере изменения крупномасштабной циркуляции объясняют особенности современного потепления на суше Северного полушария, в частности фазу резкого роста температуры в 1970–1990-х гг. и его замедления с конца 1990-х, и можно ли трактовать эти изменения как смену циркуляционных режимов.

Материал и методы исследований. В работе использовались данные измерений температуры воздуха в регулярной сетке Центра климатических исследований Университета Делавэр (<http://climate.geog.udel.edu/~climate/index.shtml>) за период с 1950 по 2012 гг. по ячейкам, расположенным на суше Северного полушария от 40 до 75° с. ш. Исходные

данные с разрешением 0,5×0,5 градуса были переинтерполированы в сетку с меняющимся шагом по долготе, обеспечивающим равные площади ячеек (соответствующие разрешению 5×5 градусов на средней широте выбранного пояса 57,5° с. ш.). Поскольку март в средних и высоких широтах является по существу зимним месяцем, а региональная структура зимней температуры сохраняет устойчивый характер вплоть до начала весны [Попова и Шмакин, 2010], сезонное осреднение охватывало четыре месяца – с декабря по март.

При описании изменений крупномасштабной циркуляции атмосферы использовался индекс Арктического колебания (Arctic Oscillation – АО) за 1950–2015 гг. (http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/20thC_Rean/timeseries/monthly/AO), который вычисляется как первая мода разложения по эмпирическим ортогональным функциям (ЭОФ) поля высоты геопотенциала 1000 гПа [Thompson and Wallace, 1998]. Также анализировались индексы Northern Hemisphere Teleconnection Patterns (1950–2012 гг.), мониторинг которых проводится Центром прогнозов климата NOAA на основе данных реанализа NCEP/NCAR о колебаниях поля геопотенциала на уровне 500 гПа (<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc>). Помимо NAO, в качестве основных составляющих изменчивости поля давления над Евразией в зимние месяцы выделяется ряд циркуляционных механизмов, в числе которых Тихоокеанско-Североамериканский (Pacific-North American – PNA), Скандинавский (Scandinavian – SCAND) и др. Если индекс NAO, как отмечалось выше, для внетропической зоны Евразии служит показателем интенсивности зональной циркуляции, Скандинавский (Scandinavian – SCAND), напротив, отражает колебания блокировки зонального переноса над Северной Евразией. Его положительная фаза характеризуется мощным антициклональным очагом с центром на севере Скандинавии также депрессией над Сибирью, по восточной и западной периферии которых происходит вторжение арктического воздуха через Западную Сибирь и восток ЕТР вплоть до субтропических широт. Для Северной Америки и северотихоокеанского сектора Евразии режимы усиления и ослабления зонального переноса отражаются индексом PNA. Все циркуляционные индексы Northern Hemisphere Teleconnection Patterns с месячным разрешением тестировались на их вклад в изменчивость температуры приземного воздуха на суше внетропической зоны за декабрь–март.

Рассматривалась средняя температура суши внетропической зоны Северного полушария ($T_{\text{СП}}$), а также региональное распределение изменчивости температуры, то есть температура в регулярной сетке. Применение пошаговой множественной регрессии позволило получить количественные оценки *независимого вклада* каждого из циркуляционных индексов в межгодовую изменчивость температуры, а также ее низкочастотную составляющую тренд. Оценки выполнены как за исследуемый период в целом, так и за 3 более коротких периода

(с некоторым наложением): до начала 1970-х гг. (примерный рубеж, от которого отсчитывается начало современного глобального потепления); период наиболее быстрого роста глобальной температуры с 1968 по 1997 гг.; период 1996–2012 гг., характеризующийся замедлением потепления. Для периода наиболее быстрого роста глобальной температуры (1968–1997 гг.), ранее рассмотренного в работах [Hurrell, 1996; Thompson and Wallace, 1998]) анализировались оценки линейных трендов и их связь с циркуляционными индексами. Поскольку характерный масштаб возмущений в циркуляционных механизмах достигает 20–30 дней [Athanasiadis and Ambaum, 2009; Benedict, Rennert and Wallace, 2009], для анализа изначально использовались месячные значения циркуляционных индексов. Это позволило избежать скоррелированности, которая возникает между некоторыми индексами в среднесезонном обобщении, а также выявить наиболее значимые из зимних (декабрь–март) месяцев с точки зрения связи между циркуляцией и температурой. Наиболее информативными в этом отношении оказались индексы NAO и SCAND в среднем за январь–февраль (NAO_{I-II} , $SCAND_{I-II}$), а также индексы PNA в среднем за январь–февраль и январь–март (PNA_{I-II} и PNA_{I-III}).

Результаты исследований и их обсуждение. В многолетнем ходе индекса АО (I_{AO}) отчетливо прослеживаются тенденции его изменения (рис. 1, А). В период, предшествующий современному потеплению (1950–1970 гг.), значения индекса АО почти не поднимаются выше нуля, и в среднем составляют –0,8. Последующий рост I_{AO} , наблюдающийся с начала 1970-х, происходит на фоне высокой междекадной изменчивости и достигает максимума в конце 1980-х – начале 1990-х. С увеличением повторяемости холодных зим на севере Евразии (что стало поводом для пристального изучения этого периода и его определения как «пауза в потеплении») с середины 1990-х гг. АО вновь входит в отрицательную фазу. Хотя в среднем в этот период (1996–2013 гг.) она менее глубокая, чем 1950–1970 гг. (среднее значение I_{AO} составляет –0,3) именно в этот период; в 2010 г. отмечается абсолютный минимум индекса. Низкочастотные изменения I_{AO} , таким образом, показывают, что периоды роста (снижения) средней температуры на севере Евразии и в Северном полушарии в целом совпадают с его положительными (отрицательными) фазами, из чего следует, что глобальные климатические изменения с середины прошлого столетия тесно связаны с интенсивностью зонального переноса.

В целом за 65-летний период тренд I_{AO} положительный, но несущественный как по величине изменения (0,1 за 10 лет) так и по вкладу в общую изменчивость (7%). Несмотря на то, что в многолетнем ходе I_{AO} отражаются все стадии современного потепления, его изменчивостью можно объяснить только чуть более 20% $T_{ср}$ зимнего сезона. Для севера Евразии величина общей изменчивости средней зимней температуры ($T_{ср}$) и I_{AO} достигает 48%,

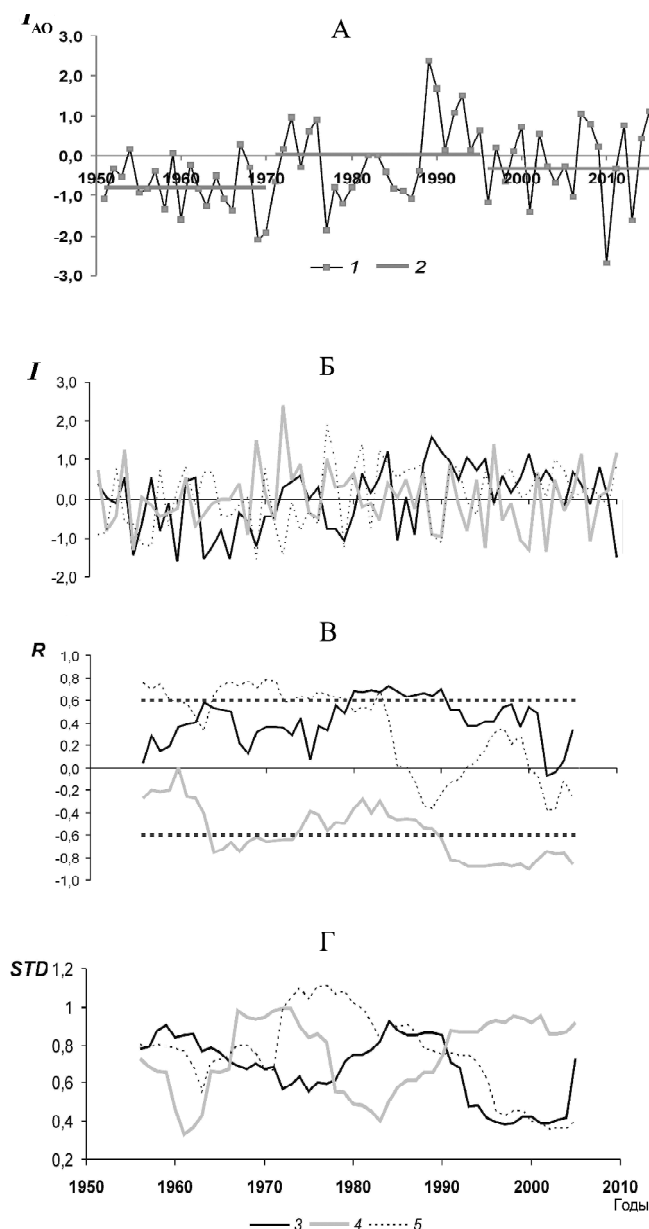


Рис. 1. Многолетние изменения: А – индекса Арктической осцилляции I_{AO} (1, 2); Б – циркуляционных индексов по версии Northern Hemisphere Teleconnection Patterns: NAO (3), Scand (4) и PNA (5), в среднем за декабрь–март, а также 11-летние скользящие; В – их корреляции со средней зимней температурой суши внетропической зоны Северного полушария (декабрь–март); Г – стандартные отклонения. Сплошными прямыми линиями (А, 2) показаны средние значения I_{AO} за 1951–1970 гг., 1971–1995 гг. и 1996–2015 гг. Прямыми пунктирными линиями (В) обозначены границы 95-процентного доверительного интервала

Fig. 1. Long-term variation of: А – Arctic Oscillation index I_{AO} (1, 2); Б – circulation indices in terms of the Northern Hemisphere Teleconnection Patterns: NAO (3), Scand (4) и PNA (5), December–March averaged, as well as the 11-year running of: В – their correlation coefficients with mean winter temperature of terrestrial part of extra-tropical Northern Hemisphere zone (December–March); Г – standard deviations. Solid straight lines (А, 2) show mean values of I_{AO} in 1951–1970, 1971–1995 и 1996–2015. Dashed straight lines (В) indicate the limits of 95% confidence interval

что говорит о преимущественном влиянии АО на вытянутом по широте пространстве этого субконтинента. Региональная неоднородность вклада усиления/ослабления зонального переноса в изменчивость температуры в масштабе внетропической зоны СП указывает на необходимость рассмотрения показателей циркуляции в области центров действия атмосферы (ЦДА), «контролирующих» разные регионы внетропической зоны Северного полушария. Отметим, что оценки пошаговой множественной регрессионной зависимости показывают, что более 70% изменчивости $T_{\text{АО}}$ за 1950–2015 гг. описывается циркуляционными индексами NAO, SCAND и PNA по версии Northern Hemisphere Teleconnection Patterns (рис. 1, Б), основная доля, около 60%, связана с индексом NAO.

Анализ зависимости между колебаниями средней температуры суши внетропической зоны СП в среднем за декабрь–март $T_{\text{СП}}$ и вариациями крупномасштабной циркуляции указывает на ее тесную связь именно с этими циркуляционными индексами. В целом за 1951–2010 гг., как следует из приведенных в таблице данных, более 70% изменчивости $T_{\text{СП}}$ связаны с вариациями средних за январь–февраль циркуляционных индексов NAO, SCAND и PNA. Наибольшая доля дисперсии $T_{\text{СП}}$ за рассматриваемый период в целом связана с NAO (27%) и PNA (24%) примерно в равных долях и несколько меньшая (19%) – с индексом SCAND. Это позволяет говорить о примерно равном значении этих трех циркуляционных механизмов в общей изменчивости $T_{\text{СП}}$ в целом за 1951–2010 гг.

Оценки связи между $T_{\text{СП}}$ и циркуляционными индексами NAO, PNA и SCAND, проведенные по 11-летним скользящим периодам (рис. 1, В) показы-

вают, что вклад этих индексов в изменчивость температуры существенно меняется во времени. До начала 1970-х гг. за пределы доверительного интервала выходит только корреляция с индексом PNA и Scand (хотя в отдельные 11-летия его величина становится статистически незначимой); с начала 1970-х происходит существенный рост вклада NAO, который с конца 1970-х до середины 1990 практически не опускается ниже порога значимости; затем, с середины 1990-х резко увеличивается связь с Scand. Параметры регрессионной зависимости между $T_{\text{СП}}$ и этими индексами показывают, что до начала 1970-х годов в изменчивости средней температуры суши Северного полушария заметно выделяется PNA, его вклад, равный 47%, почти вдвое превышает вклад NAO (19%) и SCAND (21%). С начала 1970-х до середины 1990-х годов происходит существенный рост роли NAO – до 41%, и ослабление влияния PNA (до 23%) и SCAND (до 17%). С середины 1990-х годов картина меняется – резко, до 66%, увеличивается вклад SCAND и сокращается до незначимых величин роль NAO и PNA. В ходе средней температуры зимы на севере Евразии выделенные периоды, как отмечалось выше, отличаются резким ростом с начала с 1970-х годов и его замедлением со второй половины 1990-х годов.

Изменение роли NAO, PNA и SCAND в колебаниях температуры демонстрируют поля их общей дисперсии, рассчитанные на основе точечных данных о температуре (рис. 2). Пространственное распределение суммарной дисперсии для 1951–1970, 1968–1997 и 1996–2010 гг. заметно отличается по локализации очагов и их площади. Ярво выраженная зональная структура характерна для 1968–1997 гг. с

Параметры множественной регрессионной зависимости между средней температурой на суше Северного полушария $T_{\text{СП}}$ и индексами атмосферной циркуляции в разные временные периоды за 1951–2010 гг.

Индекс	Коэффициент	Погрешность	R (накопленный)	R^2 (накопленная и индивидуальная)		$t(N)$	p
1951–2010 гг. ($N=56$)							
NAO _{I-II}	0,61	0,09	0,53	28	28	4,16	0,00
PNA _{I-II}	0,61	0,09	0,72	52	25	–3,52	0,00
SCAND _{I-II}	–0,57	0,09	0,85	72	19	–3,38	0,00
1951–1970 гг. ($N=16$)							
PNA _{I-II}	0,64	0,10	0,68	47	47	6,31	0,00
SCAND _{I-II}	–0,64	0,11	0,82	67	21	–5,66	0,00
NAO _{I-II}	0,47	0,10	0,93	86	19	4,69	0,00
1968–1997 гг. ($N=23$)							
NAO _{I-II}	0,64	0,11	0,64	41	41	5,76	0,00
SCAND _I	–0,51	0,10	0,80	64	23	–4,87	0,00
PNA _{I-III}	0,43	0,09	0,90	81	17	4,77	0,00
1996–2010 гг. ($N=14$)							
SCAND _{I-II}	–0,61	0,12	0,81	66	66	–5,02	0,00

Примечание. R – коэффициент корреляции, R^2 , % – доля объясненной изменчивости, N – количество степеней свободы, t – критерий Стьюдента.

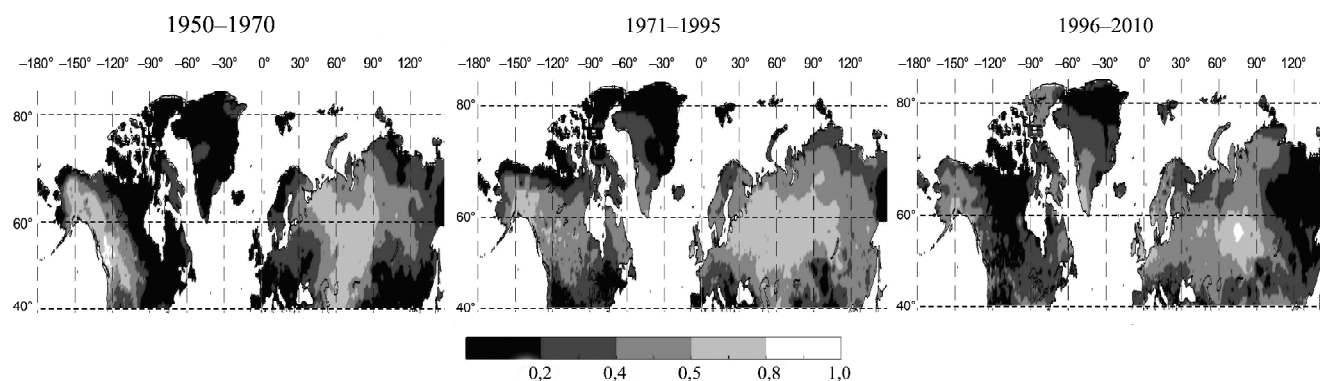


Рис. 2. Доля изменчивости средней температуры суши внетропической зоны Северного полушария в среднем за декабрь–март, объясненной индексами NAO, Scand и PNA (в сумме) в разные периоды за 1950–2010 гг.

Fig. 2. Share of mean temperature variability in the terrestrial part of extra-tropical Northern Hemisphere zone (December–March) explained by NAO, Scand и PNA indices (in total), for different periods during 1950–2010

преобладающим вкладом NAO в изменчивость средней температуры. Это отчетливо проявляется как в Евразии, так и в Северной Америке, причем величина объясняемой циркуляционными индексами дисперсии более 50% распространяется на всю умеренную зону, затрагивая арктическое побережье. Предшествующий период с доминирующим вкладом PNA в изменчивость средней температуры отличается меньшей площадью объясненной дисперсии и близким к меридиональному распределением очагов, особенно характерным для Северо-Американского континента. Последние 15 лет, когда основной вклад связан со SCAND, структура поля объясненной дисперсии также ближе к меридиональной, хотя и весьма отличается от 1951–1970 гг.

По временным периодам для каждого из трех индексов различия еще более заметны (рис. 3, А, Б, В). Отчетливо видно, что возросшая величина суммарной объясненной дисперсии в 1968–1997 гг. связана с NAO, при сохраняющемся вкладе PNA и SCAND. В 1996–2010 гг. вклад PNA и NAO становится статистически незначимым (рис. 3, А, Б), а вклад SCAND существенно возрастает как за счет расширения площади, объясненной этим индексом дисперсии температуры, так и за счет ее величины. Область влияния SCAND (рис. 3, В) в этот период распространяется от умеренных широт западной Европы до центра Сибири и от центра европейской территории России далеко на юг Арало-Каспийского региона.

Как видно из оценок, выполненных для $T_{\text{СП}}$ в целом, а также для температуры в узлах сетки, роль рассматриваемых ЦДА в ее изменчивости существенно меняется на протяжении 1951–2010 гг. Наибольшее внимание обращает на себя увеличение вклада NAO в 1968–1997 гг. в период существенного роста $T_{\text{СП}}$, а также резкое увеличение вклада SCAND в 1996–2006 гг. с одновременным уменьшением до незначимых величин вкладов NAO и PNA. Полученные оценки позволяют судить о доле объясненной этими циркуляционными индексами общей дисперсии, которая в зависимости от конк-

ретных периодов может превышать 80% и включает колебания разного временного масштаба.

Особый интерес вызывает вопрос о вкладе циркуляционных индексов в низкочастотную составляющую колебаний, то есть тренды. Рассмотрим с этой точки зрения тридцатилетие 1968–1997 гг., которое выделяется по скорости изменения температуры $T_{\text{СП}} - 0,6 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$ (рис. 4, А) и по доле тренда в общей изменчивости (30%). Согласно полученным оценкам (табл.), изменчивость $T_{\text{СП}}$ в 1968–1997 гг. на 81% объясняется циркуляционными индексами, причем 41% связан с NAO. Сопоставление наблюдаемых изменений $T_{\text{СП}}$ в 1968–1997 гг. с рассчитанными по результатам регрессии, показывает очень близкое воспроизведение тренда и флуктуаций разного масштаба. Остаток изменчивости, полученный после вычитания колебаний (рис. 4, В), связанных только с индексом $\text{NAO}_{\text{I-II}}$ (то есть рассчитанным на основе регрессионной зависимости с этим индексом), свидетельствует, что его вкладом объясняются, в основном, квазидесятилетние колебания, а также половина тренда, около $0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/10 \text{ лет}$. Удаление изменчивости, связанной с колебаниями SCAND и PNA (рис. 4, Д), приводит к удалению тренда и существенному сглаживанию высокочастотной изменчивости. Таким образом, тренд $T_{\text{СП}}$ в 1968–1997 гг. практически полностью описывается циркуляционными индексами: около половины скорости линейного роста $T_{\text{СП}}$ можно объяснить NAO, и примерно по одной четверти – SCAND и PNA.

Пространственное распределение тренда зимней температуры в 1968–1997 гг. (рис. 4, Б), а также его изменение после удаления тренда, объясняемого ростом индекса NAO (рис. 4, Г), в основном, совпадает с полученными ранее оценками [Hurrell, 1996; Thompson and Wallace, 1998]. Основные очаги тренда температуры (до $1\text{--}2 \text{ } ^\circ\text{C}$ за 10 лет) в центре Сибири и области противоположной тенденции (до $1,5 \text{ } ^\circ\text{C}$) на западном побережье Гренландии и северо-востоке п-ва Лабрадор наполовину утрачивают интенсивность и сокращаются по протяженности.

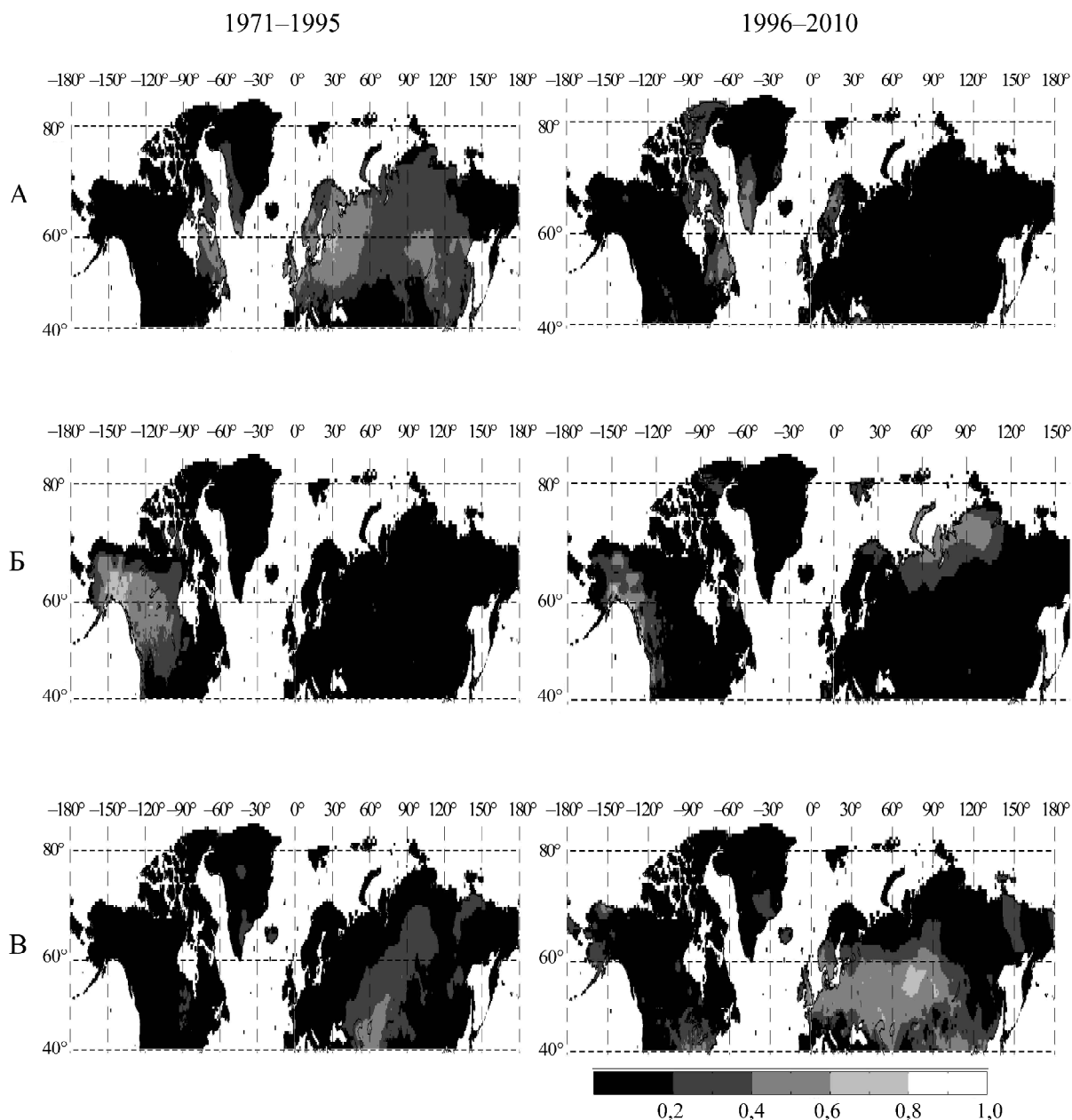


Рис. 3. Доля изменчивости средней температуры суши внетропической зоны Северного полушария в среднем за декабрь–март, объясненной индексами NAO (А), Scand (Б) и PNA (В) за 1971–1995, 1996–2010 гг.

Fig. 3. Share of mean temperature variability in the terrestrial part of extra-tropical Northern Hemisphere zone (December–March) explained by NAO (A), Scand (Б) и PNA (B) indices in 1971–1995 and 1996–2010

Удаление вклада линейного изменения температуры, описываемого индексом SCAND, приводит к тому, что на северо-западной половине Северной Евразии тренды температуры снижаются до $-0,5$ °C/10 лет, а на остальной территории в среднем до $0-0,5$ °C/10 лет. После удаления тренда, связанного с индексом PNA (рис. 4, Е), основная часть Северной Америки оказывается в области трендов от $-0,5$ до $0,5$ °C/10 лет. Этот результат отличается от приведенных ранее оценок [IPCC, 2007; Hurrell, 1996; Thompson and Wallace, 1998], согласно которым циркуляционными индексами, в частности NAO, Южным колебанием и др. [Hurrell, 1996], либо Арктическим колебанием [Thompson and Wallace,

1998], можно объяснить лишь около 50% современного потепления в Северной Евразии. Это расхождение отчасти может быть обусловлено отличиями в границах территории, но в основном, в выборе циркуляционных индексов и недооценке роли некоторых механизмов макромасштабной циркуляции, в частности SCAND. Отметим, что основной вклад в изменчивость $T_{\text{СП}}$ вносят колебания индекса NAO в январе (NAO_I) и SCAND в феврале (SCAND_{II}), причем для индекса NAO_I в 1968–1997 гг. выявляется положительный тренд, а для SCAND_{II} такой же нисходящий тренд ($-0,4$ °C/10 лет), несколько уступающий по доле в общей изменчивости (он составляет 12% – для NAO_I , 10% – для SCAND_{II}). По-види-

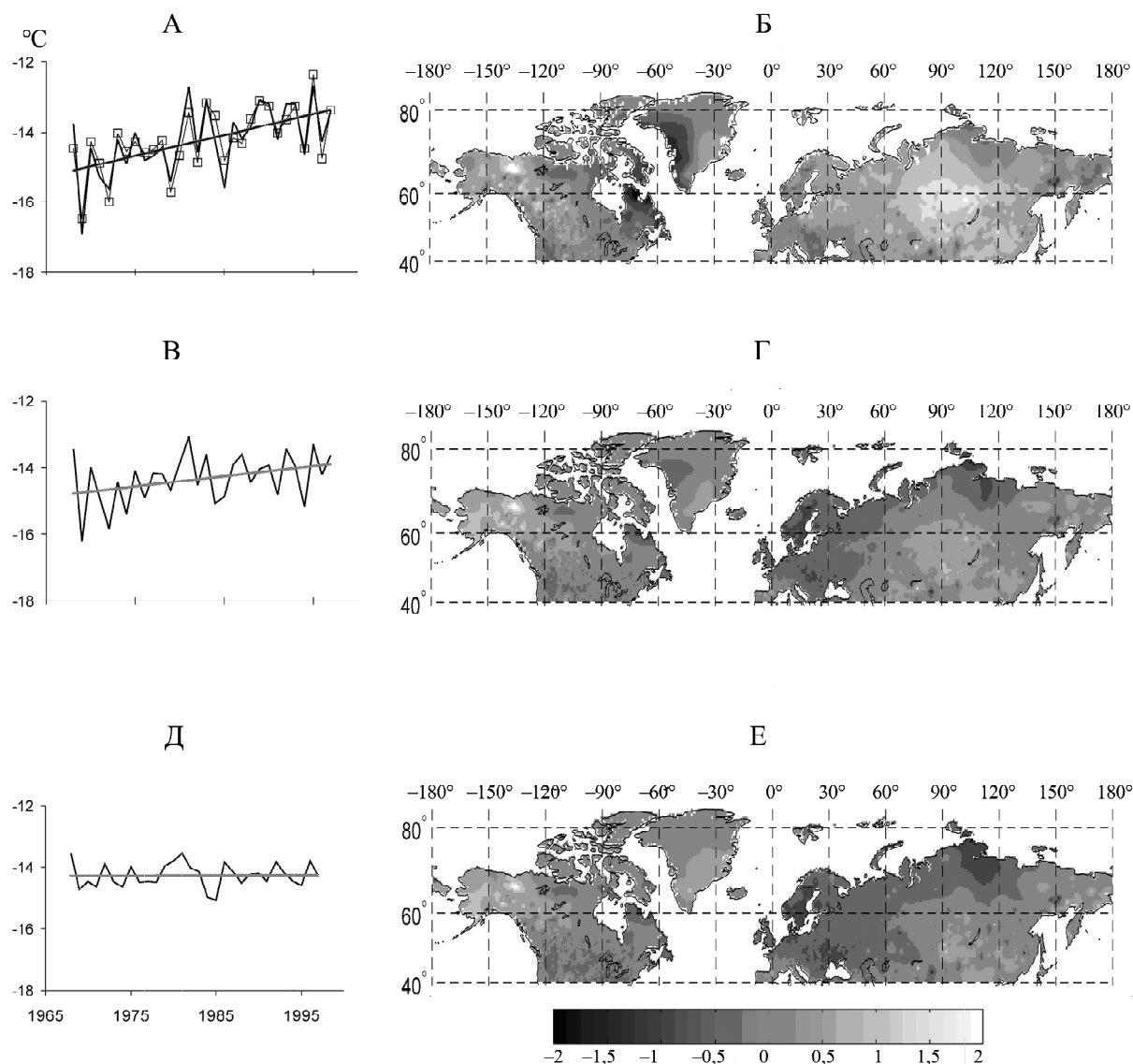


Рис. 4. Тренд температуры суши внетропической зоны Северного полушария в 1968–1997 гг. и его связь с индексами NAO, Scand и PNA; А – изменения средней температуры суши внетропической зоны СП в среднем за декабрь–март в 1968–1997 гг. по данным наблюдений (черная кривая) и рассчитанная на основе регрессионной зависимости (табл. 1, серая кривая) с маркерами; В – ряд наблюдаемой температуры после удаления изменчивости, связанной с индексом NAO; Д – то же после удаления тренда, связанного с NAO, Scand и PNA; Б – распределение коэффициента линейного тренда температуры в среднем за декабрь–март в 1968–1997 гг. по данным наблюдений; Г – то же после удаления изменчивости, связанной с NAO; Е – то же после удаления изменчивости, связанной с NAO, Scand и PNA

Fig. 4. 1968–1997 temperature trend for terrestrial part of the extra-tropical Northern Hemisphere zone and its relation to NAO, Scand и PNA indices: А – mean temperature variations for the terrestrial part of extra-tropical Northern Hemisphere zone (average for December–March) in 1968–1997 according to observations (black line), and derived on the base of regressions coefficients (table 1, gray line) with markers; В – time series of observed temperature after removing the variability related to NAO index; Д – the same, but after removing the variability related to NAO, Scand и PNA indices; Б – spatial distribution of temperature linear trend coefficient (average for December–March) in 1968–1997 according to observations; Г – the same after removing the variability related with NAO index; Е – the same, but after removing the variability related with NAO, Scand и PNA indices

тому, это обстоятельство заставляет принимать во внимание участие SCAND не только в высокой межгодовой изменчивости, но и в долгопериодных колебаниях температуры приземного воздуха во внетропической зоне Северного полушария.

Анализ связи зимней температуры на суше внетропической зоны Северного полушария с индексами крупномасштабной атмосферной циркуляции приводят к выводу, что общая изменчивость темпера-

туры в 1951–2012 гг. более чем на 70% может быть объяснена колебаниями индексов NAO, PNA и Scand примерно в равных долях. При этом регрессионные оценки, полученные как для средней $T_{СП}$, так и для температуры в узлах сетки показывают, что роль рассматриваемых ЦДА в изменчивости температуры существенно меняется на протяжении трех периодов, представляющих разные этапы современного потепления. Наибольшее внимание об-

ращает на себя увеличение вклада NAO в 1968–1997 гг., в период существенного роста $T_{\text{СП}}$, а также резкое увеличение вклада SCAND в 1996–2006 гг. с одновременным уменьшением до незначимых величин вкладов NAO и PNA. Полученные оценки позволяют судить о доле объясненной этими циркуляционными индексами общей дисперсии, которая в отдельные временные периоды середины прошлого столетия может превышать 80% и включает колебания разного временного масштаба. Ранее было показано, что аномалии аккумуляции снега на севере Евразии в этот период также определяются вариациями NAO, PNA и Scand, а ее рост от северо-востока ЕТР до Центральной Сибири связан с положительными аномалиями индекса NAO [Pорова, 2007].

Роль NAO существенно возрастает с конца 1960-х – начала 1970-х гг. С этим механизмом на 50% связан резкий рост средней температуры на суше Северного полушария в 1968–1997 гг. Важно отметить, что тренд $T_{\text{СП}}$ в этот период полностью описывается вариациями индексов NAO, SCAND и PNA. Таким образом, полагая, что причиной современного потепления является парниковый эффект, вызванный антропогенным изменением состава атмосферы, следует признать, что его действие (по крайней мере, на изучаемой территории) проявляется опосредованно, через макромасштабную циркуляцию. Доля непосредственного влияния на тепло-балансовые составляющие по территории суши внетропической зоны СП, по-видимому, несущественна.

Для понимания условий формирования климатических аномалий важно, что вклад перечисленных циркуляционных индексов в изменчивость температуры меняется во времени. По существу это свидетельствует о нелинейном характере связи между этими параметрами; предполагаемые причины этого явления обсуждались ранее [Попова, Шмакин, 2010; Christiansen, 2003; Pozo-Vazquez et al., 2001]. Несмотря на то, что по доле в изменчивости поля давления Северного полушария SCAND занимает лишь шестое место, в изменчивости температуры на севере Евразии и на суше его внетропической зоны в целом, этот циркуляционный механизм наряду с NAO и PNA, играет одну из ведущих ролей. Результаты данной работы заставляют принимать во внимание участие SCAND не только в высокой межгодовой изменчивости, но и в долгопериодных колебаниях температуры приземного воздуха. Изменениями SCAND и PNA можно объяснить около половины скорости роста $T_{\text{СП}}$ в 1968–1997 гг.

Существенно, что со второй половины 1990-х гг. как для Северной Евразии, так и для суши Северного полушария в целом, колебания температуры почти на 70% связаны с индексом SCAND. Приблизиться к пониманию причин усиления влияния SCAND на изменчивость зимней температуры с середины 1990-х годов позволяет анализ многолетних изменений индексов NAO, SCAND и PNA, в частности, вариаций стандартного отклонения в 1950–2012 гг. Из рис. 1, Б видно, что с середины

1990-х годов колебания NAO и PNA происходят, в основном, в положительной области и не выходят за пределы диапазона от 0 до 1. Этот период отличается самой низкой за рассматриваемый период величиной стандартного отклонения для этих индексов (рис. 1, Г). На таком фоне изменчивость SCAND, напротив, очень возросла, причем колебания этого индекса охватывают положительную и отрицательную области (рис. 1, Б, Г). Физически это означает ослабление межгодовой изменчивости полей давления в области центров действия, связанных с NAO и PNA, и их усиление в области очагов SCAND, то есть на севере Атлантики и прилегающем секторе Северного Ледовитого океана. Очевидно, причиной усиления такой неустойчивости может быть сокращение арктических льдов и повышение температуры поверхности океана, то есть эффект обратного влияния климатических изменений на циркуляцию, механизмы которого подтверждаются результатами исследований [Семенов, 2015; Мохов с соавт., 2012; Семенов, Мохов, Латиф, 2012; Petoukhov, Semenov, 2010].

Полученные результаты позволяют говорить о разных режимах влияния ЦДА на изменчивость температуры, что имеет большое значение для формирования климатических аномалий и их региональной структуры. Вероятно, эти режимы соответствуют разным режимам крупномасштабной циркуляции. Меридиональная циркуляция с преобладающим влиянием тихоокеанских ЦДА в начале 1970-х годов сменилась зональной циркуляцией с доминирующим вкладом северо-атлантических ЦДА. С середины 1990-х годов вновь возрастает интенсивность меридиональной циркуляции, но в этот период, в отличие от 1950–1970 гг., она связана с северными широтами Восточного полушария.

Описанные особенности поведения индексов NAO, PNA и SCAND с середины 1990-х гг. до конца 2000-х гг., по-видимому, отражают изменения в структуре основных ЦДА, которые были зафиксированы Zhang et al. [2008] и связываются с сокращением концентрации морского льда в Баренцевом и Карском морях. Выявленный сдвиг центра приполярной депрессии на север Скандинавского полуострова во второй половине 1990-х гг. и на север Сибири в 2000-х [Zhang et al., 2008], где располагаются основные очаги -SCAND, объясняют возросшую неустойчивость этого ЦДА и ее последствия в виде участвовавших вторжений арктического воздуха на севере Евразии.

Выводы:

– наблюдаемые с середины XX в. изменения климата внетропических широт Северного полушария почти полностью объясняются вариациями крупномасштабной циркуляции, выраженной в индексах колебаний ЦДА. Если смена тенденций и фазы Арктической осцилляции на качественном уровне указывают на связь периодов потепления (похолодания) с усилением (ослаблением) интенсивности зональной циркуляции, то вариациями индексов NAO, PNA и SCAND объясняется более 70% изменчивости температуры в 1950–2010 гг. в целом (и более 80% –

в 1951–1970 и 1968–1997 гг.), включая квазидесятилетние флуктуации, экстремумы обоих знаков, а также многолетние тенденции. К последним относятся резкое потепление с начала 1970-х до середины 1990-х и сменявшая его пауза в потеплении. В смене фаз современного потепления проявляются не только особенности колебаний указанных индексов, но и различия в режиме влияния соответствующих им ЦДА на изменчивость температуры, что имеет большое значение для формирования климатических аномалий и их региональной структуры. Это позволяет говорить о смене режимов крупномасштабной циркуляции. Меридиональная циркуляция с преобладающим влиянием тихоокеанских ЦДА (PNA) в начале 1970-х годов сменилась зональной циркуляцией, связанной с возросшей ролью североатлантических ЦДА (NAO). С середины 1990-х годов вновь возрастает интенсивность меридиональной циркуляции, но в этот период, в отличие от 1950–1970 гг., она связана с ЦДА SCAND, то есть с полярными широтами восточной Атлантики и прилегающим сектором Северного Ледовитого океана и арктического побережья. Уникальность этого периода связана с перемещением центра приполярной депрессии из района Гренландии и Исландии на восток [Zhang et al., 2008], наиболее вероятной причиной которого может быть сокращение площади распрост-

ранения морского льда в Баренцевом и Карском морях [Семенов, 2015; Мохов с соавт., 2012; Семенов, Мохов, Латиф, 2012; Petoukhov, Semenov, 2010]. Рост повторяемости арктических вторжений и холодных зим на севере Евразии в этот период, известный как пауза в потеплении, следует расценивать как следствие этого явления и, возможно, как его индикатор. Последнее требует проведения сравнительного анализа условий формирования арктических вторжений на севере Евразии до и после начала 1970-х гг.;

– влияние изменений в распределении температуры поверхности Тихого океана, отмеченного отрицательной фазой индекса PDO с конца 1990-х гг., которому также отводится роль фактора перерыва в потеплении [England et al., 2014; Trenberth and Fasullo, 2013], должно способствовать общему ослаблению зонального переноса внетропической зоны Северного полушария. Вместе с тем, формирование циркуляционных механизмов выноса арктического воздуха вплоть до тропических широт, очевидно, связано с региональными ЦДА, в частности SCAND, а также с факторами, влияющими на распределение потоков тепла в области его основных очагов, – такими как сокращение площади морского льда в Баренцевом и Карском морях [Семенов, 2015; Мохов с соавт., 2012; Семенов, Мохов, Латиф, 2012; Petoukhov, Semenov, 2010].

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Программы ФНИ государственных академий наук 0148-2014-0015, Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 44П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. С. 551–587.

Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч., Погарский Ф.А. Изменения распространения морских льдов в Арктике и связанные с ними климатические эффекты: диагностика и моделирование // Лед и Снег. 2012. № 2(122). С. 53–62.

Попова В.В., Шмакин А.Б. Региональная структура колебаний температуры приземного воздуха в северной Евразии во второй половине XX – начале XXI веков // Изв. РАН, Физика атмосферы и океана. 2010. Т. 46. № 2. С. 15–29.

Семенов В.А. Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера – полярные льды – океан // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. № 1. С. 232–248.

Семенов В.А., Мохов И.И., Латиф М. Влияние температуры поверхности океана и границ морского льда на изменение регионального климата в Евразии за последние десятилетия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2012. Т. 48. № 4. С. 403–421.

Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G.S. et al. Connection between Caspian Sea level variability and ENSO // Geophys. Res. Lett. 2000. V. 27. № 17. P. 2693–2699.

Athanasiadis P.J., Ambaum M.H.P. Linear Contributions of Different Time Scales to Teleconnectivity // J. Climate. 2009. V. 22. P. 3720–3728.

Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality, and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns // Monthly Weather Review. 1987. V. 115. P. 1083–1126.

Benedict J.J., Lee S., Feldstein S.B. Synoptic view of the North Atlantic Oscillation // J. the Atmospheric Sciences. 2004. V. 61. P. 121–144.

Christiansen B. Evidence for nonlinear climate change: two stratospheric regimes and a regime shift // J. Climate. 2003. V. 16. P. 3681–3690.

England M.H., McGregor S., Spence P. et al. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus // Nature climate change. 2014. V. 4. March. www.nature.com/natureclimatechange.

Hurrell J.W. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnection on Northern Hemisphere temperature // Geophys. Res. Lett. 1996. V. 23. P. 665–668.

Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic oscillation: regional temperatures and precipitation // Science. 1995. V. 269. P. 676–679.

IPCC, 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds.: S. Solomon, D., M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press, 996 p.

IPCC. Climate change 2013: The Physical Science basis / Eds.: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.

Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dickson R., Hurrell J., McCartney M., Saravanan R., Visbeck M. North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms // *Int. J. Climatol.* 2001. V. 21. P. 1863–1898.

Mokhov I.I., Smirnov D.A. El Niño–Southern Oscillation drives North Atlantic Oscillation as revealed with nonlinear techniques from climatic indices // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. L03708. Doi:10.1029/2005GL024557.

Petoukhov V., Semenov V.A. A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // *J. Geophys. Research – Atmospheres.* 2010. V. 115. D21111. Doi:10.1029/2009JD013568.

Popova V. Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes // *Int. J. Climatol.* 2007. V. 27. P. 1721–1733.

Pozo-Vazquez D., Esteban-Parra M.J., Rodrigo F.S., Castro-Diez Y. A study of NAO variability and its possible non-linear influences on European surface temperature // *Climate Dynamics.* 2001. V. 17. P. 701–715.

Rennert K.J., Wallace J.M. Cross-Frequency Coupling, Skewness, and Blocking in the Northern Hemisphere Winter

Circulation // *J. Climate.* 2009. V. 22. P. 5650–5666. Doi: 10.1175/2009JCLI2669.1.

Semenov V., Latif M. Nonlinear winter atmospheric circulation response to Arctic sea ice concentration anomalies for different periods during 1966–2012 // *Environ. Research Letters.* 2015. V. 10. 054020. Doi:10.1088/1748-9326/10/5/054020.

Thompson D.W.J., Wallace J.M. The arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25. P. 1297–1300.

Trenberth K.E., Fasullo J.T. An apparent hiatus in global warming? // *Earth's Future.* 2013. V. 1. P. 19–32. Doi:10.1002/2013EF000165.

Zhang X., Sorteberg A., Zhang J., Gerdes R., Comiso J.C. Recent radical shifts of atmospheric circulations and rapid changes in Arctic climate system // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35. L22701. Doi:10.1029/2008GL035607.

Zverev I.I., Gulev S.K. Seasonality in secular changes and interannual variability of European air temperature during the twentieth century // *J. Geophysical Research.* 2009. V. 114. D02110. Doi:10.1029/2008JD010624.

Поступила в редакцию 23.11.2016
Принята к публикации 13.09.2017

V.V. Popova¹, V.V. Matskovsky²,
A.Yu. Mikhailov³

RECENT CLIMATE CHANGE OVER THE TERRESTRIAL PART OF EXTRATROPICAL NORTHERN HEMISPHERE ZONE

Relations of surface air temperature variations over the terrestrial part of extratropical Northern Hemisphere zone with the macro-scale atmospheric circulation in terms of the Northern Hemisphere Teleconnection Patterns indices are studied. Evaluations obtained as a result of stepwise multiple regression show that winter temperature changes observed since the mid of the 21st century, including the abrupt increase in 1970–1990-s and subsequent warming hiatus, could be almost entirely explained by circulation variations related to three centers of action, i. e. North-Atlantic Oscillation (NAO), Pacific-North-American (PNA) and Scandinavian (Scand). Change of the recent global warming phases demonstrates the differences in the regime of atmospheric centers influence on temperature variability. The latter allows indicating the different regimes of macro-scale circulation. In the beginning of the 1970-s the meridional circulation with the prevalent impact of PNA centers of action changed for zonal circulation, due to the increasing role of NAO. Since the mid of the 1990-s, the role of meridional circulation increases again, but unlike in the 1950–1970-s it is caused by the Scand centers of action, i.e. north-east Atlantic and West-Eurasian sector of the Arctic.

Key words: centers of atmosphere action, circulation indices, surface air temperature, variability, trends, multiple regression.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Program of Federal Science Research (№ 0148-2014-0015), the RAS Presidium Program of Basic Research (№ 44II).

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Climatology, Leading Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: valeria_popova@mail.ru

² Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Department of Glaciology, Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: matskovsky@igras.ru

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Climatology, Senior Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: miha_ku@mail.ru

REFERENCES

- Arpe K., Bengtsson L., Golitsyn G.S. et al. Connection between Caspian Sea level variability and ENSO // *Geophys. Res. Lett.* 2000. V. 27. № 17. P. 2693–2699.
- Athanasiadis P.J., Ambaum M.H.P. Linear contributions of different time scales to teleconnectivity // *J. Climate*. 2009. V. 22. P. 3720–3728.
- Barnston A.G., Livezey R.E. Classification, seasonality, and persistence of low frequency atmospheric circulation patterns // *Monthly Weather Review*. 1987. V. 115. P. 1083–1126.
- Benedict J.J., Lee S., Feldstein S.B. Synoptic view of the North Atlantic Oscillation // *J. the Atmospheric Sciences*. 2004. V. 61. P. 121–144.
- Christiansen B. Evidence for Nonlinear Climate Change: Two Stratospheric Regimes and a Regime Shift // *J. Climate*. 2003. V. 16. P. 3681–3690.
- England M.H., McGregor S., Spence P. et al. Recent intensification of wind-driven circulation in the Pacific and the ongoing warming hiatus // *Nature climate change*. 2014. V. 4. March www.nature.com/natureclimatechange.
- Hurrell J.W. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnection on Northern Hemisphere temperature // *Geophys. Res. Lett.* 1996. V. 23. P. 665–668.
- Hurrell J.W. Decadal trends in the North Atlantic oscillation: regional temperatures and precipitation // *Science*. 1995. V. 269. P. 676–679.
- IPCC, 2007. Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds.: S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor, H.L. Miller. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, Cambridge University Press. 996 p.
- IPCC. Climate change 2013: The Physical Science basis / Eds.: T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY: Cambridge University Press; 2013. 1535 p.
- Marshall J., Kushnir Y., Battisti D., Chang P., Czaja A., Dickson R., Hurrell J., McCartney M., Saravanan R., Visbeck M. North Atlantic climate variability: phenomena, impacts and mechanisms // *Int. J. Climatol.* 2001. V. 21. P. 1863–1898.
- Mokhov I.I., Semenov V.A., Khon V.Ch., Pogarsky F.A. Izmeneniya rasprostraneniya morskikh l'dov v Arktike i svyazannye s nimi klimaticheskiye efekty: diagnostika i modelirovanie [Variation of sea ice propagation in the Arctic and related climatic effect: diagnosis and modeling]. *Lyod i Sneg. [Ice and Snow]*. 2012. № 2(122). P. 53–62 (in Russian).
- Mokhov I.I., Smirnov D.A. El Niño–Southern Oscillation drives North Atlantic Oscillation as revealed with nonlinear techniques from climatic indices // *Geophys. Res. Lett.* 2006. V. 33. L03708. Doi:10.1029/2005GL024557.
- Petoukhov V., Semenov V.A. A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents // *J. Geophys. Research – Atmospheres*. 2010. V. 115. D21111. Doi:10.1029/2009JD013568.
- Popova V. Winter snow depth variability over northern Eurasia in relation to recent atmospheric circulation changes // *Int. Journ. of Climatol.* 2007. V. 27. P. 1721–1733.
- Popova V.V., Shmakin A.B. Regionalnaya struktura kolebanij temperatury prizemnogo vozduha v severnoj Evrazii vo vtoroj polovine XX – nachale XXI vekov [Regional structure of fluctuations of land surface air temperature in North Eurasia in the second half of the 20th – beginning of the 21st century] *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana [Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics]*. 2010. V. 46. № 2. P. 15–29 (in Russian).
- Pozo-Vazquez D., Esteban-Parra M.J., Rodrigo F.S., Castro-Diez Y. A study of NAO variability and its possible non-linear influences on European surface temperature // *Climate Dynamics*. 2001. V. 17. P. 701–715.
- Rennert K.J., Wallace J.M. Cross-Frequency Coupling, Skewness, and Blocking in the Northern Hemisphere Winter Circulation // *J. Climate*. 2009. V. 22. P. 5650–5666. Doi: 10.1175/2009JCLI2669.1.
- Semenov V.A. Kolebaniya sovremennogo klimata, vyzvannye obratnymi svyazami v sisteme atmosfera – polyarnye l'dy – okean [Fluctuations of recent climate caused by feedbacks in the system of atmosphere-polar ice-ocean] *Fundamentalnaya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]*. 2015. № 1. P. 232–248 (in Russian).
- Semenov V., Latif M. Nonlinear winter atmospheric circulation response to Arctic sea ice concentration anomalies for different periods during 1966–2012 // *Environ. Research Letters*. 2015. V. 10. 054020. Doi:10.1088/1748-9326/10/5/054020.
- Semenov V.A., Mokhov I.I., Latif M. Vliyanie temperatury poverhnosti okeana i granits morskogo l'da na izmenenie regionalnogo klimata v Evrazii za poslednie desyatiletia [Influence of the ocean surface temperature and the sea ice borders on the regional climate change in Eurasia during last decades] // *Izv. RAN. Fizika atmosfery i okeana [Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics]*. 2012. V. 48. № 4. P. 403–421 (in Russian).
- Thompson D.W.J., Wallace J.M. The arctic oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields // *Geophys. Res. Lett.* 1998. V. 25. P. 297–1300.
- Trenberth K.E., Fasullo J.T. An apparent hiatus in global warming? // *Earth's Future*. 2013. V. 1. P. 9–32. Doi:10.1002/2013EF000165.
- Vtoroy otsenochnyy doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossiyskoj Federatsii. [The second assessment report on climate changes and their consequences in the Russian Federation] M.: Rosgidromet. 2014. 587 p. (in Russian).
- Zhang X., Sorteberg A., Zhang J., Gerdes R., Comiso J.C. Recent radical shifts of atmospheric circulations and rapid changes in Arctic climate system // *Geophys. Res. Lett.* 2008. V. 35. L22701. Doi:10.1029/2008GL035607.
- Zveryaev I.I., Gulev S.K. Seasonality in secular changes and interannual variability of European air temperature during the twentieth century // *J. Geophysical Research*. 2009. V. 114. D02110. Doi:10.1029/2008JD010624.

Received 23.11.2016

Accepted 13.09.2017

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.461(424)

А.Ю. Опекунов¹, М.Г. Опекунова², В.В. Сомов³, Е.С. Митрофанова⁴, С.Ю. Кукушкин⁵**ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ СИБАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ) НА ТРАНСФОРМАЦИЮ ПОТОКА МЕТАЛЛОВ В ПОДЧИНЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ**

Изучены закономерности миграции и аккумуляции тяжелых металлов в геохимических сопряжениях в условиях горнопромышленного техногенеза на примере производства по добыче и обогащению медно-цинковых руд Сибайского месторождения. Объектами многолетних исследований стали геохимические ландшафты в долине р. Карагайлы, Южный Урал. Изучены почвы и растительность водосбора, речная вода, донные осадки, подотвальные и карьерные воды, поступающие в водоток. Оценена роль техногенных и искусственного геохимических барьеров.

Установлено, что горнопромышленное производство приводит к существенному загрязнению природных компонентов окружающей среды Cu, Zn, Cd, Fe, Pb. Максимальные нагрузки испытывают водные объекты, занимающие в геохимическом сопряжении самый нижний уровень. Концентрация Cu, Zn, Cd в потоке рассеяния (вода, донные осадки) в среднем на два порядка превышает кларковое значение. Процессы миграции и аккумуляции металлов подчинены техногенным физико-химическим барьерам, среди которых ведущую роль играет щелочной и сорбционный. Определено содержание ТМ в укосах биомассы, прибрежно-водной и наземной растительности. Установлены низкие значения коэффициента биологического поглощения растений по сравнению с фоном. Сделан вывод о том, что растения в круговороте вещества выступают фитобарьером, стабилизирующим техногенный поток и снижающим интенсивность поступления поллютантов в высшие звенья пищевой цепи. Показано нарушение взаимообусловленности потоков вещества в подчиненных ландшафтах и отсутствие скоррелированности содержания металлов в почвообразующих породах, почвах, растениях, воде и донных осадках.

Ключевые слова: горнорудное производство, донные осадки, почвы, загрязнение, тяжелые металлы, геохимические барьеры.

Введение. Все природные компоненты тесно связаны между собой в биогеохимическом круговороте. Важнейшим механизмом поступления химических элементов в донные осадки водотоков в природных условиях служит латеральная миграция вещества в пределах ландшафтно-геохимической катены: от элювиальных позиций к субаквальным и аквальным [Перельман, Касимов, 1999; Schlesinger, Bernhardt, 2013]. При этом наблюдается преемственность химического состава горных пород, почв, растительности, воды и донных осадков. В районах активной хозяйственной деятельности процессы миграции и аккумуляции химических элементов претерпевают значительную трансформацию вследствие влияния техногенных потоков вещества [Геохимия ..., 2012]. Проблема состояния окружающей среды в районах разработки месторождений твердых полезных ископаемых, приводящей к масштабному загрязнению компонентов ландшафтов тяже-

лыми металлами (ТМ), вызывает большой интерес исследователей [Елпатьевский, 1993; Кошелева с соавт., 2010; Водяницкий, 2013; Baron et al., 2006; Kabata-Pendias, Mukherjee, 2007; Timofeev et al., 2016; Timofeev, Kosheleva, 2017 и др.]. К основным элементам вторичных ореолов рассеяния при разработке медноколчеданных месторождений относятся Cu, Zn, Cd и другие халькофильные элементы [Глазовская, 1988; Рафикова, Семенова, 2010; Siegel, 2002; Liu et al., 2010; Алибаева, Кулагин, 2012]. Гипергенные изменения рудных минералов сульфидных месторождений в присутствии кислорода, $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ и H_2SO_4 приводят к окислению труднорастворимых сульфидов и образованию водных сульфатов металлов. В результате этих реакций наблюдается резкое уменьшение pH природных вод и почвенных растворов, сопровождаемое ростом окислительно-восстановительного потенциала [Емлин, 2005; Siegel, 2002]. Основные формы нахождения Cu, Zn и Cd в водных

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра геоэкологии и природопользования, профессор, докт. геол.-минерал. н.; e-mail: a_opekunov@mail.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра геоэкологии и природопользования, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: m.opekunova@mail.ru;

³ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра геоэкологии и природопользования, аспирант; e-mail: vomos_v_v@mail.ru

⁴ Санкт-Петербургская экологическая компания, вед. инженер; e-mail: mitrofanova.ek@mail.ru

⁵ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, кафедра геоэкологии и природопользования, ст. преподаватель; e-mail: stepic@yandex.ru

растворах – катионы, а также гидроксильные или смешанные гидроксильно-сульфатные комплексы, которые при повышении pH переходят в твердую фазу.

В условиях горнопромышленного техногенеза латеральная миграция ТМ обуславливает их рассеяние и вызывает загрязнение природных вод, донных осадков, а также почв и растительности в подчиненных ландшафтах. Хорошо проявлена радиальная миграция ТМ при сезонном изменении уровня грунтовых вод с формированием блуждающих барьеров [Глазовская, 2012]. Это служит причиной образования на испарительном барьере в зоне аэрации неосульфатов и растворения их при выпадении атмосферных осадков и повышении уровня грунтовых вод [Емлин, 2005].

Концентрация ТМ в техногенных ореолах в несколько раз превышает их содержание в естественных геохимических аномалиях, а площадь территорий, подверженных загрязнению, значительно превосходит площадь вторичных ореолов рассеяния. Существенно, что металлы в донных осадках и почвах в пределах техногенных ореолов и потоков находятся в легкоподвижных формах [Опекунов с соавт., 2010; Опекунова, 2013; Регионы ..., 2014].

Несмотря на большой интерес со стороны исследователей к экологическим аспектам разработки сульфидных руд, решение проблемы загрязнения компонентов ландшафтов ТМ не утратило своей актуальности. Целью настоящей работы является изучение закономерностей миграции и аккумуляции металлов в подчиненных ландшафтах с оценкой роли техногенных и искусственных геохимических барьеров в условиях горнопромышленного техногенеза.

Объекты и методы исследований. Объектами изучения стали аквальные и наземные геохимические ландшафты в долине р. Карагайлы (Южный Урал). Территория исследований расположена в Сибайском рудном районе, характеризующимся наличием многочисленных медноколчеданных и полиметаллических рудопроявлений и месторождений. Здесь сформировалась естественная геохимическая аномалия, в пределах которой все компоненты ландшафтов отличаются высоким содержанием Fe, Cu, Zn и ряда халькофилов [Ковальский с соавт., 1981; Опекунов, Опекунова, 2013]. Горные породы разнообразны и представлены девонскими магматическими и вулканическими образованиями (гранитами, гнейсами, базальтами, порфирами и диабазами с прослоями яшмоидов), а также осадочными породами (известняками и доломитами) [Косарев с соавт., 2006].

Сложное геологическое строение и расчлененный рельеф способствуют образованию под степной и лесостепной растительностью мозаичного и комплексного почвенного покрова из черноземов (Chernozems по WRB [IUSS Working ..., 2015]) типичных, выщелоченных, обыкновенных, неполноразвитых, южных, а также темно-серых почв (Phaeozems), солонцеватых и примитивных органо-щебнистых почв – литоземов темногомусовых

(Cambisols) и петроземов гумусовых (Leptosols). Почвы формируются на делювии пород верхней части Улутауского базальт-андезит-риолитового комплекса [Косарев, 2006]. По гранулометрическому составу почвы глинистые и тяжелосуглинистые [Ковальский с соавт., 1981; Опекунова с соавт., 2017], величина pH почвенных растворов изменяется в пределах 5,3–7,2. Содержание гумуса в темно-гумусовом горизонте варьируется в широких пределах (4,98–14,5%) в зависимости от мощности и степени развитости почвенного профиля, а также положения его в латеральной структуре почвенной катены.

В почвах фоновых территорий металлы относительно малоподвижны. Их валовое содержание слабо изменяется по почвенному профилю. Коэффициенты радиальной миграции R близки к 1. Некоторое накопление у поверхности характерно для Cu и Zn. Концентрация подвижных (извлекаемых аммонийно-ацетатным буфером) форм увеличивается у поверхности (в слое 0–10 см), а также в горизонтах, обогащенных карбонатами. Значительная часть ТМ сосредоточена в илистой фракции (<0,001 мм). Латеральная миграция вдоль склонов увалов проявляется слабо, коэффициенты латеральной миграции $L \approx 1$. Хорошо увлажненные супераккумулятивные фации отличаются более высокими содержаниями подвижных форм ТМ, в первую очередь Cu и Zn.

Источником техногенного загрязнения в регионе служат объекты горнорудного производства по добыче и обогащению сульфидных медно-цинковых руд Сибайского медноколчеданного месторождения. Оно относится к наиболее крупным в РФ и разрабатывается с 1939 г. открытым, а с 2003 г. – шахтным способом. Вблизи отвалов и карьера протекает р. Карагайлы (рис. 1). Ниже она пересекает г. Сибай с запада на восток и впадает в р. Худолаз – приток р. Урал. Русло р. Карагайлы имеет ширину 2–6 м с разливами до 20 м, длину около 11 км. Река берет начало из-под отвалов вскрышных пород Сибайского карьера. Источником служат перемешанные подотвальные и подземные (трещинные) воды [Опекунов, Митрофанова, 2016]. Ниже в реку впадает ручей, в который сбрасываются карьерные воды. Уровень концентрации ТМ в реке обуславливает загрязнение водотоков более высокого порядка на значительном удалении от источника [Кулагин с соавт., 2008; Алибаева, Кулагин, 2014; и др.]. В 2011 г. на берегу реки были построены очистные сооружения. Сброс очищенных карьерных вод, имеющих щелочную реакцию, привел в резкому изменению структуры техногенного потока рассеяния.

Экологические исследования проводились с 2004 по 2016 гг. [Опекунов, Опекунова, 2013]. В комплекс работ в долине реки входило изучение речной воды, донных осадков, почв и растительности, подотвальных и карьерных вод, поступающих в водоток. Пробные площадки (ПП) закладывались вдоль водотока через 500–600 м. В донных осадках и почвах определялось содержание валовых и подвижных (сорбционно-карбонатных) форм тяже-

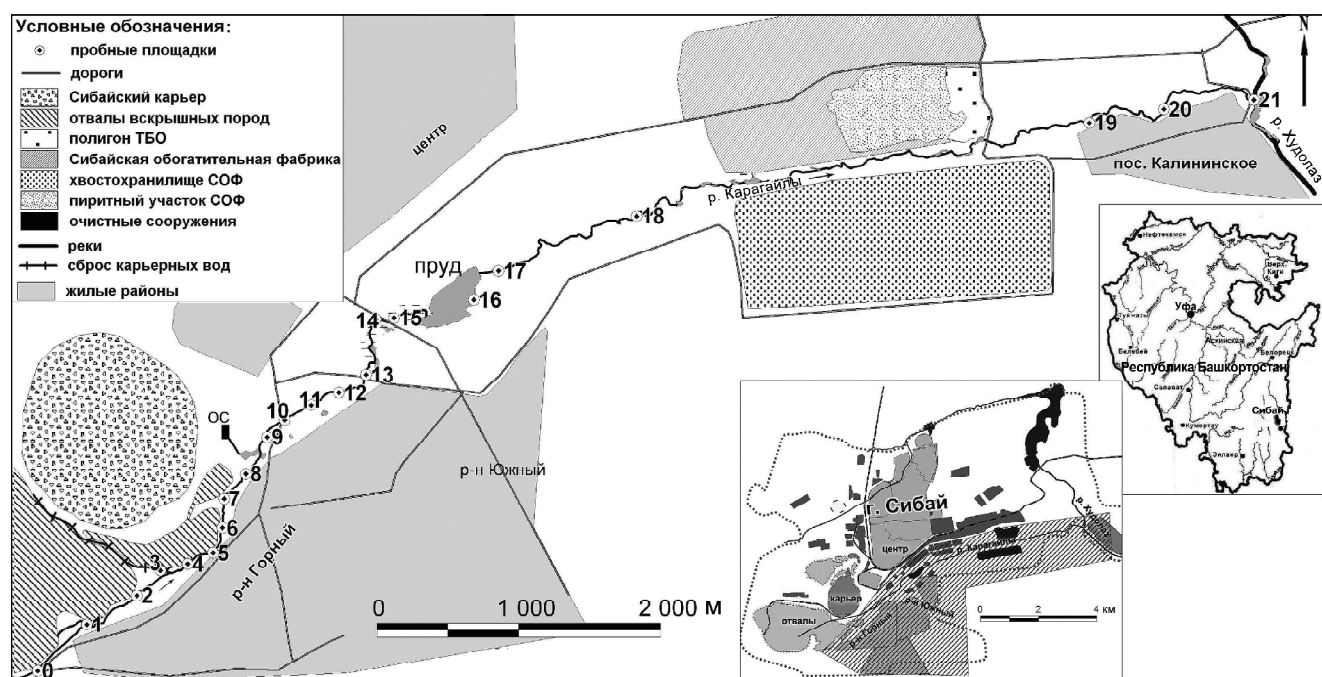


Рис. 1. Схема района исследований с размещением пробных площадок

Fig. 1. Scheme of the study area with the places of sample plots

лых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn, Ni, Co). В сточных и речных водах анализировали содержание анионов и катионов, а также ТМ. Всего проанализировано 59 проб донных осадков, 25 проб воды, 52 пробы почв и 45 проб растений. Лабораторные анализы валового содержания ТМ в донных осадках, почвах, укосах биомассы и индикаторных видах растений проводили методом ИСП-МС на приборе «Optima-4300» с полным кислотным разложением проб. Содержание металлов в воде (включая иловые), подвижные формы металлов в почве и донных осадках (с использованием ацетатно-аммонийного буфера pH 4,8) и фазовый анализ – атомно-абсорбционным методом на спектрометре «AAS-povAA 300». Фазовый анализ пяти проб донных осадков включал определение: поверхностно-сорбированных форм (0,25 моль/л $MgCl_2$); фаз, связанных с карбонатными минералами и легко разлагаемым ОВ (ацетатный буферный раствор с pH=4,8); с органическим веществом (1 моль/л раствор уксусной кислоты и перекись водорода); сорбированных на гидроксидах железа и марганца (раствор солянокислого гидроксиланамина); кристаллических (0,3 моль/л раствор соляной кислоты) и остаточных силикатных форм (по разнице валового содержания и полученных подвижных фаз) [Опекунов с соавт., 2010].

Характеристика пространственного распределения ТМ в донных осадках р. Карагайлы и почвах проведена с использованием мультипликативного показателя (МС). В данном случае он рассматривался как произведение содержания (в %) Cu, Zn и Cd, умноженное на 1000 для уменьшения разрядности величины. При сравнении содержания металлов в осадках и почвах применен метод ранжиро-

ванных геохимических спектров с использованием парного коэффициента корреляции Спирмена [Вострокнутов, 2002]. В настоящих исследованиях данная методика направлена на идентификацию источников поступления загрязнителей.

Оценка миграции и аккумуляции ТМ в почвах проведена с использованием кларка концентрации (Кк) и коэффициента радиальной дифференциации (R). Для определения поведения химических элементов в ландшафтно-геохимической катене использован коэффициент латеральной миграции (L) [Перельман, Касимов, 1999], а также почвенно-сидерационный коэффициент (K_{s-s}), представляющий отношение содержания металла в почве субаквальной фации к его содержанию в донных осадках. Для моделирования фазовых переходов в системе вода – донные осадки использован программный комплекс «Селектор-С», позволяющий проводить расчеты химических равновесий в изобарно-изотермических условиях в водном растворе электролита путем минимизации свободной энергии системы, состоящей из газовой, жидкой и твердой фаз [Шоба, Карпов, 2004].

Результаты исследований и их обсуждение. *Химический состав речной воды* определяется содержанием химических ингредиентов в подотвальных и карьерных водах, а также техногенными барьерами, вызывающими переход части металлов в твердую фазу. Состав воды, вытекающей из-под отвалов и формирующей сток реки в верхнем течении, отвечает сульфатно-магниевого типу. Минерализация составляет более 9 г/л (табл. 1) и соответствует категории солоноватых вод. В пробах обнаружены аномальные концентрации Cu^{2+} , Zn^{2+} и Cd^{2+} . В 1 км от истока в реку впадает ручей, через кото-

Таблица 1

Содержание химических ингредиентов (мг/л) в речных, подотвальных и карьерных водах

Химический ингредиент	Воды			
	подотвальные	карьерные	речные	фоновые
K ⁺	2,66	2,2	2,3	0,91
Na ⁺	154,3	165,4	104,0	24,17
Mg ²⁺	1463,1	450,4	223,8	14,72
Ca ²⁺	369,2	248,7	114,6	60,16
Cl ⁻	<2,0	<2,0	66,7	35,46
SO ₄ ²⁻	7392,2	2916,7	1340,0	49,39
HCO ₃ ⁻	не обнаружены	не обнаружены	114,7	168,89
Zn	111,0	49,0	12,47	0,02
Cu	21,0	8,1	0,296	0,007
Cd	0,59	0,15	0,0254	0,001
Ni	0,24	0,12	0,021	0,02
Mn	1,117	нет данных	0,615	0,013
Fe	0,324	нет данных	0,240	0,256
pH	4,95	3,32	4,8–7,1	7,92
Тип воды	Сульфатно-магниевый			Гидрокарбонатно-кальциевый

рый осуществляется сброс карьерных вод. Их химический состав близок к составу подотвальных вод. Отмечается низкое значение кислотно-щелочного показателя (3,5–5,0). В летнее время расход ручья и реки в месте впадения сопоставимы между собой. В воде ручья установлено большое количество взвешенных тонкодисперсных частиц. Вниз по течению реки содержание ТМ в воде зависит от величины pH: при низких значениях в верхнем и среднем течении (4,8–5,5) концентрация их максимальна. Так, содержание Cu²⁺, Zn²⁺, Cd²⁺ и Mn²⁺ превышает фон в 100–1000 раз. По мере роста pH концентрация ТМ и минерализация воды снижаются, однако средние содержания изученных ингредиентов в речных водах по сравнению с фоном характеризуются очень высоким уровнем.

Донные осадки реки сложены преимущественно пелитовыми алевритами, иногда с примесью песчаной фракции. В целом уровень накопления ТМ в осадках (табл. 2) отражает аномально высокую концентрацию их в воде. Содержание Cu, Zn, Cd в среднем на 2 порядка превышает фон. Сидерофилы (Fe, Mn, Ni и Co) и Pb характеризуются кларком концентрации (Кк) 2–4. Фазовый анализ форм Cu, Zn, Cd в донных отложениях показал, что преобладающим соединением Cu в верхнем течении водотока являются гидросульфаты. Доля их в валовом содержании вниз по течению реки уменьшается от 85 до 15% [Опекунов с соавт., 2010]. Одновременно с этим растет количество карбонатных и органических форм (с 9 до 50%). Количество адсорбированных катионов Cu²⁺ не превышает 7%. В составе силикатов

Таблица 2

Содержание металлов в донных осадках, почвах и растениях поймы р. Карагайлы после 2011 г. (мг/кг)

ТМ	Донные осадки (n=21)			Почвы (n=18)			Растения				
	валовое	доля подвижных форм, %	фон	валовое	доля подвижных форм, %	фон	укосы биомассы (n=18)	<i>Phragmites australis</i> (n=9)	<i>Artemisia austriaca</i> (n=18)	Кб макрофитов (Кб фон)	РКР
Cu	6848±2472	28,9	47	429±212	3,4	49	18,6–22,4	5,01±2,28	24,7±5,4	0,001 (0,07)	13
Zn	9419±2194	47,1	82	941±694	19,4	223	28,3–64	86±11	87,6±22	0,008 (0,283)	43
Cd	16,2±5,6	39,5	0,25	2,24±2,71	46,5	0,15	0,31–4,71	0,04±0,04	0,40±0,06	0,003 (0,128)	0,3
Pb	45,7±10,2	6,6	12	40,7±15,8	13,7	20	1,56–2,25	0,38±0,48	2,0±0,80	0,022 (0,037)	2,1
Mn	1243±403	16,3	1298	1815±768	10,0	1061	22,3–26,8	127±110	27±21	0,12 (0,013)	39
Fe	113 500±26 300	4,0	30 400	26 165±3150	0,2	37 102	286–320	48±15	308±118	0,001 (0,005)	145
Co	65,8±15,3	13,4	15	27,5±3,1	2,6	15	0,04–0,12	0,03±0,03	0,29±0,10	0,001 (0,238)	0,16
Ni	40,4±15,3	10,4	29	52,6±13,4	2,7	34	0,73–0,81	0,39±0,08	1,64±0,88	0,018 (0,105)	1,3

находится около 5% Cu. Более разнообразен фазовый состав Zn. В осадках доминируют силикатные фазы металла (32–45%). При этом высока доля карбонатных и органических форм (22–37%), а также гидросульфатов. Последние преобладают в верховьях реки (до 29%). Доля обменных форм сильно варьирует, достигая 13%. Кадмий в основном находится в адсорбированном состоянии (до 44%) и в качестве примеси в гидросульфатах (до 51%). Количество металла в составе карбонатов невелико (до 10%). Доля неподвижных силикатных форм незначительна. Таким образом, рудные металлы (особенно Cu и Cd) в донных осадках реки находятся, главным образом, в фазах, имеющих высокую потенциальную подвижность.

Места аккумуляции металлов обусловлены в основном техногенными физико-химическими барьерами. Дно реки от места выхода подотвальных вод, формирующих сток реки, на протяжении 1 км вниз по течению устлано белым порошкообразным осадком. Он сложен преимущественно гидросульфатами металлов, о чем свидетельствуют высокие содержания SO_4^{2-} (19,8%), Cu (1,24%), Zn (1,57%) и Cd (13,3 мг/кг) (рис. 2, ПП 1), значительно превышающие фоновые значения. Вероятные формы представлены купоросами Cu, госларитом ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) и гидросульфатами Fe, Zn и Cu. В виде примеси в купоросы входит Cd. По термодинамическим расчетам в ПК «Селектор-С» в осадках образуется мелантерит и гипс, но содержание Fe и Ca невелико (2,14 и 0,86%). Высока доля подвижных (сорбционно-карбонатных) форм Cu, Zn и Cd (33,0, 26,0 и 22,0% соответственно). Таким образом, первый максимум концентрации ТМ в донных осадках обусловлен переходом сульфатов в твердую фазу на щелочном барьере. Он формируется при подщелачивании (до pH 6,5) кислого дренажа сульфидных пород трещин-

ными подземными водами, разгрузка которых происходит под отвалами.

Еще один пик концентрации металлов в донных осадках отмечается на щелочном барьере в месте впадения карьерных вод (рис. 2, ПП 3). Одновременно с этим подкисление воды в реке (до pH 4,85) вызывает снижение активности процесса образования гидросульфатов и способствует осаждению металлов на этом участке за счет адсорбции глинистыми минералами. Об этом свидетельствует рост доли сорбционно-карбонатных форм в донных осадках ниже впадения ручья, которая составила для Cu 70% (при среднем значении в реке – 25–30%), Zn – 82% (среднее около 50%) и Cd – 72% (среднее 35–45%).

Ниже по течению характер миграции металлов изменился после 2011 г., когда в реку начался сброс воды с очистных сооружений в 2,2 км ниже от истока реки (рис. 2, ПП 9). Очистка карьерных вод от Cu, Zn и других халькофильных элементов производится методом флокуляции после известкования воды. Очищенная вода, сбрасываемая в р. Карагайлы, имеет pH около 10,5, что приводит к значительному росту кислотно-щелочного показателя речной воды. До запуска очистных сооружений вода реки на среднем и нижнем участках характеризовалась слабокислой и нейтральной реакцией. В промышленной зоне города (рис. 2, ПП 9–16) pH составлял до 5,45–5,75, а в устье реки вода достигала нейтральных значений (6,45–7,10). При этом в среднем течении в слабокислой среде отмечалось низкоинтенсивное отложение гидросульфатов.

Запуск очистных сооружений и значительное увеличение pH речной воды (до 7,5–8,0) привело к образованию в месте сброса комплексного сорбционно-гидроксидного и щелочного барьера (рис. 2, ПП 9). При росте щелочности воды интенсифицировался процесс осаждения металлов в составе сульфатов, началось образование бикарбоната железа $\text{FeSO}_4 + \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{CaSO}_4$ с переходом его в гидроксид: $2\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \downarrow + 6\text{CO}_2$. Это проявилось в охристой окраске осадков и аномально высокой концентрации в них Fe (до 21%). В речной воде в месте сброса содержание железа составляет 0,62 мг/л. В иловых водах донных осадков его количество снижается до порога обнаружения метода (менее 0,01 мг/л), что свидетельствует о тотальном переходе железа в твердую фазу. Свежеобразованный $\text{Fe}(\text{OH})_3$ активно адсорбирует рудные металлы. На это указывает высокая концентрация в донных отложениях Cu (до 0,83%), Zn (до 1,92%) и Cd (до 0,0048%). Содержание обменных форм этих металлов, максимальное в поверхностном слое, вниз по разрезу осадков падает в 1,3–1,8 раза вследствие раскристаллизации $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и недоступности металлов для ацетатно-аммонийной вытяжки. Таким образом, искусственный барьер вызвал активную аккумуляцию ТМ на дне в районе сброса и

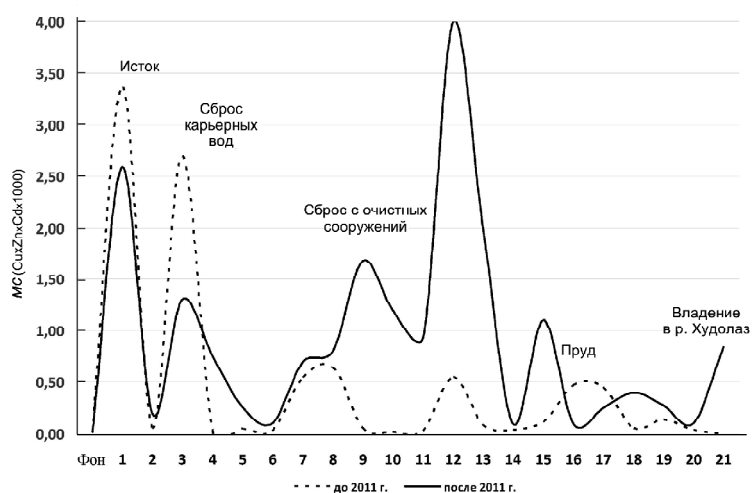


Рис. 2. Изменение мультипликативного показателя (MC) содержания Zn, Cu и Cd в донных осадках р. Карагайлы (по оси абсцисс – номера пробных площадок)

Fig. 2. Changes of the multiplicative coefficient (MC) of Zn, Cu and Cd concentrations in bottom sediments of the Karagailly River (the numbers of sample plots are indicated on abscissa axis)

ниже по течению реки (рис. 2, ПП 10–15). Его эффективность подтверждается сравнительными данными (рис. 3). Они указывают на рост концентрации валового содержания и подвижных форм ТМ в донных отложениях водотока после 2011 г. Однако при увеличении абсолютного содержания подвижных форм их доля в валовом содержании снижается, что еще раз подчеркивает возросшую роль гидроксидов железа в осаждении халькофилов.

Искусственный физико-химический барьер вызвал рост самоочищающего потенциала реки, что привело к заметному уменьшению концентрации металлов и минерализации речных вод в среднем и нижнем течении водотока. В устьевой зоне при впадении в р. Худолаз содержание Zn в воде снизилось с 15,8 до 0,826 мг/л, Cu – с 1,4 до 0,0125 мг/л и Cd – с 0,080 до 0,003 мг/л, то есть в 20–100 раз. Таким образом, качество воды р. Карагайлы в нижнем течении приблизилось к нормативному для природных вод в РФ. Одновременно уменьшилось количество металлов, которое выносится рекой Карагайлы в р. Худолаз. Предварительная оценка самоочищающей способности реки с учетом концентраций металлов в воде и расхода реки в верхнем и нижнем течении позволяет предположить, что до 2011 года около 50% Zn, поступающего в р. Карагайлы, выносилось в р. Худолаз. После запуска очистных сооружений эта величина сократилась до 5%. Для Cu аналогичный показатель изменился с 25 до 0,3%, для Cd – с 55 до 2%.

На участках расширения русла (рис. 2, ПП 8, 12 и 17) сформировались механические и биогеохимические барьеры. Но интенсивность концентрации металлов в донных осадках на них невысока (в 1,5–2,0 раза).

Почвы в пойме реки представлены черноземами гидрометаморфизованными сильногумусированными иловато-тяжелосуглинистыми. При переходе на плакор они сменяются черноземами глинисто-иллювиальными среднemosными сильногумусированными легоглинистыми. Средняя мощность почв составляет 1,0–1,5 м, мощность гумусового горизонта – 0,5–0,7 м. Под влиянием техногенеза химический состав почв в долине реки существенно трансформирован (табл. 2). Это отражается в концентрации в верхнем горизонте (0–10 см) халькофилов, которая превышает фоновые значения до 10 раз и более. Содержание сидерофилов близко к фону ($K_k < 2$). В отличие от гумусового горизонта, на всем протяжении реки содержание металлов в горизонте С изменяется незначительно и не превышает фоновые показатели.

Загрязнение почв происходит, главным образом, через аэротехногенный перенос и осаждение пылеватых частиц, представленных оксидами и сульфидами металлов. В пользу этого свидетельствует преимущественное накопление ТМ не в илстой, а в крупнопылевой фракции. При приближении к промышленным объектам количество Cu, сосредоточенное во фракции ила и коллоидов в гумусовом горизонте, уменьшается с 88 до 30%. В горизонте С доля

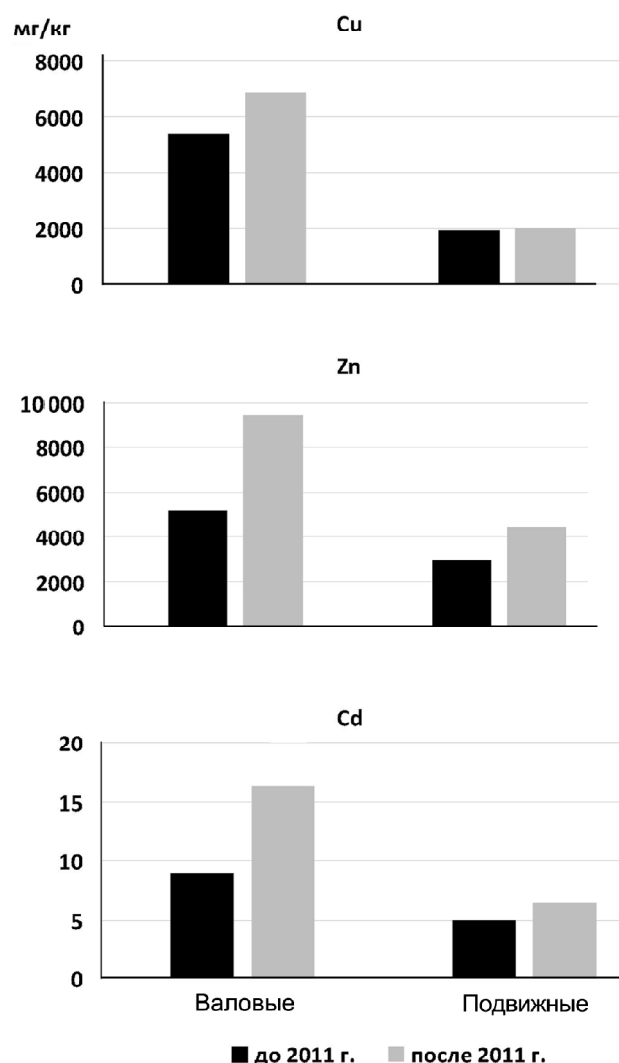


Рис. 3. Содержание валовых и подвижных форм металлов в донных осадках р. Карагайлы до начала работы и после запуска очистных сооружений в 2011 г.

Fig. 3. Concentrations of total and mobile forms of metals in bottom sediments of the Karagaily River before and after the commissioning of water treatment facilities in 2011

Zn, Fe и Cu в илстой фракции постоянна как на фоновой, так и на загрязненной территориях и составляет для Zn – 62–68%, Fe – 46–51%, Cu – 55–65%.

В верховьях реки по мере удаления от отвалов Сибайского карьера в почвах наблюдается плавное снижение валового содержания Fe, Cu, Zn и увеличение Cd (рис. 4). Однако в среднем ее течении на берегу пруда (ПП 16) отмечается резкий рост концентрации Cu, Zn и Cd, достигающей максимальных показателей и превышающей региональный фон в 17, 13 и 69 раз. В низовьях реки (ПП 19) валовое содержание Cu, Zn, Cd сопоставимо с концентрацией в верховьях реки и превышает фон в 10, 3 и 9 раз соответственно.

Почвы на берегах реки имеют слабощелочную реакцию (pH 7,88–8,24) в гумусовом горизонте и щелочную (pH 8,95) в горизонте С. Несмотря на то, что в этих условиях ТМ образуют слабо растворимые соединения, концентрация подвижных форм Cu, Zn и

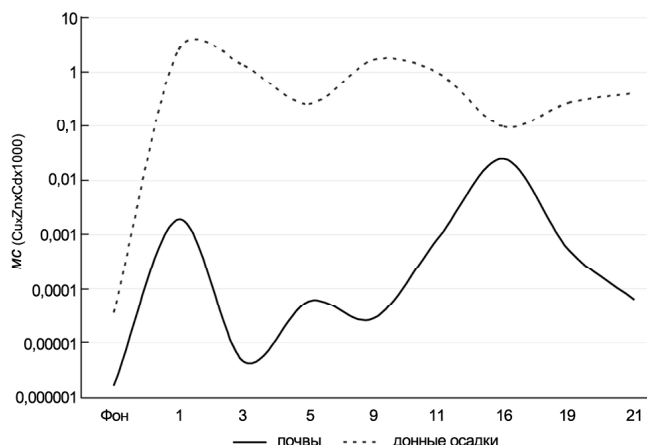


Рис. 4. Изменение мультипликативного показателя (МС) содержания Zn, Cu и Cd в донных осадках и почвах пойменной террасы р. Карагайлы (по горизонтальной оси – сопряженные точки отбора проб почв и донных осадков)

Fig. 4. Changes of the multiplicative coefficient (MC) of Zn, Cu and Cd concentrations in bottom sediments and soils of the floodplain terrace of the Karagaily River (the duplicate sampling points of soils and bottom sediments are indicated on the horizontal axis)

Cd достигает 57, 867 и 4,81 мг/кг. При этом их доля в валовом содержании составляет соответственно 6,8, 29,9 и 46,3%, что для Cu и Zn в среднем на порядок больше фона. Это можно объяснить ростом карбонатности почв в низовьях реки и соответственно увеличением доли металлов, адсорбированных CaCO_3 и извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером.

На фоне аномально высоких концентраций ТМ в техногенных потоке (воде, донных осадках) и ореоле рассеяния (почвах) биогеохимическая активность ТМ в **прибрежно-водной и наземной растительности** долины р. Карагайлы относительно невелика. Содержание большинства ТМ в биомассе тростника *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud. близко к фоновым значениям (табл. 2). Исключение составляет только повышенная концентрация Zn, превосходящая региональный кларк растений (РКР) в 3–7 раз. В укосах наземной фитомаcсы содержание металлов в целом сопоставимо с РКР. Степная растительность естественных геохимических аномалий, состоящая главным образом из злаков, адаптированных к избытку ТМ в почвах, устойчива и к техногенному загрязнению.

Исследование химического состава растений группы разнотравья позволило выявить виды-концентраторы ТМ [Опекунова, 2013], которые могут быть использованы при оценке интенсивности техногенеза – *Artemisia austriaca* L., *Veronica incana* L., *Thymus marschallianus* L. Содержание Zn, Cu, Fe и Pb в них в несколько раз превосходит РКР.

Расчет коэффициентов биологического поглощения (Кб) показал, что в техногенных ландшафтах уменьшается интенсивность аккумуляции рудных элементов растениями по сравнению с фоном. Так, у макрофитов она в среднем меньше практически на порядок. То есть растения в круговороте вещества выступают фитобарьером, стабилизирующим

(прерывающим) техногенный поток и снижающим интенсивность поступления поллютантов в высшие звенья пищевой цепи.

Анализ **структуры техногенных потоков в системе вода – донные отложения – почва – растения** показал (табл. 2), что под действием техногенеза нарушается преемственность и взаимосвязь химического состава компонентов ландшафта: горных пород, почв, воды, донных осадков, растительности. Концентрация ТМ в воде и в донных осадках существенно превышает значение регионального кларка. В донных осадках кларк концентрации достигает у Cu – 146, Zn – 115, Cd – 65. В меньшей степени это относится к почвам и растительности, которые сохраняют существенную связь с подстилающими породами. Значение кларков концентрации в почвах значительно ниже: Cu – 8,8, Zn – 4,2, Cd – 14,9.

В фоновых условиях Башкирского Зауралья содержание ТМ в донных осадках эквивалентно их концентрации в почвах субаквальных позиций, так что отношение между ними для разных ТМ находится в диапазоне $K_{s-s} = 0,5–1,3$ [Опекунов с соавт., 2017]. В техногенном потоке наблюдается выраженное накопление металлов в донных осадках реки (величина коэффициента достигает 16). Ряд уменьшения величины K_{s-s} представляет следующую последовательность: Cu (15,9) > Zn (8,7) > Cd (6,6) > Fe (4,3) > Co (2,4) > Pb (1,1) > Ni (0,8) > Cr (0,7) > Mn (0,6), причем максимальные величины присущи типоморфным элементам медноколчеданных руд. Заметный рост величины K_{s-s} объясняется тем, что решающую роль в поступлении металлов в речную систему играют подотвальнeе воды (рис. 1, ПП 1) и сброс карьерных вод (ПП 3). По нашим расчетам в техногенном потоке ежегодно в реку поступает около 53 т Zn, 3 т Cu и 100 кг Cd. Масса металлов, мобилизация которых в водоток происходит в результате латеральной миграции с водосбора, несопоставимо меньше, исходя из запасов подвижных форм в пойменных почвах (табл. 2). Эта особенность подтверждается и величиной почвенно-седиментационного коэффициента.

Металлы в донных отложениях отличаются от почв большей подвижностью, что указывает на различие форм их нахождения в твердой фазе. На долю подвижных (сорбционно-карбонатных) форм Cu и Zn приходится соответственно 25,3 и 43,0%, в почвах существенно меньше – 3,4 и 19,4%. Доля лабильных Cd и Pb в почвах больше, но в абсолютном измерении подвижный Cd преобладает в осадках. Относительно высокая подвижность Pb в почвах, вероятно, вызвана выбросами автотранспорта, влияние которого наблюдается повсеместно.

Выше отмечалось, что дифференциация металлов в реке определяется физико-химическими барьерами, в первую очередь, щелочным и сорбционно-гидроксидным. В воде величина pH меняется от верховий к устью в диапазоне 5,40–7,86; в донных осадках – 5,17–8,65. Такой градиент pH в перечисленных средах определяет высокую активность фа-

зовых переходов ТМ. В отличие от речной системы, в почвах значение pH более постоянно и характеризуется нейтральной и слабощелочной реакцией, что способствует фазовой устойчивости вещества.

Сопряженный анализ изменения химического состава почв и донных отложений под влиянием техногенеза с использованием R , L , K_{s-s} и корреляционных зависимостей показал отсутствие связи между содержанием ТМ в почвах и донных осадках. Коэффициент корреляции значений мультипликативного показателя содержания рудных металлов составил $r = -0,27$, что еще раз указывает на разорванность процессов миграции и аккумуляции металлов в подчиненных ландшафтах. Исключением служит верхнее течение реки (рис. 4, ПП 1 и 3), где наблюдается скоррелированный рост концентрации металлов в почвах и донных осадках. Здесь он вызван определяющим значением прямого поступления ТМ на почвенный покров и в водоток из-под отвалов горных пород. Ниже по течению установлена отрицательная связь между накоплением ТМ в почвах и донных осадках: увеличение MC в почвах сопровождается его сокращением в речных отложениях, например на ПП 16. Концентрацию металлов в почвах на этом участке можно объяснить нейтральным значением pH (около 7,5), наиболее благоприятным для уменьшения подвижности катионогенных металлов. Уменьшение MC в донных отложениях говорит о понижении ассимиляционного потенциала искусственного барьера вниз по реке. В результате наблюдается отсутствие взаимообусловленности процессов, которая присуща природным ландшафтам [Перельман, Касимов, 1999; Геохимия ..., 2012]. Это явление можно объяснить и разными механизмами поступления металлов. С одной стороны, аэротехногенный перенос и латеральная миграция ТМ в почвенной катене водосбора до субаквальной позиции. С другой – прямое поступление из-под отвалов и карьера и перенос в техногенном потоке рассеяния с аккумуляцией на аквальный геохимических барьерах.

Этот вывод подтверждается изучением ранжированных геохимических спектров донных осадков и почв. В качестве эталона сравнения использован спектр элементов в гидросульфатах из истока реки. По сути дела, они являются продуктом гипергенеза медно-цинковых руд, добыча и обогащение которых ведет к загрязнению окружающей среды. Коэффициенты корреляции Спирмена ранжированных спектров гидросульфатов и донных осадков характеризуются очень высокими значениями (0,87–0,99) на всем протяжении реки. Коэффициент парной корреляции геохимического спектра осредненного состава осадков с гидросульфатами составляет 0,98 (рис. 5). Ранжированные спектры ТМ в почве в меньшей степени отвечают спектру гидросульфатов. Коэффициенты парной корреляции меняются в широких пределах (от –0,25 до 0,83) в зависимости от положения в долине реки. Коэффициент парной корреляции ранжированного спектра осредненного состава почв и гидросульфатов составил 0,8. Полученные результаты под-

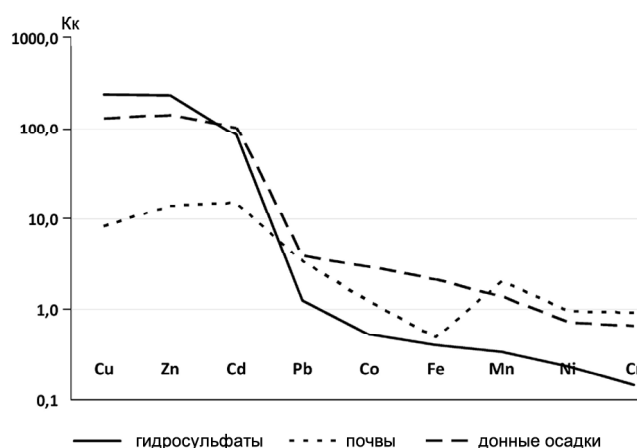


Рис. 5. Ранжированные геохимические спектры металлов в гидросульфатах, донных осадках и почвах подчиненных ландшафтов (по оси ординат – кларк концентрации металлов)

Fig. 5. The ranked geochemical spectra of metals in hydrosulphates, bottom sediments and soils of the subordinated landscapes (the percentage abundance of metals is indicated on the ordinate axis)

черкивают относительно разный спектральный состав осадков и почв и заметные отличия последнего от спектра гидросульфатов. Это, в свою очередь, указывает на различные механизмы поступления металлов, вовлеченных в латеральную миграцию в почвенной катене по склону долины и техногенном потоке рассеяния вниз по руслу реки.

Выводы:

- горнопромышленное производство приводит к существенному загрязнению окружающей среды рудными (Cu, Zn) и сопутствующими (Cd, Fe, Pb) металлами. Наиболее уязвимы к загрязнению водные объекты, занимающие в катене нижний уровень. Процессы миграции и аккумуляции металлов в аквальном ландшафте обусловлены структурой техногенных физико-химических барьеров, среди которых ведущую роль играют щелочные. Насыщенность потока металлами приводит не только к их концентрации на геохимических барьерах, но и к выносу за пределы геотехногенной системы;

- под влиянием техногенеза нарушается взаимосвязь состава компонентов в геохимическом сопряжении. В донных осадках формируются вторичные техногенные потоки, а в почвах и растениях – ореолы рассеяния. В донных отложениях р. Карагайлы накапливается большое количество рудных и сопутствующих металлов, весомая доля которых (до 50% и более) находится в сорбционно-карбонатных формах. Концентрация Cu, Zn, Cd в потоке рассеяния в среднем на два порядка превышает кларковое значение. Содержание сидерофилов (Fe, Mn, Ni и Co) и Pb характеризуется кларком концентрации (Кк) 2–4. Загрязнение почв происходит, главным образом, через аэротехногенный перенос и осаждение пылеватых частиц, представленных оксидами и сульфидами металлов. Это выражается в преимущественном накоплении ТМ в крупнопылевой фракции и в более низких концентрациях халькофилов ($K_k = n-10$) и сидерофилов ($K_k < 2$), а также в

меньшей их подвижности по сравнению с донными осадками. Латеральная миграция по склону речной долины не оказывает влияния на химизм донных осадков, который в условиях горнопромышленного техногенеза определяется техногенным потоком рассеяния веществ по руслу водотока от источника загрязнения (подотвалы и карьерные воды). Об этом свидетельствует значительный рост по сравнению с фоном почвенно-седиментационного коэффициента рудных металлов. Низкие значения коэффициента биологического поглощения растений, по сравнению с фоном, указывают на стабилизирующую (прерывающую) роль фитобарьера в техногенном потоке вещества, снижающую интенсивность поступления поллютантов в высшие звенья пищевой цепи;

– сброс щелочных сточных вод с очистных сооружений в р. Карагайлы с 2011 г. привел к формированию искусственного комплексного (щелочного и сорбционно-гидроксидного) барьера, который уве-

личил самоочищающуюся способность водотока и заметно уменьшил объем выносимых металлов в р. Худолаз – приток р. Урал. Это вызвало рост в последние годы концентрации ТМ в осадках р. Карагайлы с одновременным снижением доли обменных и карбонатных форм;

– для оценки трансформации потока металлов был использован мультипликативный показатель, который решает проблему свертки геохимической информации и облегчает проведение сравнительного анализа данных. Эффективность его применения в подчиненных ландшафтах повышается при использовании предложенного в статье почвенно-седиментационного коэффициента $K_{с-с}$. Кроме того, большую обоснованность выводам о происхождении и источниках вещества придает метод ранжирования геохимических спектров. Таким образом, использование в ландшафтно-экологических исследованиях методических приемов, принятых в поисковой геохимии, увеличивает информативность полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алибаева Л.Г., Кулагин А.Ю. Оценка уровня загрязнения тяжелыми металлами аллювиальных почв рек Башкирского Зауралья // Вестник Удмуртского ун-та. Биология, науки о Земле. 2012. Вып. 2. С. 3–9.
- Водяницкий Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами и металлоидами и их экологическая опасность (аналитический обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 872–881.
- Вострокнутов Г.А. Современные компьютерные технологии геохимического прогнозирования // Прикладная геохимия. М.: ИМГРЭ, 2002. Вып. 3. С. 287–304.
- Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазовской / Под ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. М.: АПР, 2012. 600 с.
- Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.
- Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах равнин: типология, функциональные особенности и экологическое значение // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 1. С. 8–14.
- Елпатьевский П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах. М.: Наука, 1993. 253 с.
- Емлин Э.Ф. Прикладная геохимия. Миграция цинка и кадмия в геотехногенных системах сульфидного ряда. Уч. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2005. 97 с.
- Ковальский В.В., Кривицкий В.А., Алексеева С.А., Летунова С.В., Опекунова М.Г., Скарлыгина-Уфимцева М.Д., Берман Ш., Илзиль А., Петерсон Н., Жогова Е.П., Рублик Р.Я. Южно-Уральский субрегион биосферы // Тр. биогеохимической лаборатории. 1981. Т. 19. С. 3–64.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. Петролого-геохимические особенности среднедевонско-каменноугольных островных и коллизионных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. 2006. № 1. С. 3–21.
- Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Бажа С.Н., Гунин П.Д., Голованов Д.Л., Ямнова И.А., Энхамгалан С. Загрязнение почв тяжелыми металлами в промышленных городах Монголии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 3. С. 20–27.
- Кулагин А.Ю., Кутлиахметов А.Н., Дорожников Е.М., Колесникова А.М. Техногенное загрязнение рек Башкирского Зауралья // Природное наследие России в 21-м веке. Вторая международная научно-практическая конференция, 2008. С. 230–234.
- Опекунов А.Ю., Леонтьева Л.В., Куприна М.С. Геохимические особенности современного осадкообразования в районе разработки Сибайского медноколчеданного месторождения (Южный Урал) // Вестн. СПб. ун-та. 2010. Сер. 7. Вып. 2(№ 15). С. 84–98.
- Опекунов А.Ю., Митрофанова Е.С. Миграция тяжелых металлов в техногенных потоках рассеяния Сибайского медноколчеданного месторождения // Геохимия ландшафтов (к столетию А.И. Перельмана). Докл. Всеросс. научн. конф. Москва 18–20 октября 2016 г. Географический ф-т МГУ, 2016. С. 53–57.
- Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г. Геохимия техногенеза в районе разработки Сибайского медноколчеданного месторождения // Записки Горного института. Т. 203. 2013. С. 196–204.
- Опекунов А.Ю., Опекунова М.Г., Сомов В.В. Особенности миграции и аккумуляции тяжелых металлов в геосистеме оз. Култубан (Южный Урал) // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 2. С. 52–55.
- Опекунова М.Г. Диагностика техногенной трансформации ландшафтов на основе биоиндикации. Дис. ... докт. геогр. н.: 25.00.23. СПб.: СПб. гос. ун-т, 2013. 402 с.
- Опекунова М.Г., Сомов В.В., Папан Э.Э. Загрязнение почв в районе воздействия горнорудных предприятий Башкирского Зауралья // Почвоведение. 2017. № 6. С. 744–758. DOI: 10.7868/S0032180X17060089.
- Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.
- Рафикова Ю.С., Семенова И.Н. Отходы горнорудного производства и содержание металлов в окружающей среде // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2010. № 9. С. 73–74.
- Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.
- Шоба В.Н., Карпов И.К. Физико-химическое моделирование в почвоведении. Новосибирск: РПО СО РАНХ, 2004. 180 с.
- Baron S., Carignan J., Ploquin A. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year-old pollution (Mont-Lozere, France) // Environ. Sci. Technol. 2006. V. 40. P. 5319–5326.
- IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Report 106. FAO. Rome, 2015.

Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace elements from soil to human. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Germany, U.S., 2007. 550 p.

Liu L., Wu L., Luo Y., Zhang C., Jiang Y., Qiu X. The impact of a copper smelter on adjacent soil zinc and cadmium fractions and soil organic carbon // *J. the Soils and Sediments*. 2010. V. 10. № 5. P. 808–817.

Schlesinger W.H., Bernhardt E.S. Biogeochemistry: An analysis of global change. 3-rd edition. Elsevier, 2013. 688 p.

Siegel F.R. Environmental geochemistry of potentially toxic metals. Springer-Verlag, Berlin, 2002. 218 p.

Timofeev I.V., Kosheleva N.E. Geochemical disturbance of soil cover in the nonferrous mining centers of the Selenga River basin // *Environ. Geochem. Health*. 2017. V. 39. P. 803–819. DOI:10.1007/s10653-016-9850-0.

Timofeev I.V., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. et al. Geochemical transformation of soil cover in copper – molybdenum mining areas (Erdenet, Mongolia) // *J. Soil Sediments*. 2016. V. 16. P. 1225–1237. DOI: 10.1007/s11368-015-1126-2.

Поступила в редакцию 05.03.2017

Принята к публикации 13.09.2017

**A.Y. Opekunov¹, M.G. Opekunova², V.V. Somov³,
E.S. Mitrofanova⁴, S.Y. Kukushkin⁵**

INFLUENCE OF THE EXPLOITATION OF SIBAY DEPOSIT (THE SOUTHERN URALS) ON THE TRANSFORMATION OF METAL MIGRATION IN SUBORDINATE LANDSCAPES

The regularities of migration and accumulation of heavy metals in geochemical conjugations under mining technogenic conditions were studied. The case study examines mining and milling of copper-zinc ore deposits in Sibay (the South Urals region). Landscapes in the valley of the Karagaily River, the Southern Urals, have been the objects of investigation since 2004. Soils and vegetation of the watershed, river water, bottom sediments and mine wastewater entering the watercourse were investigated, and the role of technogenic and artificial geochemical barriers was estimated.

It is found that mining industry causes significant contamination of natural environment with Cu, Zn, Cd, Fe and Pb. Water bodies occupying the lowest level in geochemical interactions experience the maximum load. On the average the concentrations of Cu, Zn and Cd in dispersion flow (water, bottom sediments) are by two orders of magnitude higher than their percentage abundances. Migration and accumulation of metals are governed by technogenic physical and chemical barriers, among which the alkaline and sorption ones play the leading role. Heavy metal concentrations in biomass, coastal aquatic and terrestrial vegetation were found. Low values of the coefficient of biological absorption by plants compared to the background were revealed. We concluded that plants act as a certain phyto-barrier stabilizing the technogenic flow of substances and reducing the intensity of pollutants consumption by top organisms of the food chain. The violation of interdependence of substance flows in subordinate landscapes and the lack of correlation between concentrations of metals in soil-forming rocks, soil, plants, water and bottom sediments are also shown.

Key words: mining production, bottom sediments, soil, pollution, heavy metals, geochemical barriers.

REFERENCES

Alibaeva L.G., Kulagin A.Ju. Ocenka urovnya zagryazneniya tyazhelymi metallami alluvial'nyh pochv rek Bashkirskogo Zaural'ya [Assessment of the level of heavy metals pollution of alluvial soils of the rivers of the Bashkir Trans-Urals] // *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya, Nauki o Zemle*. 2012. Vyp. 2. P. 3–9 (in Russian).

Baron S., Carignan J., Ploquin A. Dispersion of heavy metals (metalloids) in soils from 800-year-old pollution (Mont-Lozere, France) // *Environ. Sci. Technol.* 2006. V. 40. P. 5319–5326.

Elpat'evskij P.V. Geohimiya migracionnyh potokov v prirodnyh i prirodno-tehnogennyh geosistemah [Geochemistry of

migration flows in natural and natural-anthropogenic geosystems] M.: Nauka, 1993. 253 p. (in Russian).

Emlin Je.F. Prikladnaya geohimiya. Migraciya cinka i kadmiya v geotehnogennyh sistemah sul'fofil'nogo ryada. [Applied Geochemistry. Migration of zinc and cadmium in geo-technogenic systems of sulfophilous series] Textbook. Ekaterinburg: Izd-vo UGGU, 2005. 97 p. (in Russian).

Geohimiya landshaftov i geografiya pochv. 100 let so dnya rozhdeniya M.A. Glazovskoj [Landscape Geochemistry and Soil Geography. Centenary of the birth of M.A. Glazovskaya] / Pod red. N.S. Kasimova, M.I. Gerasimovoj. M.: APR, 2012. 600 p. (in Russian).

¹ Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Geocology and Environmental Management, Professor, D.Sc. in Geology and Mineralogy; *e-mail:* a_opekunov@mail.ru

² Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Geocology and Environmental Management, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* m.opekunova@mail.ru

³ Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Geocology and Environmental Management, post-graduate student; *e-mail:* vomos_v_v@mail.ru

⁴ Saint-Petersburg ecological company, Management Engineer; *e-mail:* mitrofanova.ek@mail.ru

⁵ Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, Department of Geocology and Environmental Management, Senior Lecturer; *e-mail:* stepic@yandex.ru

Glazovskaya M.A. Geohimicheskie bar'ery v pochvah ravnin: tipologiya, funkcional'nye osobennosti i ekologicheskoe znachenie [Geochemical barriers in the soils of plains: typology, functional features and environmental significance] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5: Geografija. 2012. № 1. P. 8–14 (in Russian).

Glazovskaya M.A. Geohimiya prirodnyh i tehnogennyh landshaftov [Geochemistry of natural and technogenic landscapes]. M.: Vysshaya shkola, 1988. 328 p. (in Russian).

IUSS Working Group WRB. World reference base for soil resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Report 106. FAO. Rome. 2015.

Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace elements from soil to human. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, Germany, U.S., 2007. 550 p.

Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. Petrologo-geohimicheskie osobennosti srednedevonsko-kamennougol'nyh ostrovoduzhnyh i kollizionnyh vulkanitov Magnitogorskoy zony v geodinamicheskom kontekste [Petrological and geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island-arc and collisional volcanites of the Magnitogorsk zone in the geodynamic context] // Litosfera. 2006. № 4. P. 3–21 (in Russian).

Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Bazha S.N., Gunin P.D., Golovanov D.L., Yamnova I.A., Jenhamgalan S. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami v promyshlennyh gorodakh Mongolii [Pollution of soils with heavy metals in the industrial cities of Mongolia] Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5: Geografiya. 2010. №3. P. 20–27 (in Russian).

Koval'skij V.V., Krivitskij V.A., Alekseeva S.A., Letunova S.V., Opekunova M.G., Skarlygina-Ufimtseva M.D., Berman Sh., Ilzin' A., Peterson N., Zhogova E.P., Rublik R.Ya. Yuzhno-Ural'skij subregion biosfery [The Southern Urals subregion of the biosphere] // Tr. biogeokhim. lab. 1981. T. 19. P. 3–64 (in Russian).

Kulagin A.Yu., Kutliahetov A.N., Dorozhkin E.M., Kolesnikova A.M. Tehnogennoe zagryaznenie rek Bashkirskogo Zaural'ya [Technogenic pollution of rivers in the Bashkir Trans-Urals] // Prirodnoe nasledie Rossii v 21-m veke. Vtoraya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, 2008. P. 230–234 (in Russian).

Liu L., Wu L., Luo Y., Zhang C., Jiang Y., Qiu X. The impact of a copper smelter on adjacent soil zinc and cadmium fractions and soil organic carbon // J. the Soils and Sediments. 2010. V. 10. № 5. P. 808–817.

Opekunov A.Yu., Leont'eva L.V., Kuprina M.S. Geohimicheskie osobennosti sovremennogo osadkoobrazovaniya v rajone razrabotki Sibajskogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya (Juzhnyj Ural). [Geochemical features of modern sedimentation in the development area of Sibay massive sulfide deposit (Southern Urals)] // Vest. S.-Peterb. un-ta. 2010. Ser. 7. Vyp. 2. (№ 15). P. 84–98 (in Russian).

Opekunov A.Yu., Mitrofanova E.S. Migraciya tyazhelyh metallov v tehnogennyh potokah rasseyaniya Sibajskogo mednokolchedannogo mestorozhdeniya [Migration of heavy metals in technogenic dispersal flows of the Sibay massive sulfide deposit] Geohimiya landshaftov (k stoletiyu A.I. Perel'mana) // Dokl. Vseross. nauchn. konf. Moskva 18–20 oktyabrya 2016 g. Geograficheskij f-t MGU, 2016. P. 53–57 (in Russian).

Opekunov A.Yu., Opekunova M.G. Geokhimiya tekhnogeneza v rayone razrabotki Sibajskogo medno-kolchedannogo mestorozhdeniya // [Geochemistry of technogenesis in the area of the Sibay massive sulfide deposit development] Zapiski Gornogo instituta. T. 203. 2013. P. 196–204 (in Russian).

Opekunov A.Yu., Opekunova M.G., Somov V.V. Osobennosti migracii i akumulacii tyazhelyh metallov v geosisteme oz. Kultuban (Yuzhnyj Ural). [Specific features of migration and accumulation of heavy metals in the ecosystem of the Kultuban Lake (the Southern Urals)] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. 2017. № 2. P. 52–55 (in Russian).

Opekunova M.G. Diagnostika tehnogennoj transformacii landshaftov na osnove bioindikacii [Diagnostics of the anthropogenic transformation of landscapes on the basis of bioindication.]. Diss. dok. geogr. nauk: 25.00.23: zashchishhena 05.03.13 : utv. 10.02.14. SPb.: Sankt-Peterburgskij gos. un-t., 2013. 402 p. (in Russian).

Opekunova M.G., Somov V.V., Papyan E.E. Soil Contamination in the Impact Zone of Mining Enterprises in the Bashkir Transural Region // Eurasian Soil Science. 2017. V. 50. № 6. P. 732–745. DOI: 10.1134/S1064229317060084

Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geohimiya landshafta [Landscape Geochemistry]. M.: Astreya-2000, 1999. 610 p. (in Russian).

Rafikova Yu.S., Semenova I.N. Othody gornorudnogo proizvodstva i sodержanie metallov v okruzhayushhej srede [Mining wastes and metal concentrations in the environment] // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij. 2010. № 9. P. 73–74 (in Russian).

Regiony i goroda Rossii: integral'naya ocenka ekologicheskogo sostoyaniya [Regions and cities of Russia: an integrated assessment of the environmental condition] / Pod red. N.S. Kasimova. M.: IP Filimonov M.V., 2014. 560 p.

Schlesinger W.H., Bernhardt E.S. Biogeochemistry: An analysis of global change. 3-rd edition. Elsevier, 2013. 688 p.

Shoba V.N., Karpov I.K. Fiziko-himicheskoe modelirovanie v pochvovedenii [Physical-chemical modeling in the soil science]. Novosibirsk: RPO SO RASHN, 2004. 180 p. (in Russian).

Siegel F.R. Environmental geochemistry of potentially toxic metals. Springer-Verlag, Berlin, 2002. 218 p.

Timofeev I.V., Kosheleva N.E. Geochemical disturbance of soil cover in the nonferrous mining centers of the Selenga River basin // Environ. Geochem. Health. 2017. V. 39. P. 803–819. DOI:10.1007/s10653-016-9850-0.

Timofeev I.V., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. et al. Geochemical transformation of soil cover in copper – molybdenum mining areas (Erdenet, Mongolia) // J. Soil Sediments. 2016. V. 16. P. 1225–1237. DOI: 10.1007/s11368-015-1126-2.

Vodyanickij Yu.N. Zagryaznenie pochv tyazhelymi metallami i metalloidami i ih ekologicheskaya opasnost' (analiticheskij obzor) [Pollution of soils with heavy metals and metalloids and their environmental hazard (analytical review)] // Pochvovedenie. 2013. № 7. P. 872–881 (in Russian).

Vostroknutov G.A. Sovremennye komp'yuternye tehnologii geohimicheskogo prognozirovaniya [Modern computer technologies of geochemical forecasting] // Prikladnaya geohimiya. M.: IMGRE, 2002. Vyp. 3. P. 287–304 (in Russian).

Received 05.03.2017

Accepted 13.09.2017

УДК 911.52

А.С. Табелинова¹

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ НА ТЕРРИТОРИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ПРИКАСПИЯ (АТЫРАУСКАЯ И МАНГЫСТАУСКАЯ ОБЛАСТИ КАЗАХСТАНА)

На основе изучения дифференциации геоморфологических уровней в результате истории развития региона и периодического колебания уровня моря выделена высотно-ландшафтная дифференциация территории с учетом различий ландшафтных особенностей северо-восточного Прикаспия и специфики геоэкологических процессов. Определены границы пространственного распространения и степень развития исследуемых процессов, оценены природные и антропогенные факторы их развития.

Ключевые слова: современные ландшафты, высотно-ландшафтные ярусы, колебание уровня моря, геоэкологические районы.

Введение. Современные ландшафты северо-восточного Прикаспия сформировались в процессе длительной истории естественной эволюции природной среды в условиях периодического колебания уровня моря со следами исторических трансгрессий (бакинской, хазарской, хвалынской и новокаспийской) и регрессий [Леонтьев с соавт., 1977], а также под влиянием интенсивного хозяйственного освоения побережья, получившего развитие с начала XX в. В четвертичную эпоху колебания уровня Каспийского моря были связаны с резкими изменениями климата на Русской равнине – чередованием ледниковых и межледниковых эпох, когда менялся циркуляционный режим атмосферы и сток Волги [Свиточ, 2014]. В XX в. уровень Каспийского моря существенно изменялся дважды: в 1929 г. достиг отметки –26 м, после 1930 г. уровень стал стремительно понижаться и в 1977 г. достиг отметки –29,02 м, то есть занял самое низкое положение за последние 200 лет, что привело к обсыханию обширных прибрежных площадей дна [Рычагов, 2011]. Начиная с 1979 г. уровень Каспия начал резко повышаться и за период с 1979 по 1991 гг. поднялся почти на 2,5 м при средней интенсивности около 15 см/год [Каплин, 2010]. В 1995 г. повышение уровня замедлилось и с 1996 г. вновь наблюдалось его понижение. Из-за малого уклона дна прибрежной зоны северной и северо-восточной частей Каспийского моря и прилегающей к ней суши происходит постоянная перестройка береговой линии, охватывающая до 15 км при изменениях фонового уровня моря на один метр и до 20–30 км при сгонно-нагонных колебаниях уровня моря [Кожаметов, Парамонова, 1999].

Быстрые изменения уровня моря, а также интенсификация хозяйственной деятельности оказывают значительные влияния на динамику ландшафтов побережья и определяют развитие геоэкологических процессов. Рассмотрим следующие геоэкологические процессы: засоление, деградацию растительного покрова, ветровую эрозию (дефляцию), водную эрозию (линейную и плоскостной

смыв), подтопление и затопление, абразию берегов (рис. 1), а также процесс техногенного загрязнения вследствие развития нефтедобычи и периодического подтопления законсервированных нефтяных скважин. Под *геоэкологическими процессами* понимаются изменения, происходящие в пределах современных ландшафтов под влиянием антропогенных воздействий (перевыпаса скота, нефтедобычи) на фоне естественной эволюции природной среды (неотектонических движений, трансгрессий и регрессий Каспийского моря) и оказывающие положительное или отрицательное влияние на жизнедеятельность населения (расселение, продуктивность сельскохозяйственных угодий и др.).

Геоэкологические процессы северо-восточного Прикаспия были классифицированы: 1) *по генезису* на природные и антропогенные, в зависимости от условий и причин их возникновения. Например, процессы дефляции и эоловой аккумуляции на исследуемой территории имеют в основном природный характер и связаны с накоплением на большей части территории песчано-детритово-глинистых отложений неоген-четвертичного возраста [Леонтьев с соавт., 1977], накопившихся в результате новейших трансгрессий уже обособившегося внутриконтинентального морского бассейна. Также к природным факторам развития процессов дефляции и эоловой аккумуляции на исследуемой территории относятся интенсивное физическое выветривание горных пород, сухость продуктов выветривания, незначительное количество атмосферных осадков (на северном побережье 170–190 мм, понижаясь к юго-востоку до 140–150 мм), частые и сильные ветры (от 4 до 7 м/сек.), отсутствие или разреженность растительного покрова. В дополнение к природной обусловленности развития процессов с начала XX века нарастает роль антропогенных факторов, таких как перевыпас скота, строительство дорог, прокладка нефтепроводов и др.; 2) *по типу воздействия* на ландшафты и хозяйственную деятельность геоэкологические процессы могут играть как положитель-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, аспирант; e-mail: biota0506@mail.ru

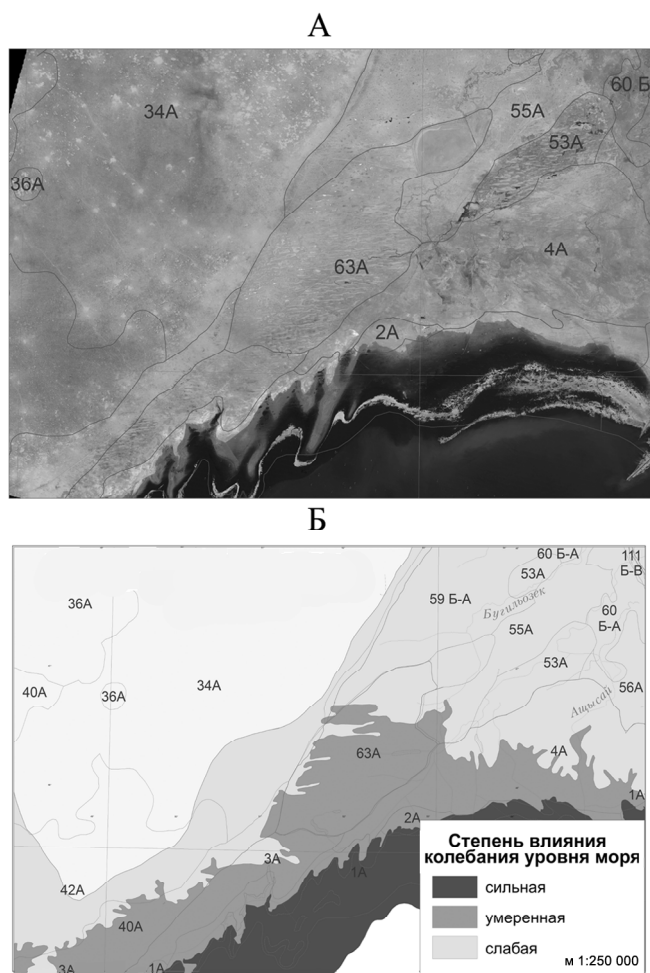


Рис. 1. Схема дешифрирования космического снимка участка северного побережья Каспийского моря (2011 г.): А – синтез каналов 4, 3, 2 многозонального снимка Landsat; Б – фрагмент карты влияния колебания уровня моря на прибрежные ландшафты

Fig. 1. Space image interpretation of the part of the North Caspian Sea coast (2011): А – 4, 3, 2 Landsat image bands synthesis, Б – fragment of the map of the impact of sea level fluctuations on the coastal landscapes

ную, так и отрицательную роли. Положительное воздействие геоэкологических процессов наблюдается при повышении уровня моря. В это время происходит увеличение общего проективного покрытия почв растительным покровом в прибрежной зоне, что приводит к увеличению площади пастбищных угодий. В результате эоловой аккумуляции образуются участки с повышенной инфильтрацией и формируются подпесчаные линзы пресных вод, являющиеся основными источниками питьевой воды в центральной части Мангыстауской области. Во время регрессии Каспийского моря происходит подтягивание высокоминерализованных грунтовых вод в прибрежной зоне, увеличивается засоление почв, уменьшая общее проективное покрытие и видовое разнообразие растительного покрова, что приводит к уменьшению площади кормовых угодий; 3) по интенсивности развития геоэкологические процессы делятся на сильные, умеренные и слабые, так

как под интенсивностью их развития понимается изменение (увеличение, уменьшение) площади распространения или усиление степени проявления исследуемого процесса в пределах подвидов ландшафта за определенный период времени. Выявление динамики площади процессов проводилось на основе полевых и дистанционных методов на ключевых участках (в масштабе 1:500 000).

Основная задача исследования – выявить природные и антропогенные факторы формирования и интенсивности проявления геоэкологических процессов в современных ландшафтах северо-восточного Прикаспия на основании разработанных критериев и оценки их пространственной дифференциации с помощью геоинформационного картографирования, провести геоэкологическое районирование исследуемой территории.

Под геоэкологическим районированием понимается дифференциация территории на геоэкологические районы, выделяемые на основе анализа высотно-ландшафтной ярусности территории и объединения однотипных по ландшафтным условиям подвидов ландшафтов с преобладающими геоэкологическими процессами.

Материалы и методы исследований. Благодаря наиболее значимым разработкам Н.И. Андрусова, С.А. Ковалевского, О.К. Леонтьева, Е.Г. Маева, А.В. Мамедова, Г.И. Попова, Г.И. Рычагова, А.А. Свиточа, П.А. Каплина, Е.И. Игнатова, Р.К. Клиге и других исследователей был собран фактологический материал по геологии и геоморфологии Каспийского региона, полученный во время геолого-съемочных работ [Геология СССР, 1970]. Геоэкологическим процессам, обусловленным резким колебанием уровня моря за последние 50–70 лет, посвящены многие работы [Каспийское море, 1987; Геоэкология Прикаспия, 1997; Рычагов, Жиндарев с соавт., 1996; Свиточ, Янина, 1997; Сафьянов, Игнатова с соавт., 1997; Кравцова, 1997; Глазовский, 2005; Свиточ, 2010; Бадюкова, Игнатова с соавт., 2004; Бадюкова, 2010; Каплин, 2010; Касимов, Геннадиев с соавт., 2000; Акианова с соавт., 2014], процессам, связанным с антропогенным воздействием – несколько меньшее количество [Диаров, 2005; Зонн, Жильцов, 2008; Крылова с соавт., 2010].

Исследуемые геоэкологические процессы рассматривались в пределах ландшафтов северо-восточного Прикаспия с применением комплекса географических методов: полевых исследований, ландшафтно-типологического, сравнительно-географического, системного анализа, картографического, дешифрирования данных дистанционного зондирования (ДДЗ). Основой работы послужили материалы, собранные автором при проведении полевых исследований на территории Мангыстауской и Атырауской областей с 2013–2015 гг. в рамках проекта «Создание Атласа и геопространственной оценки природно-ресурсного потенциала, социально-экономического развития и экологического состояния территории Атырауской области на основе ГИС-технологий» [Табелинова, 2014] и участия в проекте ГЭФ/ПРООН «Оценка ситуа-

ции по процессам опустынивания (движение песков) в отдельных районах Мангыстауской области и выработкой рекомендаций», выполняемые институтом географии Республики Казахстан.

На основе проведенного анализа развития геоэкологических процессов в пределах различных антропогенных модификаций ландшафтов с помощью полевых исследований и с применением синтезированных многозональных космических снимков Landsat 5 определены прямые и косвенные дешифровочные признаки [Кравцова, 2005] пространственного распространения и интенсивности исследуемых процессов. Геоэкологические процессы изучались на ключевых участках (в масштабе до 1:500 000), которые выбирались в зависимости от наибольшей подверженности ландшафтов развитию определенного процесса (рис. 2). В качестве примера могут служить такие геоэкологические процессы, как засоление и водная эрозия. Изучение засоления как ответной реакции современных ландшафтов на периодические колебания уровня моря и последствия нефтедобычи проводилось по данным ДДЗ и геоинформационного картографирования в пределах залива Кайдак и Комсомолец, где вышедшие из-под воды участки, заняты рапой и представляют собой обширнейшую сорово-солончаковую равнину, которая расширяется во время регрессий моря. Прямыми дешифровочными признаками засоления почв являются морфологическая выраженность процесса (светлый тон и четкие контуры рисунка, солевая корка на поверхности), глубина и минерализация грунтовых вод, косвенными признаками – видовой состав растительности (одно- и многолетнесолянковая растительность), появление галофитной растительности на месте тростниково-камышовых зарослей в ландшафтах первичной морской равнины. В результате использования снимков за разные годы и расчета индекса засоления (NDSI) и других индексов выделены сильно-, средне- и слабозасоленные почвы. Процессы *водной эрозии* (линейной эрозии и плоскостного смыва) изучались на ключевом участке, охватывающим обширную зону поднятий г. Мангыстау с островными вершинами г. Каратау (532 м над ур. моря) и г. Бесшоки (556 м над ур. м.), плато Мангышлак с крутыми и высоложенными склонами, сложенными рыхлыми породами мела и юры. Прямыми дешифровочными признаками водной эрозии (линейного и плоскостного смыва) являются крутизна и экспозиция склонов, косвенными – образование конусов выноса и направление потока выносимого материала.

Изучение пространственного распространения и степени проявления исследуемых геоэкологических процессов на основе ландшафтного подхода, раскрывающего историко-генетические особенности развития ландшафтов, позволило дать комплексный анализ исследуемой территории и провести геоэкологическое районирование северо-восточного Прикаспия с использованием определенного классификационного признака на каждой ступени (рис. 3). Например, по морфоструктурным особенностям и

генезису рельефа были выделены 5 ландшафтных ярусов, то есть геоморфологические уровни, отличающиеся по абсолютной высоте, возрасту и истории геологического развития, условиям проявления зональных и аazonальных факторов, обуславливающих особенности ландшафтного строения территории. Выделение ландшафтных ярусов и подъярусов было проведено на основе типологического районирования, что позволило объединить несколько подвидов ландшафтов по обобщенному классификационному признаку (морфоструктурному, морфолитологическому, генезису рельефа) [Арманд, 1975]. По принципу индивидуального районирования выделены геоэкологические районы на основе синтеза подвидов ландшафтов по доминирующему геоэкологическому процессу внутри одного ландшафтного яруса/подъяруса. Каждый выделенный район носит индивидуальный характер по типу антропогенного использования, генезису и интенсивности развития доминирующего геоэкологического процесса, имеет индивидуальное название в зависимости от его расположения. Индивидуальное районирование опирается на предварительно проведенное типологическое районирование (высотно-ландшафтную дифференциацию территории) [Арманд, 1975], так как ландшафтные ярусы и подъярусы выступают в роли (макро)фактора ландшафтной дифференциации.

Результаты исследований и их обсуждение. Основной особенностью, определяющей пространственное распространение и степень проявления геоэкологических процессов в современных ландшафтах северо-восточного Прикаспия, являются периодические колебания уровня моря [Табелинова, 2014], высотно-ландшафтная дифференциация территории и усиливающаяся антропогенная нагрузка в связи с развитием нефтедобывающей промышленности в регионе.

Дистанционный метод исследования позволил выявить современную активную зону влияния колебания уровня моря на прибрежные ландшафты, которая проходит по границе новокаспийской морской равнины с тремя поверхностями: террасами 1929, 1940 гг. и максимума новокаспийской трансгрессии, которые в настоящее время несут на себе отпечатки современных колебаний уровня моря и хорошо дешифрируются на многозональных космических снимках.

Терраса 1929 г. выделяется на синтезированном снимке Landsat светлым тоном (современные ландшафты 2А, 3А, 4А), белый цвет свидетельствует о распространении здесь солончаков, обусловленном подтоплением и переувлажнением на момент съемки [Кравцова, Мяло, 1998]. Терраса максимума новокаспийской трансгрессии проходит по границе аллювиально-дельтовой равнины р. Жайык (Урал).

В результате анализа синтезированных снимков Landsat прибрежной зоны северо-восточного Каспия за 1977, 1987, 1998 и 2013 гг. и идентификации водного зеркала на основе нормализованного дифференциального индекса влагосодержания NDWI

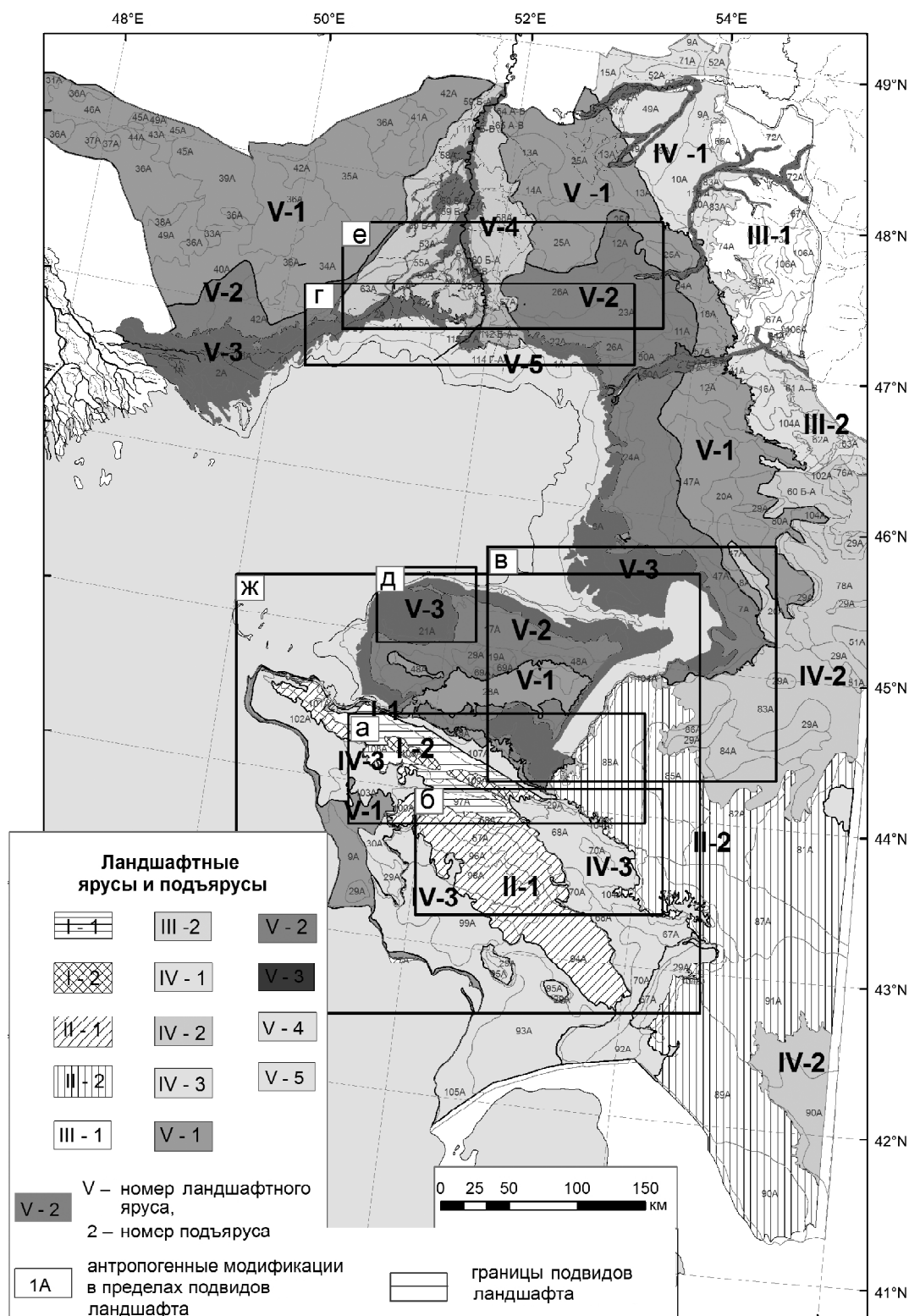


Рис. 2. Ландшафтные ярусы и подъярусы северо-восточного Прикаспия. Масштаб 1:2 500 000. Ключевые участки исследования интенсивности проявления геоэкологических процессов: склоновые процессы (а – линейная эрозия, плоскостной смыл), б – эоловые процессы (дефляция и эоловая аккумуляция), в – соровые процессы (засоление и сорная дефляция), г – береговые процессы (абразия, озерная аккумуляция, подтопление и затопление вследствие колебания уровня моря), д – техногенные процессы (техногенное загрязнение), е – деградация растительного покрова, ж – фрагмент карты геоэкологического районирования на рис. 3

Fig. 2. Landscape strata and sub-strata of the Northeastern Caspian region. Scale 1:2 500 000. Key areas of studying the intensity of geoecological processes: slope processes (a – linear erosion, deluvial-proluvial slope-wash), б – aeolian processes (deflation and wind deposition); в – sor processes (salinization and sor deflation), г – coastal processes (coast erosion, limnic sedimentation, waterlogging and flooding caused by sea level fluctuations); д – anthropogenic processes (technogenic pollution); е – vegetation cover degradation; ж – fragment of the geoecological zoning on map 3

(Normalized Difference Water Index) [Gao, 1995] были выделены 3 зоны по степени влияния колебаний уровня моря на прибрежные ландшафты: слабая, умеренная и сильная (рис. 1, Б).

Наиболее сильному влиянию вследствие колебания уровня моря подвергается такой вид ландшафтов, как первичная морская слабонаклонная равнина, расположенная в пределах бывшей трансгрессии 1978–1995 гг. (абс. высота –28,94...–26,92 м), так как претерпевает существенные изменения гидролого-морфологических и гидрохимических процессов при сгонно-нагонных явлениях. Ландшафты, расположенные в пределах бывшей ранневокаспийской трансгрессии, которые не подвергаются периодическому подтоплению вследствие сгонно-нагонных процессов ввиду отдаленности от береговой линии моря, находящиеся в условиях относительно глубокого залегания минерализованных грунтовых вод (более 50 м), подвергаются слабому влиянию колебаний уровня моря.

Отправной точкой в выделении ландшафтных ярусов и подъярусов стала теория вертикальной дифференциации территорий [Николаев, 1979; Исаченко, 1991], отличающихся по возрасту, особенностям становления их современной структуры, условиям проявления зональных и аazonальных факторов, что оказывает значительное влияние на особенности ландшафтного строения и характер геоэкологических процессов.

На территории северо-восточного Прикаспия выделено 5 ландшафтных ярусов и 14 подъярусов: I – верхний ярус представлен эрозионно-денудационным грядово-увалистым резко расчлененным низкорельефом Центрального Мангыстау (абс. высоты 250–560 м), сложенным осадочными породами кайнозоя на молодой платформе с палеозойским фундаментом; II – ярус выше среднего – структурные возвышенные денудационные плато Устюрта и пластовые равнины Мангыстау (абс. высоты 150–300 м), сложенные осадочными породами кайнозоя на молодой платформе с палеозойским фундаментом; III – средний ярус – Подуральское структурно-денудационное плато (абс. отметки 50–200 м), сложенное осадочными породами кайнозоя на древней платформе с допалеозойским фундаментом с ландшафтами пластовой наклонной, холмисто-грядовой равнины; IV – ярус ниже среднего – подножья склонов гор Мангыстау, Актау, чинков Устюрта с конусами выносов (абс. высоты 0–100 м) представлен пластово-аккумулятивными и пластово-денудационными равнинами, сложенными осадочными породами кайнозоя на молодой платформе с палеозойским фундаментом; V – нижний ландшафтный ярус погруженной части Прикаспийской низменности с отрицательными абсолютными отметками поверхности (–29,0 м), представлен пластово-аккумулятивными и аккумулятивными субгоризонтальными равнинами на морских четвертичных отложениях с современными морскими террасами и покатыми поверхностями хвалыньских и новокаспийских морских равнин. Значительное влияние на

ландшафтную структуру нижнего (V) яруса оказали длительные трансгрессии моря, что объясняет его хорошо выраженное террасированное строение и позволяет подразделить на 5 подъярусов (V-1–V-5), различающихся по абсолютной высоте, глубине залегания высокоминерализованных грунтовых вод, особенностям почвенно-растительного покрова и развитием таких геоэкологических процессов, как засоление, дефляция и деградация растительного покрова (рис. 2).

Антропогенные факторы обуславливают условия пространственной дифференциации геоэкологических процессов в пределах выделенных ландшафтных ярусов и подъярусов северо-восточного Прикаспия. Ландшафты северо-восточной ранневокаспийской морской аккумулятивной равнины с соровыми и озерными понижениями, подверженной сильной степени засоления в условиях близкого залегания (до 6 м) высокоминерализованных (более 50 г/дм³) грунтовых вод, подверглись интенсивному загрязнению техногенными нефтеуглеводородами после открытия в 1914 г. месторождений Макат и Доссор в Прикаспийской нефтегазовой провинции [Диаров, Гиладжов, 2005]. Верхний почвенный горизонт был сильно загрязнен и полностью нарушен в результате проложения нефте- и газопроводов, поэтому кроме процессов засоления и песчаной дефляции в данных ландшафтах активно проявляется техногенное загрязнение.

Геоэкологические процессы в основном имеют комплексное воздействие, трансформируя в той или иной степени все компоненты ландшафта. При этом практически всегда можно выделить процессы, наиболее выраженные на фоне общих негативных изменений в пределах одного вида ландшафта. Основное распространение на территории северо-восточного Прикаспия получили засоление и ветровая эрозия (дефляция). Засоление связано с высокой минерализацией и неглубоким залеганием грунтовых вод (1–6 м), сильным испарением в условиях сухого и жаркого климата и нефтедобычей. Дефляция в свою очередь связана с накоплением на большей части территории песчано-детритово-глинистых отложений неоген-четвертичного возраста в результате новейших трансгрессий уже обособившегося внутриконтинентального морского бассейна [Акиянова, Нурмамбетов, 1998], интенсивным физическим выветриванием горных пород, а также с антропогенными факторами (перевыпасом скота, деградацией растительного и почвенного покрова).

Выводы:

– по морфоструктурным особенностям и генезису рельефа выделено 5 ландшафтных ярусов; по морфолитологическим и морфометрическим характеристикам рельефа, обуславливающим развитие геоэкологических процессов природного генезиса, выделено 14 ландшафтных подъярусов; по преобладающему геоэкологическому процессу и его генезису, в соответствии с различными типами антропогенного использования, ландшафтные подъярусы подразделены на 64 геоэкологических района;

по степени проявления доминирующих геоэкологических процессов геоэкологические районы разделены на 127 геоэкологических подрайонов.

На фрагменте карты геоэкологического районирования (рис. 3) видно, что преобладающую часть полуострова Бузачи занимают ландшафты нижнего яруса (V), сформированные в условиях близкого залегания высокоминерализованных грунтовых вод; нижняя прибрежная поверхность (подъярус V-3) представлена ландшафтами первичной плоской морской слабонаклонной равнины с луговой растительностью на лугово-болотных засоленных почвах и соровых солончаках, подверженных процессам засоления и деградации растительного покрова. По границам распространения геоэкологических процессов и степени их проявления в подъярсе V-3 были выделены Оликолтыкский (V3-58) и Улкенсорский (V3-59) геоэкологические районы. Улкенсорский геоэко-

логический район помимо активного развития процесса засоления подвергается техногенному загрязнению нефтеуглеводородами в пределах месторождений Каражанбас и Арман. Преобладающую часть полуострова Мангыстау занимают ландшафты верхнего ландшафтного яруса I (горы Мангыстау, хребет Каратау) и выше среднего II (структурные возвышенные денудационные плато Устюрта и плас- товые равнины Мангыстау). Дифференциация геоэкологических районов в пределах низкорья Центрального Мангыстау проводилась по границам распространения и степени проявления склоновых процессов – линейной эрозии и делювиального смыва (рис. 3, геоэкологические районы I2-1, I2-2).

Дифференциация геоэкологических районов является основой для разработки планов по минимизации развития неблагоприятных геоэкологических процессов.

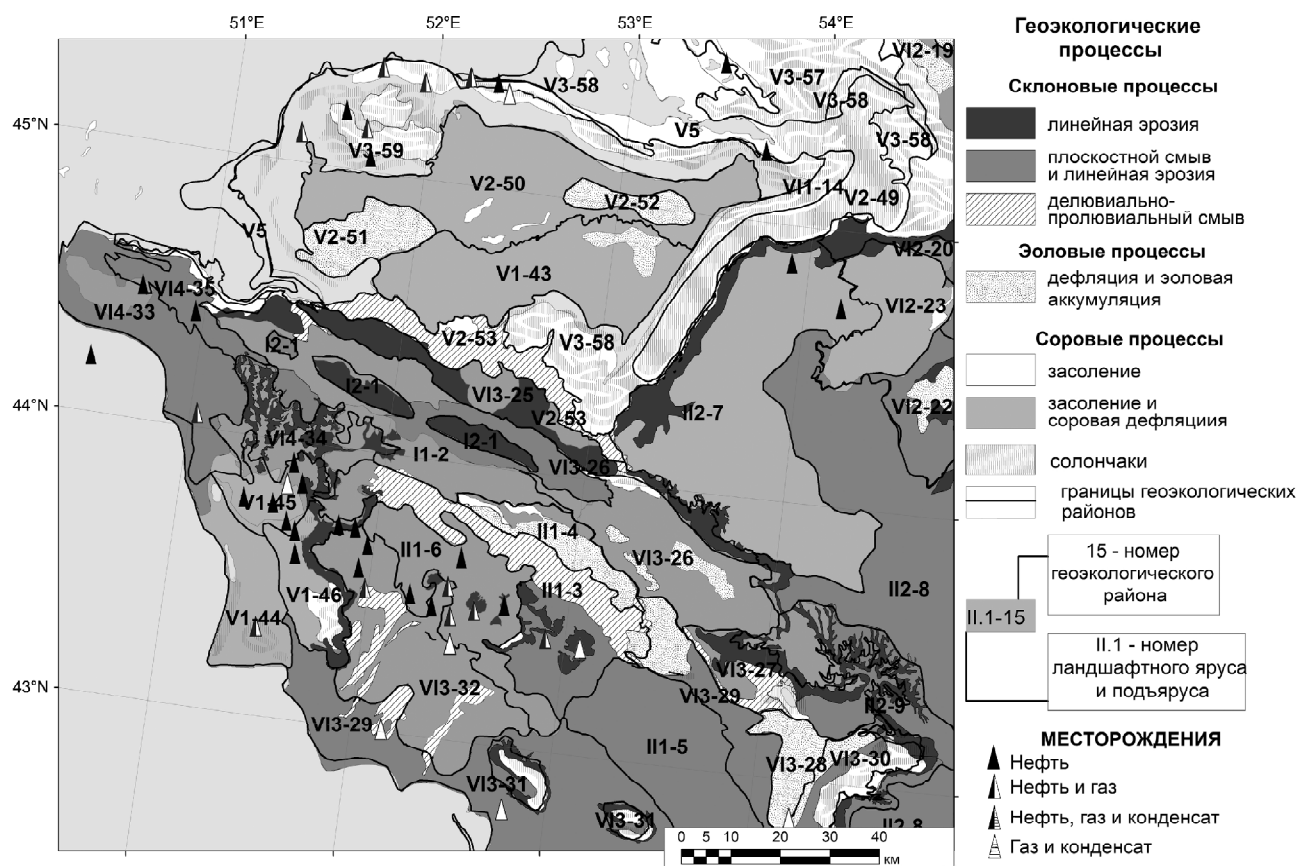


Рис. 3. Фрагмент карты «Геоэкологическое районирование северо-восточного Прикаспия». Масштаб 1:1 000 000 (полуострова Мангыстау и Бузачи)

Fig. 3. Fragment of the map «Geoeological zoning of the Northeastern Caspian Sea region» (scale 1:1 000 000) (the Mangistau and Buzachi peninsulas)

Благодарности. Исследование выполнено в рамках проектов Института географии Республики Казахстан: 1) «Создание Атласа и геопространственной оценки природно-ресурсного потенциала, социально-экономического развития и экологического состояния территории Атырауской области на основе ГИС-технологий»; 2) «Оценка ситуации по процессам опустынивания (движение песков) в отдельных районах Мангыстауской области и выработка рекомендаций» по заказу ГЭФ/ПРООН. Автор выражает признательность научным руководителям канд. геогр. н., доценту Е.В. Милановой и докт. геогр. н. И.Е. Тимашеву за помощь и поддержку при выполнении работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акиянова Ф.Ж., Нурмамбетов Э.И.* Геоморфология шельфа и береговой зоны казахстанской части Каспийского моря в условиях современной трансгрессии // Доклад на III Ассамблее университетов прикаспийских государств. Актау, 1998. С. 198–200.
- Арманд Д.Л.* Наука о ландшафте. М.: Мысль, 1975. 286 с.
- Геоэкологические изменения при колебаниях уровня Каспийского моря / Под ред. П.А. Каплина, Е.И. Игнатова. М.: Географический ф-т МГУ, 1997. 208 с.
- Диаров М.Д., Гилажов Е.Г. и др.* Экология и нефтегазовый комплекс. Экологическое состояние Каспийского региона Республики Казахстан и общегосударственные программы по его оздоровлению. Алматы, 2005. Т. 7. 250 с.
- Исаченко А.Г.* Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. М.: Высшая школа, 1991. 368 с.
- Каплин П.А.* Вопросы геоморфологии и палеогеографии морских побережий и шельфа. Избр. тр. М.: Географический факультет МГУ, 2010. 620 с.
- Кожаметов Б.Т., Парамонова Г.Л.* Современная динамика дна и берегов Северо-Восточного Каспия // Геология Казахстана. 1999. № 1. С. 73–78.
- Кравцова В.И.* Космические методы исследования почв. Уч. пособие для студентов вузов. М.: Аспект Пресс, 2005. 190 с.
- Кравцова В.И., Мяло Е.Г.* Изменения растительности в береговой зоне северного Каспия при подъеме уровня моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1998. № 3. С. 37–42.
- Леонтьев О.К., Маев Е.Г., Рычагов Г.И.* Геоморфология берегов и дна Каспийского моря. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1977. 210 с.
- Николаев В.А.* Проблемы регионального ландшафтоведения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 160 с.
- Родоман Б. Б.* Способы индивидуального и типологического районирования и их изображение на карте // Физико-географическое районирование. Вопр. географии. М.: Географиз, 1956. Сб. 39. С. 28–69.
- Рычагов Г.И.* Колебание уровня Каспийского моря: причины, последствия, прогноз // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 2. С. 4–12.
- Свиточ А.А.* Большой Каспий: строение и история развития. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2014. 272 с.
- Табелинова А.С.* Влияние колебаний уровня Каспийского моря на прибрежные ландшафты. Масштаб 1:1 000 000 // Атлас Атырауской области. Алматы, 2014. С. 236–237.
- Gao B.-C., Goetz A.F.H.* Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical components of vegetation canopies for AVIRIS data // RemoteSens. Environ. 1995. V. 52. P. 155–162.

Поступила в редакцию 27.12.2016
Принята к публикации 13.09.2017

A.S. Tabelinova¹

GEOECOLOGICAL PROCESSES IN THE NORTH-EASTERN CASPIAN SEA REGION (ATYRAU AND MANGYSTAU REGIONS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN)

Basing on the investigation of geomorphologic stratification of the territory during the history of development and periodic fluctuations of sea level, the altitudinal landscape differentiation was carried out with due account of different landscape features within the Northeastern Caspian Sea region and specific geoecological processes. The area of distribution and development stages of processes were identified. The natural and antropogenic factors of their development were analyzed.

Key words: present-day landscapes, altitudinal landscape strata, sea level fluctuations, geoecological regions.

Acknowledgements. The research was carried out under the projects of the RK Institute of Geography: 1) Compilation of the Atlas and geospatial assessment of natural-resource potential, socio-economic development and the state of the environment of the Atyrau region on the basis of GIS-technologies; 2) Evaluation of current development of desertification processes (sand drift) and elaboration of recommendations (under GEF/UNDP request). The author is particularly grateful to her scientific supervisors E.V. Milanova, PhD. in Geography, and I.E. Timashev, D.Sc. in Geography, for their support and assistance.

REFERENCES

- Akiyanova F.G., Nurmambetov E.I.* Geomorphologiya shelfa i beregovoy zony kazakhstanskoy chasty Kaspijskogo morya v usloviyah sovremennoj transgressii. Doklad na III Assamblee universitetov prikaspijskih gosudarstv [Geomorphology of the Kazakh part of the Caspian Sea coast and shelf under current transgression: The report at the Caspian states' universities assembly]. Aktay, 2008 (in Russian).
- Armand D.L.* Nauka o landshafte. [The science of landscape]. M.: Mysl, 1975. 286 p. (in Russian).
- Diarov M.D., Gilzhaev E.G. etc.* Ecologiya i neftegazovyy kompleks. Ecologicheskoe sostoyanie Kaspijskogo regiona Respubliki Kazakhstan i obschegosudarstvennye programmy po ego ozdorovleniyu [Ecology and the oil and gas complex. The environmental situation in the Caspian region of the Republic of Kazakhstan and the national programs of its rehabilitation]. Almaty, 2005. V. 7. 250 p. (in Russian).
- Gao B.-C., Goetz A.F.H.* Retrieval of equivalent water thickness and information related to biochemical components of vegetation canopies for AVIRIS data // RemoteSens. Environ. 1995. V. 52. P. 155–162.
- Geoekologicheskie izmeneniya pri kolebaniyakh urovnya Kaspijskogo morya [Geoecological changes during the Caspian Sea

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of World Physical Geography and Geoecology, postgraduate student; e-mail: biota0506@mail.ru

level fluctuations] / Pod red. P.A. Kaplina, E.I. Ignatova. M.: MSU Faculty of Geography, 1997. 208 p. (in Russian).

Isachenko A.G.. Landshaftovedenie i fiziko-geograficheskoe rajonirovanie. [Landscape science and physical-geographical zoning]. M.: Vysshaya shkola, 1991. 368 p. (in Russian).

Kaplin P.A. Voprosy geomorfologii i paleogeografii morskikh poberezhij i shelfa: Izbrannye trudy. [Problems of the geomorphology and paleo-geography of the sea coasts and shelf: selected publications]. M.: MSU Faculty of Geography, 2010. 620 p. (in Russian).

Kozhakhmetov B.T., Paramonova G.A. Sovremennaya dinamika dna i beregov Severo-Vostochnogo Kaspiya [Recent dynamics of the bottom and coast in the northeastern part of the Caspian Sea] // *Geologiya Kazakhstana*. 1999. V. 1. P. 73–78 (in Russian).

Kravtsova V.I. Kosmicheskie metody issledovaniya pochv: Uchebnoe posobie dlya studentov vuzov [Space methods of studying soils: tutorial for the university students]. M.: Aspect Press, 2005. 190 p. (in Russian).

Kravtsova V.I., Myalo E.G. Izmeneniya rastitel'nosti v beregovoy zone severnogo Kaspiya pri pod'eme urovnya morya [Changes in coastal vegetation of the Northern Caspian Sea Region during the sea-level rise] // *Vestnik MGU. Ser. 5. Geografiya*. 1998. № 3. P. 37–42 (in Russian).

Leontiev O.K., Maev E.G., Rychagov G.I. Geomorfologiya beregov i dna Kaspijskogo morya [Geomorphology of the Caspian Sea coasts and bottom]. M.: Izd-vo MSU, 1977. 210 p. (in Russian).

Nikolayev V.A. Problemy regional'nogo landshaftovedeniya [The issues of regional landscape science]. M.: MSU, 1979. 160 p. (in Russian).

Rodoman B.B. Sposoby individual'nogo i tipologicheskogo rajonirovaniya i ih izobrazhenie na karte [Methods of individual and typological regionalization and their mapping] // *Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie*. M.: Geografiz, Voprosy geographii. 1956. V. 39. P. 28–69 (in Russian).

Rychagov G.I. Kolebanie urovnya Kaspijskogo morya: prichiny, posledstviya, prognoz [Fluctuations of the Caspian Sea level: causes, effects, forecast] // *Vestnik MGU. Ser. 5. Geografiya*. 2011. № 2. P. 4–12 (in Russian).

Svitoch A.A. Bolshoy Kaspij: stroenie i istoriya razvitiya [The Greater Caspian Sea: structure and history]. M.: Izd-vo MGU, 2014. 271 p. (in Russian).

Tabelinova A.S. Vliyanie kolebanij urovnya Kaspijskogo morya na pribrezhnye landshafty [The impact of the Caspian Sea transgressions on coastal landscapes] 1:1 000 000 // *Atlas of the Atyrau region*. Almaty, 2014. P. 236–237 (in Russian).

Received 27.12.2016

Accepted 13.09.2017

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.583

П.О. Ермолаева¹, И.Б. Кузнецова²

ОБЩЕСТВЕННЫЕ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ПО МАТЕРИАЛАМ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Представлены результаты социологического исследования, направленного на выявление мнений экспертов и населения относительно климатических изменений в Татарстане и России, оценку социальных, экологических и экономических последствий и возможных путей минимизации негативных эффектов изменения климата. Работа проведена в рамках междисциплинарного проекта, целью которого выступил анализ современных глобальных и региональных изменений климата, их природных и социально-экологических последствий на примере Приволжского федерального округа. Исследование показало, что ощущение уязвимости от климатических аномалий эксперты и население связывают, с одной стороны, с ухудшением самочувствия, перепадами давления и появлением новых болезнетворных вирусов и бактерий, с другой стороны, с аспектами, касающимися различных социально-экономических параметров республики: жарой, похолоданием, засухой, наводнениями, выпадением большого количества осадков, увеличением среднегодовых температур, промерзанием почв и др. Отмечены некоторые преимущества последствий изменения климата: сокращение длительности отопительного сезона, увеличение вегетационного периода и др. Среди адаптационных мер выделены: развитие экологической культуры, экологическое информирование всех социальных агентов, экономическое и законодательное регулирование, например, в случае с экологизацией производства, внедрения безотходных технологий и т. д. Отмечено недостаточное внимание федеральных и местных органов власти к последовательному решению проблем из-за изменения климата. Нехватка региональных стратегий по предотвращению изменения климата и уменьшению его негативных последствий, отсутствие согласованности в решении проблем, связанных с климатической политикой, могут в долгосрочной перспективе привести к усилению социально-экономических рисков.

Ключевые слова: изменение климата, экологическое поведение, социальное восприятие изменения климата, климатическая политика.

Введение. Существует традиция исследований изменения климата в социологии, социальной географии, антропологии и других общественных науках. Так, большое значение придается анализу социального конструирования изменения климата и восприятия изменения климата населением и различными группами [Pettenger, 2013; McCright, Dunlap, 2011; Ansari et al., 2013; Brulle et al., 2012; Hansen et al., 2012]. Именно восприятие населением и предпринимателями угрозы глобального потепления влияет на экологическое поведение, включая стратегии потребления, и формирует политические стратегии [Adger et al., 2013; Crow, Boykoff, 2014]. В России на фоне большого объема работ, выполненных в эколого-географическом ключе с применением методов естественных наук [Кислов, Евстигнев, Малхазова, 2008; Семенов, 2012; Касимов, Кислов, 2011; Переведенцев с соавт., 2008, 2010, 2011; Переведенцев, Соколов, Наумов, 2013; Переведенцев, Шанталинский, Важнова, 2013], доля исследований в сфере социальных наук чрезвычайно мала. Экономические исследования показывают, что в

России наиболее уязвимыми с точки зрения изменения климата являются энергетика, сельское и лесное хозяйства [Шкиперова, Дружинин, 2014; Шкиперова с соавт., 2015]. Приводятся оценки влияния изменения климата на энергетику [Жигалов, Пахомова, 2015], рисков интеграции России в мировую экономику и роли страны в мировых процессах изменения климата [Порфирьев, 2011, 2015; Ермолаева, 2015]; указывается острая необходимость включения социально-экономического анализа в комплексную оценку будущего Арктики в связи с изменением климата в регионе [Катцов, Порфирьев, 2012]. Вместе с тем, отсутствуют примеры комплексной оценки последствий изменения климата для общества как на федеральном, так и на региональном уровнях. Большая часть исследований по оценке воздействия изменения климата на регионы и здоровье людей базируются преимущественно на естественно-научной позиции [Дерстуганова, 2013; Кнауб, Игнатьева, 2016; Ревич, Шапошников, 2012; Хаснулин, Хаснулина, 2012], в то время как социологический анализ данной проблемы в научной литературе

¹ Казанский федеральный университет, Институт социально-философских наук и массовой коммуникации, кафедра общей и этнической социологии, доцент; Центр перспективных экономических исследований Академии наук Республики Татарстан, отдел качественных исследований, вед. науч. с.; e-mail: polina.ermolaeva@gmail.com

² Университет Бирмингема, Великобритания, Школа географии, Земли и энвайроментальных наук, ст. науч. с.; Казанский государственный медицинский университет, кафедра истории, философии и социологии, доцент, e-mail: i.kuznetsova@bham.ac.uk

слабо проработан и носит фрагментарный характер. Крайне мало прикладных социологических исследований, направленных на выявление общественного мнения о последствиях изменения климата на разные аспекты человеческой жизнедеятельности [Yanitsky, 2013; Poberezhskaya, 2014; Ermolaeva, 2014]. Единичны работы о климатической политике [Русакова, 2015; Чечевишников, 2012].

Вместе с тем, «Климатическая доктрина Российской Федерации» (утв. распоряжением Президента РФ от 17 декабря 2009 г. № 861-рп) предполагает оценку «потенциала адаптации с учетом экономических, социальных и других значимых факторов для государства, секторов экономики, населения и отдельных социальных групп» (п. 21), «учет решения задач, связанных с изменением климата при разработке региональных и муниципальных программ устойчивого развития» (п. 42), «решение задач по адаптации и смягчению антропогенного воздействия на климат на производстве и в сфере услуг осуществляется предприятиями, в быту – домашними хозяйствами на микроэкономическом уровне» (п. 43). Российские регионы не имеют государственных программ, направленных на социально-экономическое реагирование на процессы изменения климата, отсутствует комплексная оценка рисков и последствий изменения климата на региональное развитие. Отсутствует внимание к данной проблематике и со стороны некоммерческих организаций (НКО) – в России в настоящее время нет ни одной негосударственной организации, которая бы занималась проблематикой изменения климата; для действующих экологических НКО данная тема не выступает приоритетной (см., например, Sharmina с соавт., 2013).

В исследовании, на котором базируется данная статья, мы обратились к выявлению мнений экспертов и населения относительно климатических изменений в Татарстане и России, оценке социальных, экологических и экономических последствий и путей преодоления негативных эффектов изменения климата в Республике Татарстан. В качестве базы для эмпирического анализа был выбран город Казань – столица республики. Подобный анализ проводится в Приволжском округе впервые и представляет собой один из результатов междисциплинарного проекта «Построение региональной модели по диагнозу и прогнозу современных изменений климата и их социально-экологических последствий (на примере Приволжского федерального округа)», в рабочую группу которого входили метеорологи, экологи и социологи.

Представленные данные могут помочь в расширении научного знания о социальных последствиях изменения климата в России, осведомленности населения и экспертного сообщества. Данное исследование носит пилотный характер и будет служить базой для дальнейших исследований.

Материалы и методы исследования. В рамках исследования выбрана комбинация качественной и количественной стратегий с использованием следу-

ющих методов сбора социологической информации: 1 – анализа документов (федеральных и региональных программных документов по изменению климата, анализа СМИ и т. д.) для изучения существующего дискурса в области изменения климата, региональных особенностей, а также определения экспертов для проведения интервью; 2 – метода полуструктурированных экспертных интервью (выборка 33 чел.), позволяющего получить детальную экспертную информацию о социальных последствиях изменения климата для регионов и населения. Использована теоретическая выборка, которая формируется в процессе исследования, открыта до завершения исследования и имеет возможность корректировки в процессе исследования. Сбор эмпирического материала ведется до тех пор, пока он не перестанет способствовать повторению мнений (происходит теоретическое насыщение каждой категории). Были выбраны несколько групп экспертов: руководителей среднего и крупного бизнеса, ученых, профессиональных экологов, представителей государственной власти и экологических НКО. Критериями отбора экспертов стали их широкая информированность по предмету экспертизы; объективность и профессионализм; наличие фундаментальных знаний в области экспертизы и стаж научной-практической работы в области экологии и климатологии (для ученых). Эксперты были отобраны при помощи документального метода (на основании их профессиональных характеристик), а также метода «снежного кома», при котором каждого специалиста, привлекаемого в качестве эксперта, мы просили порекомендовать несколько ученых и практиков в Татарстане, кто мог бы выступить в качестве эксперта по рассматриваемой проблеме (согласно критериям отбора экспертов, указанным выше). Список вопросов для экспертов состоял из трех тематических блоков. Учитывались: осведомленность и уровень озабоченности экспертов об изменении климата, оценка социальных последствий климатических изменений для региона и разных секторов экономики и анализ мер по их климатической адаптации. В качестве исследовательской стратегии сбора и анализа данных были использованы возможности обоснованной теории (Grounded theory) [Glaser and Strauss, 2009]. На основе анализа и сравнения мнения экспертного сообщества была проведена группировка разнородных данных о последствиях изменения климата в обобщенные категории. Поэтапно поднимаясь к все более абстрактным категориям и научным концепциям, мы конструируем их в абстрактный «теоретический случай»; 3 – метода массового опроса (многоступенчатой стратифицированной выборки (выборка 500 человек)). Выборка представила собой микромодель взрослого населения г. Казани. Исследование было проведено в мае 2016 г. Этот метод позволил получить отраженную в сознании опрашиваемых информацию о социальных последствиях климатических изменений. Структура анкеты для населения существенно отличалась от списка вопросов для экспертов. При

этом исходили из специфики изучаемой группы (отсутствия профессиональных знаний по теме исследования, заинтересованности и т. д.). Для увеличения надежности и валидности показателей перед проведением массового опроса был проведен пилотажный опрос.

Результаты исследования и их обсуждение.

Анализ мониторинга погодно-климатических условий на территории Республики Татарстан позволил исследователям выявить тенденции изменения климата в регионе. Так, Ю.П. Переведенцев с соавт., проанализировав данные с 1966 г. по современный период, установил значимую тенденцию потепления климата, особенно в холодный период года [Переведенцев с соавт., 2008; Переведенцев с соавт., 2010; Переведенцев, Соколов, Наумов, 2013; Переведенцев, Шанталинский, Важнова, 2013]. Тагиров и Шайтанов выявили, что количество осадков в период май–июнь за последние 30 лет уменьшилось на 8% [Тагиров, Шайтанов, 2013].

Гидрометеоцентр РТ проводит исследования и регулярно публикует обзор среднегодовых температур. Руководитель организации отметил отчетливые свидетельства изменения климата: «... в Татарстане происходит рост среднегодовых температур ... больше теплеют у нас зимние месяцы, то есть наблюдается потепление за исследуемый период (за 1951 по текущий год мы получили наибольшую скорость роста для зимнего периода). При этом и в другие сезоны тренд положительный, однако он несколько меньше» (интервью с представителем гидрометеорологии).

Нам было интересно узнать точку зрения экспертов относительно того, влияют ли климатические процессы на регион (как известно, на сегодняшний день существует как много сторонников, так и много скептиков концепции климатических изменений). Большая часть экспертов отчетливо видит изменение климата в регионе. Другие опрошенные специалисты, напротив, считают, что речь идет не об изменении климата, а об обычной флуктуации температурных режимов: «Вопрос этот действительно очень дискуссионный. Даже количественные оценки изменения климата, которые даются в статьях, возможно, выполнены недостаточно корректно» (интервью с кандидатом географических наук).

Некоторые эксперты отметили, что изменение климата выражается в том, что он становится менее предсказуемым и стихийным со скачками температур. Были мнения, что глобальные изменения климата не касаются климата России.

Экспертам был задан вопрос относительно того, насколько защищенными они себя чувствуют от последствий изменения климата. Мнения в данном вопросе разделились. Большинство экспертов отметили, что они чувствуют себя вполне защищенными. Это связано с тем, что регион не подпадает под влияние экстремальных изменений погоды, а также в связи с наличием других более важных для региона проблем и угроз (например, техногенных катас-

троф): «У нас есть гораздо больше причин опасаться каких-то техногенных катастроф в нашем регионе, чем климатических» (интервью с профессором географии).

Менее представительная по численности группа экспертов, напротив, несколько обеспокоена процессами изменения климата, не чувствует себя полностью защищенной от климатических аномалий: «От изменения климата защищенным никто не может быть. Все заключается в том, насколько резко оно проявляется. Допустим, для океанических побережий США, Европы – оно более актуально, для нас – менее актуально. Потому что ураганы и бури возникают вследствие больших колебаний на границе моря и суши, до нас доходят их отголоски» (интервью с профессором географии).

Оценка эффектов изменения климата. Экспертами были отмечены такие изменения климата в регионе (подчас разнонаправленные), как жара, похолодания, засуха, наводнения, выпадение большого количества осадков, увеличение среднегодовых температур, появление новых видов насекомых, а также не характерных для республики болезнетворных вирусов.

Негативные последствия от изменения климата влияют на сельское хозяйство Татарстана, на состояние водных объектов, выносимость конструкций зданий в мегаполисах: «Климатические изменения вызывают нестабильность и приводят к сложным агроэкономическим проблемам. Они влияют не только на сельскохозяйственную сферу, но и на состояние водных ресурсов, выносимость конструкции зданий в городах» (интервью с профессором биологии).

Некоторые эксперты отметили характерные для региона социальные последствия изменения климата, к примеру синдром «климатических беженцев»: «В нашем регионе этого пока еще нет, хотя люди, живущие в Нижнекамске, стараются, уж если не сами, то хотя бы своих детей переселить в другой город, покупают квартиры в Казани и ее окрестностях. Потому что там состояние экологии таково, что заболеваемость раком в Нижнекамске в 5 раз выше, чем в среднем по России» (интервью с профессором экологической социологии).

По мнению населения самыми важными последствиями процессов изменения климата для республики стали (табл. 1): скачки температуры (48,4%), обмеление рек, озер и водоемов (31,0%), засуха (28,3%), появление болезнетворных вирусов, не характерных для данного региона (26,0%), увеличение среднегодовых температур (25,4%), сокращение длительности отопительного сезона (20,9%), появление новых видов насекомых (19,2%), наводнения (18,9%), сокращение биоразнообразия (15,3%), увеличение вегетационного периода (11,8%).

Населению был задан вопрос о том, как они ощущают на себе климатические изменения. Большинство отметило общее недомогание и перепады

Таблица 1

Распределение ответов населения г. Казани на вопрос: «Каковы основные последствия изменения климата для Республики Татарстан?»

Последствия изменения климата	Количество ответов	Доля, %*
Несвойственные скачки температуры (потепление зимой, похолодание летом)	164	48,4
Обмеление рек, озер, водоемов	105	31,0
Засуха	96	28,3
Появление болезнетворных вирусов, не характерных для данного региона	88	26,0
Увеличение среднегодовых температур	86	25,4
Сокращение длительности отопительного сезона	71	20,9
Появление новых видов насекомых	65	19,2
Наводнения	64	18,9
Сокращение биоразнообразия	52	15,3
Увеличение вегетационного периода	40	11,8
Изменение погодно-климатических условий не влияют на республику	3	0,9
Другое	1	0,3
Затрудняюсь ответить	19	5,6
ВСЕГО	854	251,9

* Сумма ответов превышает 100%, поскольку это многовариантный вопрос – респонденты могли выбрать более одного ответа.

давления (37,3%), появление новых вирусов и болезней (30,5%), далее по степени убывания следуют – увеличение затрат энергии летом на кондиционирование (22,0%), сокращение отопительного сезона (20,5%). Примечательно, что 167,5% казанцев не ощущают процессов изменения климата (табл. 2).

Преимущества и угрозы последствий изменения климата для региона. Большая часть экспертов отметили такие угрозы, как недостаток влаги, потепление-похолодание, землетрясения, подтопления, изменение коэффициента поверхностного стока, промерзание почв и др.: *«Процессы на нашей территории совершенно очевидны. Не так продолжительные периоды с очень низкими температурами, в результате происходит кардинальное изменение коэффициента поверхностного*

стока. В тех случаях, когда земля не промерзает, а таких случаев – большинство, поверхностный сток отсутствует и это доказано регулярными наблюдениями. Раньше коэффициент весеннего стока достигал примерно 50%. В настоящее время он уменьшился до 1–2%, то есть на 2 порядка, что является отчетливым признаком потепления климата» (интервью с профессором географии). *«На юго-востоке нашей республики уже фиксировались землетрясения. То есть там выкачанная нефть, пустоты приводят к тому, что зафиксированы землетрясения в 2–3 балла»* (интервью с профессором экологической социологии).

Несмотря на то, что основной акцент учеными делался на угрозах, были отмечены и некоторые преимущества региона от последствий изменения

Таблица 2

Распределение ответов населения г. Казани на вопрос: «Ощущаете ли Вы на себе следующие изменения климатических условий?»

Проявление изменения климатических условий	Численность, чел.	Доля, %
Перепады давления, недомогания	149	37,3
Появление новых вирусов и болезней	122	30,5
Увеличение затрат энергии на кондиционирование летом	88	22,0
Сокращение отопительного сезона	82	20,5
Я не ощущаю процессов изменения климата на себе	66	16,5
Сокращение вегетационного периода (более поздняя высадка растений и более ранний сбор урожая)	26	6,5
Другое	3	0,8
Затрудняюсь ответить	29	7,2
ВСЕГО	631	158,0

климата. Это сокращение длительности отопительного сезона, увеличение вегетационного периода и другие. Подобные преимущества также были отмечены населением республики.

Мы просили экспертов более предметно прокомментировать последствия изменения климата для разных секторов экономики, а также высказать точки зрения о мерах, которые необходимы для минимизации данного ущерба.

Во-первых, стоит отметить, что большинство экспертов отметили, что климатические изменения практически никак не влияют на экономику в целом, бизнес-сектор, туризм, лесное хозяйство, энергетику. Это говорит об их неосведомленности, не включенности проблематики изменения климата в «повестку дня» на региональном и промышленном уровнях, вопреки тому, что многочисленные исследования показывают наличие стойкой взаимосвязи между климатом и экономикой. Вместе с тем, большинство информантов констатировали, что процессы изменения климата оказывают влияние на сельское хозяйство региона, и прежде всего, на уменьшение урожая. В качестве основных факторов отмечались длительные засушливые условия, понижение воды в реках; распространение саранчи, длительные периоды морозов. Отмечались и положительные последствия. Это, например, возможность выращивания южных культур (интервью с начальником отдела одного из министерств). Руководитель одного из сельскохозяйственных предприятий отметил понимание того, что потенциальное потепление со временем положительно скажется на его отрасли: *«Конечно изменения климата для сельского хозяйства скорее положительно, потому что увеличивается вегетационный период»* (интервью с руководителем инновационного предприятия).

Довольно бурная дискуссия состоялась среди экспертов в отношении характера влияния изменения климата на водные ресурсы региона. Одна группа информантов считает, что проблема засухи, недостатка водных ресурсов является ключевой для региона, так как связана с увеличением среднегодовых температур: *«Даже для республики Татарстан климатические изменения актуализируются, поскольку они сказываются на наполненности Волжских водохранилищ ... Эта проблема тесно связана с климатом, и к ней должно быть гораздо более серьезное внимание»* (интервью с профессором географии). В связи с потеплением, происходит обмеление рек, что негативно влияет на навигацию. Рыболовство также испытывает, по мнению экспертов, трудности в связи с изменением климата в регионе: *«В сфере рыболовства проблема у нас такая. Если бы это были просто климатические изменения, скажем, обмеление и т. д. это было бы еще полбеды. У нас это проблема глобальная, а не локальная. Поскольку, в основном, у нас реки Волга и Кама, в водохранилище уровень воды падает или повышается в неподходящее время для рыбного хозяйства, когда засуха идет в низовьях Волги. Это проблема*

всей европейской части России. Но, главное, что вызывает мор рыбы – это размножение синезеленых водорослей. Оно происходит вследствие попадания в реки сточных вод, в том числе бытовых, несущих азот и фосфор. Неорганический азот и фосфор как минеральные компоненты питания вызывают бурный рост синезеленых водорослей» (интервью с профессором географии). Отмечалась и противоположная проблема – поднятия уровня подземных вод, что приводит в затоплению и подтоплению территорий (интервью с главным инженером проектной организации в сфере муниципального строительства).

Наконец, важной сферой, которая подпадает под влияние процессов изменения климата, по мнению экспертов, является строительство и пространственное планирование. Было отмечено, что необходимо учитывать изменения климата при анализе запаса прочности зданий, построенных несколько десятилетий назад: *«... города все строились в 1960–70-х годах по температурным нормативам того времени. И если мы говорим о влиянии на город, то должны понимать, что у старых зданий запас прочности был рассчитан на одну температуру, а с изменениями климата он будет другим»* (интервью с кандидатом географических наук).

Другой эксперт отметил необходимость обращения к проблеме устойчивости строений перед природными катастрофами: *«... увеличение скорости ветра, возможность возникновения ураганов и последствия от других природных явлений требуют дополнительных затрат, например, укрепления кровли. Пока на это специально внимания не обратили, у нас таких катастрофических явлений не так уж много, но если тенденция будет нарастать, то это может стать определенной проблемой, требующей экономических затрат»* (интервью с профессором географии).

Главный инженер одного из строительных предприятий призналась, что в своей работе они не ориентируются на прогнозы погоды, но учитывают климат в целом. Представители строительной отрасли не осведомлены о трендах климатических изменений в регионе, они руководствуются привычными стандартами. Подобная проблема характерна и для руководящего звена различных крупных предприятий, принявших участие в опросе. Так, например, представитель предприятия алкогольной отрасли отметил, что данная информация могла бы представлять интерес: *«Может быть, и хотелось бы получать информацию об изменении климата. И если нужен анализ работы предприятия, то можно было бы на вашу информацию об изменении климата накладывать и наши экономические показатели. Хотя бы даже удельные расходы топлива на единицу выпущенной продукции по месяцам. Это будет показательно. В один месяц больше выпускается продукции, в другой – меньше. А в целом, на единицу выпущенной продукции можно было бы проанализировать»* (интервью с главным инженером крупного частного предприятия).

Адаптационные меры. От восприятия экспертами характера и уровня влияния климатических процессов на разные экономические сферы, перейдем к анализу адаптационных мер. В данном вопросе важно учесть микро- и макроуровни социальной политики, конфигурацию социальных агентов – бизнес-сектора, государства, академического сектора, НКО. В целом экспертами предложены следующие меры по минимизации негативных последствий от изменения климата (по мере убывания значимости):

– усиление нормативной базы: «...Предотвратить изменения климата правительству уже не удастся. Нужно делать нормативную базу, правила, методы, разрабатывать нормативную документацию в соответствии с происходящими изменениями, прогнозировать, исследовать и тщательно сохранять природные ресурсы. С точки зрения правительства должно быть чрезвычайно бережное отношение к сохранению природных объектов, расширения особо охраняемых природных территорий, потому что только они могут регулировать изменение климата на планете» (интервью с профессором биологии).

– внедрение программы лесовосстановления – увеличение в 2 раза площадей лесных покровов: «...Если мы на 20% увеличим лесопокрытую площадь за счет озеленения дорог, почвозащитных и водоохраных полос, это стабилизирует ситуацию. Климатические изменения, резкие перемены погоды будут наносить меньший, не такой катастрофический урон. Один гектар леса может удерживать до 10 тонн воды и постепенно, медленно отдавать ее в окружающие реки, не создавая пиковых водостоков. Нужна программа лесовосстановления, рассчитанная на то, что в ближайшие 20–30 лет мы вдвое увеличим лесопокрытую площадь» (интервью с профессором географии).

Развитие экологической культуры социальных агентов за счет их вовлечения в экологические практики и применение энергоэффективных технологий: «На бытовом уровне природосберегательные практики, это, конечно, не кардинальное решение проблемы, но прежде всего, все, что спо-

собствует сокращению потребления энергии, применение энергоэффективных светильников, установка терморегуляторов на системы отопления, ... участие в каких-то общих делах по уходу за зелеными насаждениями» (интервью с профессором географии).

Среди эффективных мер по адаптации к изменению климата население отметило следующие в порядке их убывания значимости: усиление экологической ответственности населения (48,3%), увеличение площадей лесов (43,0%), регулирование нормативно-правовой базы (37,3%), применение энергоемких технологий (26,8%), сокращение избыточного потребления продуктов и техники в развитых странах (20,0%) (табл. 3).

Выводы:

– исследование показало, что, несмотря на отдаленность проблем изменения климата (по сравнению, например с такими проблемами, как безработица, экономический кризис, проблемы ЖКХ и др.), опрошенные эксперты, напротив, сильно ими обеспокоены;

– ощущение уязвимости от климатических аномалий эксперты и население связывают, с одной стороны, с последствиями для населения в виде ухудшения самочувствия, перепадов давления и появления новых болезнетворных вирусов и бактерий, с другой стороны, с погодными изменениями: жарой, похолоданием, засухой, наводнениями, выпадением большого количества осадков, увеличением среднегодовых температур, промерзанием почв и др. Большое внимание со стороны экспертов уделено оценке последствий климатических изменений для разных секторов экономики региона: сельского хозяйства, строительства, туризма, лесного хозяйства, рыболовства. Несмотря на то, что основной акцент опрошенными учеными делался на угрозах, все респонденты отметили некоторые преимущества для региона от последствий изменения климата: сокращение длительности отопительного сезона, увеличение вегетационного периода;

– среди адаптационных мер эксперты и население выделили социальные меры в виде развития экологической культуры, улучшения экологического информирования. В случае с экологизацией повседневных практик населения, производства и вне-

Таблица 3

Распределение ответов населения г. Казани на вопрос:
«Каковы основные последствия изменения климата для Республики Татарстан?»

Последствия изменения климата	Численность, чел.	Доля, %
Усиление экологической ответственности населения	193	48,3
Увеличение площадей лесов	172	43,0
Регулирование нормативно-правовой базы	149	37,3
Применение энергоемких технологий	107	26,8
Сокращение избыточного потребления продуктов и техники в развитых странах	80	20,0
Другое	6	1,5
Затрудняюсь ответить	55	13,8
ИТОГО	762	191,3

дрением безотходных технологий, важно экономическое и законодательное регулирование. В данных случаях приобретает значимость государственная поддержка и материальное поощрение добровольческой экологической деятельности горожан и экологизации производства предприятий (к примеру, обеспечение льготного налогообложения для населения, предприятий и организаций). Особое внимание среди экспертов заслужила программа лесовосстановления, которая заключается в увеличении площади лесов. Вместе с тем важно

отметить, что эксперты мало осведомлены о «Климатической доктрине РФ», они указывали на недостаточное внимание федеральных и местных органов власти к последовательному решению проблем, связанных с изменением климата. Нехватка региональных стратегий по снижению негативных последствий от изменения климата, отсутствие согласованности в решении проблем, связанных с климатической политикой, в долгосрочной перспективе могут привести к увеличению социально-экономических рисков.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ по теме «Построение региональной модели по диагнозу и прогнозу современных изменений климата и их социально-экологических последствий (на примере Приволжского федерального округа)» (проект № 15-05-06349 А).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Дерстуганова Т.М., Величковский Б.Т., Варакин А.Н., Гурвич В.Б., Малых О.Л., Кочнева Н.И., Ярушин С.В. Оценка влияния социально-экономических факторов на состояние здоровья населения Свердловской области в системе социально-гигиенического мониторинга // Гигиена и санитария. 2013. № 6. С. 87–90.
- Ермолаева П.О. Роль России в мировых процессах изменения климата: взгляд экспертов // Электронный экономический вестник Татарстана. 2015. № 2. С. 51–57.
- Жигалов В. М., Пахомова Н. В. Современная система стратегического планирования энергосбережения и повышения энергоэффективности в России в контексте новой климатической политики // Проблемы современной экономики. 2015. № 3(55). С. 62–72.
- Касимов Н.С., Кислов А.В. Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
- Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2(6). С. 66–79.
- Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления. М.: МаксПресс, 2008. 292 с.
- Кнауб Р.В., Игнатьева А.В. Оценка энергетических последствий заболеваемости и смертности людей от климатических изменений на территории Сибирского федерального округа России // В мире научных открытий. 2016. № 12. С. 322–331.
- Переведенцев Ю.П., Верецагин М.А., Шанталинский К.М. и др. Изменения климатических условий и ресурсов среднего Поволжья. Казань: Центр инновац. технологий, 2011.
- Переведенцев Ю.П., Соколов В.В., Наумов Э.П. Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2013.
- Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Важнова Н.А. Изменения основных показателей современного климата в Поволжье // Вестник БГУ. 2013. Сер. 2. № 3. С. 82–88.
- Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П. Мониторинг современных изменений климата Среднего Поволжья // Уч. зап. Казанского ун-та. Сер. Естественные науки. 2010. Т. 152. С. 251–260.
- Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П., Верецагин М.А., Хабутдинов Ю.Г., Исмагилов Н.В., Тудрий В.Д. Основные особенности климата последних десятилетий на территории Татарстана // Уч. зап. Казанского гос. ун-та. Естественные науки. 2008. Т. 150. С. 21–33.
- Порфирьев Б. Н. Новые глобальные тенденции развития энергетики – вызовы и риски интеграции России в мировую экономику // Проблемы прогнозирования. 2015. № 1. С. 45–52.
- Порфирьев Б.Н. Природа и экономика. Риски взаимодействия (эколого-экономические очерки) / Под ред. акад. РАН В.В. Ивантера. М.: Акнил, 2011.
- Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Изменения климата, волны жары и холода как факторы риска повышенной смертности населения в некоторых регионах России // Проблемы прогнозирования. 2012. № 2. С. 122–138.
- Русакова Ю.А. Климатическая политика Российской Федерации и решение проблем изменения глобального климата // Вестн. МГИМО ун-та. 2015. № 1(40). С. 170–176.
- Семенов С.М. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / Ред. С.М. Семенов. М., 2012.
- Тагиров М.Ш., Шаитанов О.Л. Современные изменения климата на территории Татарстана и их влияние на сельскохозяйственное производство. Казань, 2013.
- Хаснулин В.И., Хаснулина А.В. Психоэмоциональный стресс и метеореакция как системные проявления дезадаптации человека в условиях изменения климата на Севере России // Экология человека. 2012. № 8. С. 3–7.
- Чечевишников А. Л. Саммит «Рио+ 20» и устойчивое развитие России // Вестн. МГИМО ун-та. 2012. № 3. С. 113–117.
- Шкиперова Г.Т., Дружинин П.В. Оценка влияния климатических изменений на экономику российских регионов // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2014. № 34. С. 43–50.
- Шкиперова Г.Т., Поташева О.В., Прокопьев Е.А. Факторный анализ влияния изменения климата на экономику российских регионов // Тр. Карельского научного центра Российской академии наук. 2015. № 3. С. 61–68.
- Adger W.N., Barnett J., Brown K., Marshall N., O'Brien K. Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation // Nature Climate Change. 2013. V. 3. № 2. P. 112–117.
- Ansari S., Wijen F., Gray B. Constructing a climate change logic: An institutional perspective on the «tragedy of the commons» // Organization Science. 2013. V. 24. № 4. P. 1014–1040.
- Brulle R.J., Carmichael J., Jenkins J.C. Shifting public opinion on climate change: an empirical assessment of factors influencing concern over climate change in the US, 2002–2010 // Climatic change. 2012. V. 114. № 2. P. 169–188.
- Chechevishnikov A.L. Sammit «Rio+ 20» i ustojchivoe razvitie Rossii // Vestnik MGIMO Universiteta. 2012. № 3. P. 113–117.
- Crow D.A., Boykoff M.T. Culture, politics and climate change: how information shapes our common future. Routledge, 2014. 233 p.
- Ermolaeva P.O. Images on environment in the US and Russian media agenda in a comparative perspective // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2014. № 140. P. 381–389.

Glaser B., Strauss A. The discovery of grounded theory: strategies for qualitative research. Transaction Publishers, 2009. 271 p.

Hansen J., Sato M., Ruedy R. Perception of climate change // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. V. 109. № 37. P. 2415–2423.

McCright A.M., Dunlap R.E. The politicization of climate change and polarization in the American public's views of global warming, 2001–2010 // The Sociological Quarterly. 2011. V. 52. № 2. P. 155–194.

Pettenger M.E. (Ed.). The social construction of climate change: Power, knowledge, norms, discourses. Ashgate Publishing, Ltd, 2013. 259 p.

Poberezhskaya M. Media coverage of climate change in Russia: Governmental bias and climate silence // Public Understanding of Science. 2014. V. 24(1).

Sharmina M., Anderson K., Bows-Larkin A. Climate change regional review: Russia // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2013. T. 4. № 5. P. 373–396.

Yanitsky O.N. The State of social sciences on climate change and global environmental change in Russia // World Social Science Report. Paris: UNESCO, ISSU, 2013. P. 166–174.

Поступила в редакцию 20.07.2016

Принята к публикации 13.09.2017

P.O. Ermolaeva¹, I.B. Kuznetsova²

PUBLIC ASSESSMENT OF SOCIAL AND ECONOMIC EFFECTS OF CLIMATE CHANGE BASED ON THE CASE OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

The results of a sociological survey aimed at identifying the views of experts and general public on climate change in Tatarstan and Russia, as well as at the assessment of social, environmental and economic impacts, and possible ways of minimizing the negative effects of climate change for the Republic of Tatarstan, are discussed. The study was performed as a part of an interdisciplinary project, which targets at studying the modern global and regional processes of climate change, their natural, social and environmental impacts in the Volga Federal District. The results of the study highlighted that both experts and general public related the awareness of vulnerability to climate anomalies with, on the one hand, the general feeling unwell, the pressure swing and the emergence of new pathogenic viruses and bacteria, and, on the other hand, with phenomena relating to different socio-economic characteristics of the Republic, i.e. hot weather, cold weather, droughts, floods, large amount of precipitation, rising mean annual temperatures, soil freezing etc. Certain advantages resulting from the climate change were revealed, such as the shorter heating period or the longer period of vegetation. The increased environmental culture and environmental awareness of all social agents, the economic and legal regulation, for example, in the case of cleaner production, and the introduction of non-waste technologies are suggested as effective social adaptation measures. Negligence of the federal and local authorities to climate change problems was also pointed out. The lack of regional strategies to mitigate climate change and reduce its negative effects as well as poor harmonization in addressing the problems associated with the climate policy could enhance social and economic risks in the long term.

Key words: climate change, ecological behavior, social perception of climate change, climate policy.

Acknowledgments. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 15-05-06349 A).

REFERENCES

Adger W.N., Barnett J., Brown K., Marshall N., O'Brien K. Cultural dimensions of climate change impacts and adaptation // Nature Climate Change. 2013. V. 3. № 2. P. 112–117.

Ansari S., Wijen F., Gray B. Constructing a climate change logic: An institutional perspective on the «tragedy of the commons» // Organization Science. 2013. V. 24. № 4. P. 1014–1040.

Brulle R.J., Carmichael J., Jenkins J.C. Shifting public opinion on climate change: an empirical assessment of factors influencing concern over climate change in the US, 2002–2010 // Climatic change. 2012. V. 114. № 2. P. 169–188.

Chechevishnikov A.L. Sammit «Rio+20» i ustojchivoe razvitie Rossii [Rio+20 Summit and sustainable development of Russia] // Vestnik MGIMO Universiteta. 2012. № 3. P. 113–117 (in Russian).

Crow D. A., Boykoff M. T. Culture, politics and climate change: how information shapes our common future. Routledge, 2014. 233 p.

Derstuganova T.M., Velichkovskij B.T., Varaksin A.N., Gurvich V.B., Malyh O.L., Kochneva N.I., Yarushin S.V. Ocenka vliyaniya social'no-ekonomicheskikh faktorov na sostoyanie zdorov'ya naseleniya Sverdlovskoj oblasti v sisteme social'no-gigienicheskogo monitoringa [Evaluation of social-economic impact on the state of health of the Sverdlovsk district population in the system of social-hygienic monitoring] // Gigiena i sanitariya. 2013. № 6. P. 87–90 (in Russian).

Ermolaeva P.O. Images on environment in the US and Russian media agenda in a comparative perspective // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2014. № 140. P. 381–389.

Ermolaeva P.O. Rol' Rossii v mirovih processah izmeneniya klimata: vzglyad ekspertov [The role of Russia in the international processes of climate change: views of experts] // Elektronnyj ekonomicheskij vestnik Tatarstana. 2015. № 2. P. 51–57 (in Russian).

¹ Kazan Federal University, Institute of Social and Philosophical Sciences and Mass Communications, Department of General and Ethnic Sociology, Associate Professor; Center of Advanced Economic Research, Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, Department of Qualitative Studies, Leading Research Fellow; e-mail: polina.ermolaeva@gmail.com

² University of Birmingham, School of Geography, Earth and Environmental Sciences, Birmingham Research Fellow, PhD; Kazan State Medical University, Department of History, Philosophy and Sociology, Associate Professor; e-mail: i.kuznetsova@bham.ac.uk.

- Glaser B., Strauss A. The Discovery of Grounded Theory: Strategies for Qualitative Research. Transaction Publishers, 2009. 271 p.
- Hansen J., Sato M., Ruedy R. Perception of climate change // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2012. V. 109. № 37. P. 2415–2423.
- Hasnulin V.I., Hasnulina A.V. Psihoemocional'nyj stress i meteoreakciya kak sistemnye proyavleniya dezadaptacii cheloveka v usloviyah izmeneniya klimata na Severe Rossii [Psycho-emotional stress and meteorereaction as systemic manifestation of the misadaptation of population to climate change in the North of Russia] // Ekologiya cheloveka. 2012. № 8. P. 3–7 (in Russian).
- Kasimov N.S., Kislov A.V. Ekologo-geograficheskie posledstviya globalnogo potepleniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri [Environmental-geographic effects of the 21st century global warming on the East European Plain and in Western Siberia]. M.: Maks Press, 2011. 496 p. (in Russian).
- Katcov V.M., Porfiriev B.N. Klimaticheskie izmeneniya v Arktike: posledstviya dlya okruzhayushhej sredy i ekonomiki [Climate change in the Arctic: environmental and economic effects] // Arktika: ekologiya i ekonomika. 2012. № 2(6). P. 66–79 (in Russian).
- Kislov A.V., Evstigneev V.M., Malhazova S.M. et al. Prognoz klimaticheskoy resursoobespechennosti Vostochno-Evropejskoj ravniny v usloviyah potepleniya [Forecast of climatic resources availability of the East European Plain under the global warming]. M.: Maks Press, 2008. 292 p. (in Russian).
- Knaub R.V., Ignat'eva A.V. Ocenka energeticheskikh posledstvij zabolevaemosti i smertnosti lyudej ot klimaticheskikh izmenenij na territorii Sibirskogo federal'nogo okruga Rossii [Evaluation of energy consequences of population morbidity and mortality due to climate changes in the territory of the Siberian Federal Okrug of Russia] // V mire nauchnyh otkrytij. 2016. V. 12. № 1. P. 322–331 (in Russian).
- McCright A.M., Dunlap R.E. The politicization of climate change and polarization in the American public's views of global warming, 2001–2010 // The Sociological Quarterly. 2011. V. 52. № 2. P. 155–194.
- Perevedencev Yu.P., Shantalinskij K.M., Sherstyukov B.G., Naumov E.P. Monitoring sovremennykh izmenenij klimata Srednego Povolzh'ya [Monitoring of recent climate changes in the Middle Volga River region] // Uch. zap. Kazan. gos. un-ta, Est. nauki. 2010. V. 152. P. 251–260 (in Russian).
- Perevedencev Yu.P., Shantalinskij K.M., Vazhnova N.A. Izmeneniya osnovnykh pokazatelej sovremennogo klimata v Povolzh'e [Changes of principal parameters of the present-day climate in the Voga River region] // Vestnik BGU. Ser. 2. 2013. № 3. P. 82–88 (in Russian).
- Perevedencev Yu.P., Sherstyukov B.G., Naumov E.P., Vereschagin M.A., Habutdinov Yu.G., Ismagilov N.V., Tudrij V.D. Osnovnye osobennosti klimata poslednih desyatiletij na territorii Tatarstana [Main features of climate during recent decades in the territory of Tatarstan] // Uch. zap. Kazan. gos. un-ta. Est. nauki. 2008. V. 150. P. 21–33 (in Russian).
- Perevedencev Yu.P., Sokolov V.V., Naumov E.P. Klimat i okruzhayushchaya sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga [Climate and environment of the Privolzhskij Federal okrug]. Kazan': Izd-vo Kazan. un-ta, 2013 (in Russian).
- Perevedencev Yu.P., Vereschagin M.A., Shantalinskij K.M. Izmeneniya klimaticheskikh uslovij i resursov srednego Povolzh'ya [Changes of climatic conditions and resources in the Middle Volga River region]. Kazan': Centr innovac. tehnologij, 2011 (in Russian).
- Pettenger M.E. (Ed.). The social construction of climate change: Power, knowledge, norms, discourses. Ashgate Publishing, Ltd, 2013. 259 p.
- Poberezskaya M. Media coverage of climate change in Russia: Governmental bias and climate silence // Public Understanding of Science. 2014. V. 24(1).
- Porfir'ev B.N. Novye global'nye tendencii razvitiya energetiki – vyzovy i riski integracii Rossii v mirovuyu ekonomiku [New global trends of energy development – challenges and risks of the integration of Russia into the world economy] // Problemy prognozirovaniya. 2015. № 1. P. 45–52 (in Russian).
- Porfir'ev B.N. Priroda i ekonomika. Riski vzaimodejstviya (ekologo-ekonomicheskie ocherki) [Nature and economy. Risks of interaction (environmental-economic essays)] / Pod red. akad. RAN V.V. Ivantera. M.: Aknil, 2011 (in Russian).
- Revich B.A., Shaposhnikov D.A. Izmeneniya klimata, volny zhary i holoda kak faktory riska povyshennoj smertnosti naseleniya v nekotoryh regionah Rossii [Climate change, heat and cold waves as factors of risk of the increased mortality of population in some Russian regions] // Problemy prognozirovaniya. 2012. № 2. P. 122–138 (in Russian).
- Rusakova Yu.A. Klimaticheskaya politika Rossijskoj Federacii i reshenie problem izmeneniya global'nogo klimata [Climate policy of the Russian Federation and solution of problems of the global climate change] // Vestnik MGIMO Universiteta. 2015. V. 40. № 1. P. 170–176 (in Russian).
- Sairinen R. Public Support for Environmental Policy in Finland: Cultural Interpretations of Survey Results // Scandinavian political studies. 2001. V. 24. № 2. P. 129–148.
- Semenov S.M. Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh system [Methods of assessment of the climate change effects for physical and biological systems]. M., 2012 (in Russian).
- Sharmina M., Anderson K., Bows-Larkin A. Climate change regional review: Russia // Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change. 2013. T. 4. № 5. P. 373–396.
- Shkiperova G.T., Druzhinin P.V. Ocenka vliyaniya klimaticheskikh izmenenij na ekonomiku rossijskikh regionov [Assessment of the effects of climate changes for the economy of Russian regions] // Nacional'nye interesy; priority i bezopasnost'. 2014. № 34. P. 43–50.
- Shkiperova G.T., Potasheva O.V., Prokop'ev E.A. Faktornyj analiz vliyaniya izmeneniya klimata na ekonomiku rossijskikh regionov [Factor analysis of the climate change effects on the economy of Russian regions] // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. 2015. № 3. P. 61–68 (in Russian).
- Tagirov M.Sh., Shaitanov O.L. Sovremennye izmeneniya klimata na territorii Tatarstana i ih vliyanie na sel'skhozayajstvennoe proizvodstvo [Recent climate change within the territory of Tatarstan and its influence on agricultural production]. Kazan': Idel-press, 2013 (in Russian).
- Yanitsky O.N. The State of social sciences on climate change and global environmental change in Russia // World Social Science Report. Paris: UNESCO, ISSU. 2013. P. 166–174.
- Zhigalov V.M., Pahomova N.V. Sovremennaya sistema strategicheskogo planirovaniya energosberezheniya i povysheniya energoeffektivnosti v Rossii v kontekste novej klimaticheskoy politiki [Modern system of strategic planning of energy saving and increasing of energy efficiency in Russia within the framework of the new climatic policy] // Problemy sovremennoj ekonomiki. 2015. № 3(55). S. 62–72.

Received 20.07.2016
Accepted 13.09.2017

УДК 528.942

В.М. Яблоков¹

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ДИНАМИКИ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КАРКАСА МОСКВЫ НА ОСНОВЕ ОТКРЫТЫХ ГЕОДАННЫХ

Приводится методика геоинформационного анализа структуры и динамики природно-экологического каркаса урбанизированных территорий на основе открытых пространственных данных на примере Москвы и прилегающих территорий. В результате проведенного исследования с использованием сеточной геоинформационной модели и применением метода hot-spot анализа выявлены элементы природно-экологического каркаса Москвы, вычислены их параметры и составлены карты. С помощью разновременных космических снимков оценена степень трансформации каркаса за последние 16 лет. Выявлена его несбалансированная территориальная структура, оценены возможности для оптимизации. Анализ динамики площадей природных и озелененных территорий показал тенденцию к их сокращению как в связи с естественными процессами, так и в результате принимаемых градостроительных решений, ведущих к изъятию экологически эффективных территорий. Актуальная информация о структуре и динамике природно-экологического каркаса, которую можно оперативно получить при использовании открытых пространственных данных является необходимым элементом обеспечения экологически устойчивого развития урбанизированных территорий.

Ключевые слова: ГИС, ДДЗ, качество городской среды, зеленая инфраструктура, hot-spot анализ.

Введение. Современное градостроительное планирование базируется на принципах экологически устойчивого развития, достижение которого связано со многими условиями, в том числе с поддержанием экологического баланса урбанизированной территории [WHO, 2016]. Существует значительное количество подходов к определению совокупности элементов городской среды, выполняющих экологические функции, к которым относятся: зеленая инфраструктура, зеленый фонд, природный комплекс и др. [Владимиров, 1999; Родоман, 1999; Dige, 2011; Федеральный закон ..., 2002]. В данной работе используется понятие «природно-экологического каркаса» (ПЭК), который, по мнению автора, представляет собой систему взаимосвязанных внутригородских и пригородных природных и озелененных территорий, объектов городского озеленения, выполняющих средообразующие, санитарно-гигиенические, регулирующие, рекреационные и другие важные для обеспечения благоприятной окружающей среды функции. ПЭК обладает свойствами, присущими системам, в том числе целостностью (когда связь компонентов каркаса сильнее, чем с внешними элементами), эмерджентностью (возможности компонентов системы в совокупности больше, чем по отдельности), иерархичностью (ПЭК состоит из подсистем и сам является подсистемой экологического каркаса региона).

Информация о качественных и количественных характеристиках ПЭК является необходимой для принятия экологически безопасных градостроительных решений, а также способствует сохранению и развитию природных и озелененных территорий го-

рода. В настоящее время для анализа структуры и динамики ПЭК, его характеристик целесообразно применение геоинформационных технологий, в том числе проектирование базы пространственных данных о компонентах каркаса и факторах городской среды, влияющих на его функционирование, использование методов пространственного анализа, а также картографическая визуализация.

Объектом исследования выступает геоинформационная пространственно-временная модель природно-экологического каркаса Москвы, сформированная на основе открытых геоданных.

Целью настоящего исследования является оценка структуры и динамики ПЭК Москвы. В задачи данной работы входит разработка методики геоинформационного анализа при использовании открытых пространственных данных дистанционного зондирования, а также данных краудсорсинговых картографических проектов.

Использование открытых данных обусловлено общественным запросом к информационным продуктам в эпоху глобализации, в том числе их прозрачности, достоверности, возможности верификации, публикации, свободного использования [Стырин, 2012]. Кроме того, открытые данные все меньше уступают по качеству коммерческим продуктам, в том числе увеличивается разрешающая способность открытых космических снимков, накоплен значительный объем геоинформации, возрастает ее точность, позволяющая проводить все более детальные исследования, особенно для урбанизированных территорий.

Природно-экологический каркас Москвы представляется перспективным объектом изучения в

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Региональный центр мировой системы данных, аспирант; e-mail: vasily.yablokov@gmail.com

связи с высокой социальной значимостью информации о его состоянии и отсутствием актуальных данных о его характеристиках, в частности динамических. В последние годы наблюдается значительная трансформация ПЭК Москвы, связанная как с естественными процессами (сменой лесных сообществ, участившимися случаями опасных и неблагоприятных природно-климатических явлений, зарастанием бывших сельскохозяйственных полей и др.) [Абатуров, 2014], так и с высоким уровнем урбанизации столичного региона, принимаемыми градостроительными решениями по изъятию территорий, занятых объектами природного комплекса и зеленым фондом [Майорова, 2015].

Материалы. Геоинформационный анализ природно-экологического каркаса Москвы базировался на использовании трех типов открытых данных:

- данные дистанционного зондирования Земли (Sentinel-2A, Landsat);
- данные проекта OpenStreetMap;
- нормативно-правовые акты Российской Федерации.

Sentinel-2A – семейство спутников дистанционного зондирования Земли, которые были запущены 23.06.2015 г. в рамках проекта глобального мониторинга окружающей среды «Коперник» Европейского космического агентства (ESA). Спутники оснащены оптико-электронным мультиспектральным сенсором. Для обработки доступны данные в виде растровых изображений с пространственным разрешением от 10 до 60 м в различных спектральных диапазонах. В данном исследовании использовались 4 канала с разрешением 10 м: голубой (B2), зеленый (B3), красный (B4), ближний инфракрасный (B8).

Landsat – проект NASA, наиболее продолжительная программа получения данных космической съемки Земли. Первый спутник был запущен в 1972 г. В настоящее время на орбите находятся 2 спутника: Landsat 7 и Landsat 8. Период действия программы мониторинга Земли, открытость данных позволяют получать данные о многолетней динамике видимого ландшафта планеты. В работе использовались разновременные снимки с 2000 по 2016 гг.

Openstreetmap (OSM) – краудсорсинговый веб-картографический проект по созданию открытой географической карты мира, созданный в 2004 г. в Великобритании. В сентябре 2017 г. в проекте участвовало более 4 миллионов пользователей со всего мира. Данные распространяются на условиях свободной лицензии CC BY-SA. Данные OSM для урбанизированных территорий оцениваются как надежные [Senaratne, 2017] и являются источником наиболее актуальной геоинформации.

Нормативно-правовые акты Российской Федерации являются наиболее точным источником данных об административно-территориальном делении, статусе и назначении территории, видах разрешенного использования. Данные о недвижимом имуществе, а именно земельных участках и их характеристиках, являются основой правового регулирования,

использования и охраны территорий. Публичная кадастровая карта является официальным информационным ресурсом о земельных участках, в том числе об их границах. В работе применялись данные кадастра недвижимости для корректировки границ. Также для более полной типологии данных использовались действующий Генеральный план развития Москвы до 2035 г., который имеет статус городского закона, а также редакции Лесного кодекса, обосновывающие границы пригородных лесов Москвы.

Методы. Обработка данных, в том числе подготовка, корректировка, а также последующий пространственный и статистический анализ проводились в геоинформационной среде ArcGIS. Первоочередным этапом стала организация базы пространственных данных (БПД) для хранения и анализа рассматриваемых выше открытых данных в соответствии с целями исследования. БПД является целесообразной проводимому анализу, ее структура отражена в таблице.

Последующий анализ заключался в получении детальной пространственной информации об элементах городской среды, типах использования земель, позволяющих выявить природно-экологический каркас, а также влияющие на него факторы.

На основе геоданных OSM были подготовлены наборы данных о застройке (с делением на типы – жилая, коммерческая, промышленная, социальная инфраструктура, общего и специального назначения), транспортной инфраструктуре (автомобильные дороги и сети железнодорожного транспорта, их площадные характеристики), водных объектах, границах административно-территориального деления. При использовании нормативно-правовых актов, в том числе Генерального плана города Москвы, данных о границах, застройке, транспортной сети дополнены семантической информацией. Границы территориального деления недвижимости скорректированы при использовании данных кадастра недвижимости. На основе предыдущей редакции Лесного кодекса РФ добавлены границы Лесопаркового защитного пояса Москвы (ЛПЗП), которые в совокупности с новым территориальным делением Москвы (административная реформа 2011 года) стали районом последующего пространственного анализа.

На основе различных алгоритмов автоматизированного дешифрирования космических снимков были проведены многочисленные эксперименты по дешифрированию урболандшафтов и получены наборы данных о «видимом» ландшафте города [Lefebvre, 2016]. Наилучший результат показал алгоритм классификации растрового изображения методом деревьев решений, который позволил наиболее точно выделить природные и антропогенные урболандшафты [Pesaresi, 2016]. Результаты дешифрирования верифицированы с использованием данных геопорталов, поставляющих покрытия космических снимков сверхвысокого разрешения, и показали высокую надежность выбранного метода

Структура базы пространственных данных

Группа	Пространственные объекты	Тип локализации
Административно-территориальное деление	Административные границы муниципальных образований Москвы	Площадной
	Границы парков Лесопаркового защитного пояса	Площадной
Транспорт	Улично-дорожная сеть с делением на классы	Площадной
	Железнодорожные пути	Площадной
	Дорожная сеть с делением на классы	Линейный
Природные объекты	Растительность с делением на типы	Площадной
	Изменение растительного покрова по годам	Площадной
	Водные объекты	Площадной
	Открытые территории	Площадной
Строения	Здания с делением на классы	Площадной
Землепользование	Land cover	Ячейки раstra
Данные дистанционного зондирования	Sentinel-2A, 2016 г.	Ячейки раstra
	Landsat, 2000–2016 гг.	Ячейки раstra

для используемых данных. Проведение верификации результатов дешифрирования путем составления матрицы ошибок показало точность 96%.

Результаты классификации методом деревьев решений соотнесены с более детальными данными OSM в границах, определенных нормативно-правовыми актами. В итоге получено непрерывное топологически верное покрытие land cover (землепользование) Москвы, на основе которого проводился последующий пространственно-статистический анализ и выявлялись урбанизированные территории, выполняющие функции природно-экологического каркаса. Далее будем использовать понятие «землепользование», которое включает в себя не только прямое использование земель под различные виды хозяйственной деятельности, но и территории, водные объекты, выполняющие экологическую функцию, в том числе как одного из видов разрешенного использования земельных участков в соответствии с Земельным кодексом РФ.

Последующий алгоритм исследования заключался в пространственном анализе показателей землепользования на основе регулярной гексагональной сети. Такой анализ данных является распространенным методом в географических исследованиях, позволяющим, с одной стороны, выявить пространственные закономерности распространения географических явлений, с другой – провести фильтрацию нетипичных для территорий значений показателей.

На основе регулярной сети проведен сопряженный анализ всех рассматриваемых типов землеполь-

зования, методом hot-spot выявлены территории, выполняющие функции природно-экологического каркаса.

Следующий этап работы связан с оценкой трансформации природно-экологического каркаса Москвы. На основе мультитременного анализа [Hansen, 2013] открытых данных космической съемки системы Landsat за 2000–2016 гг. выявлены изменения ПЭК, в частности, сокращение и прирост древесно-кустарниковой растительности для каждого периода. На основе сеточной модели проведен анализ динамики изменения площадей на исследуемой территории, выявлены ретроспективные характеристики ПЭК для референсных годов.

Результаты и обсуждение. Для Москвы и бывшего ЛПЗП проведена оценка соотношения природных и антропогенных ландшафтов на основе автоматизированного дешифрирования данных космической съемки и последующего геоинформационного анализа с использованием сеточной модели. В результате классификации ячеек модели методом hot-spot стало возможным выделить территории, выполняющие функции природно-экологического каркаса (санитарно-гигиенические, средообразующие, климатические, рекреационные), переходные классы, обеспечивающие высокое качество городской среды, а также классы с недостаточным нормативным количеством экологически значимых компонентов и низким качеством городской среды. По результатам данного анализа стало возможным составить карту природно-экологического каркаса Москвы (рис. 1).



Рис. 1. Природно-экологический каркас Москвы

Fig. 1. Moscow environmental infrastructure

Данная карта демонстрирует фактическое распределение территорий Москвы по их экологическим функциям. Территории классов «преимущественно естественные экосистемы» и «зеленая инфраструктура» представляют наибольшую ценность и нуждаются в сохранении и поддержании нынешнего состояния, остальные территории, с преобладанием антропогенных объектов, могут рассматриваться для реабилитации каркаса. Фактическая

структура каркаса показывает, в каких направлениях может идти его развитие и где необходимо увеличить связность его элементов. В настоящее время для территории Москвы в новых границах и ЛПЗП, которые занимают площадь 407 тыс. га, территории первых двух классов составляют 323 тыс. га (80%), преимущественно застроенные территории занимают около 83 тыс. га (20%), при этом население распределено неравномерно и проживает в основном

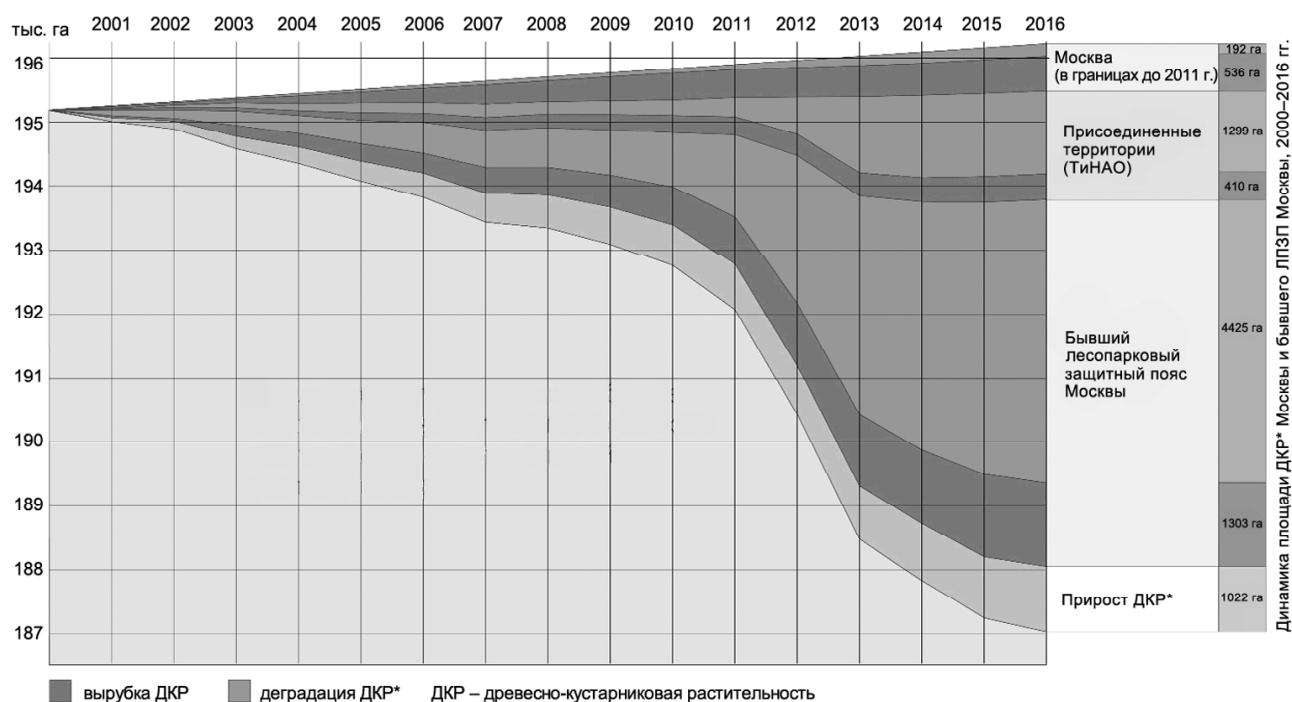


Рис. 2. Динамика природно-экологического каркаса Москвы за 2000–2016 гг.

Fig. 2. Moscow environmental infrastructure dynamics during 2000–2016

на высокоурбанизированных территориях с низкой экологической емкостью – 10,7 млн человек (69% от проживающих на территории исследования). Данные по площадям ПЭК в границах старой Москвы коррелируют с ранее проводимыми оценками площадей, занятых зелеными насаждениями. Визуальное дешифрирование коммерческих данных дистанционного зондирования [Минин, 2014] показало расхождение, равное 2%. При этом стоит отметить, что анализ проводился на 2012 год и повтор таких исследований практически невозможен в связи со спецификой используемых в работе данных.

На основе мультитременного анализа космической информации по данным Landsat и последующей агрегации при помощи сеточной модели вычислены изменения в структуре ПЭК Москвы за последние 16 лет. Данное исследование показало, как распределение элементов каркаса, подвергшихся наибольшему влиянию, связанному с высоким уровнем урбанизации столичного региона, так и естественную динамику природных территорий, таких как массовая гибель ельников и зарастание бывших сельхозугодий. На основе проведенного анализа вычислены балансы площадей сокращения и прироста древесно-кустарниковой растительности. Так, за последние 16 лет Москва в старых границах потеряла 728 га, Новая Москва 1708 га, ЛПЗП 5728 га. По естественным причинам на рассматриваемой территории исчезло 5915 га древесно-кустарниковой растительности, в связи с изъятием территорий под строительство – 2249 га (рис. 2).

Выводы:

– на основе открытых данных стало возможным выявление природно-экологического каркаса

урбанизированной территории, анализа его качественных и количественных характеристик;

– открытые данные дистанционного зондирования позволяют проводить регулярную актуализацию данных о природно-экологическом каркасе и оперативно выявлять его динамические характеристики;

– структура природно-экологического каркаса Москвы является наследием советского градостроительного планирования, которое предъявляло высокие требования к качеству окружающей среды, но с течением времени в связи с ослаблением строгости нормативов и систематическим нарушением законодательства, структура каркаса стала несбалансированной. При высоких площадных показателях, на территориях с пониженной экологической емкостью проживает 69% жителей столичного региона;

– природно-экологический каркас Москвы постоянно деградирует как в связи с высоким уровнем урбанизации столичного региона, так и в результате естественных процессов. С 2000 г. площадь территорий, занятых древесно-кустарниковой растительностью, сократилась на 8165 га, (4,2% от состояния на 2000 г.). При этом основное сокращение происходило в последние 5 лет (с 2011 г.);

– столичный регион все еще имеет потенциал для оптимизации природно-экологического каркаса: при сохранении имеющейся структуры возможно создание связных элементов зеленой инфраструктуры, достаточное компенсационное озеленение, ревитализация бывших промышленных зон, восстановление лесов, корректировка текущих градостроительных проектов;

– полноценное применение результатов геоинформационного анализа структуры и динамики при-

родно-экологического каркаса для целей информационного обеспечения экологически устойчивого развития урбанизированных территорий возможно на

базе применения веб-технологий, например, при использовании атласных информационных систем [Яблоков, Тикунов, 2016].

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 15-17-30009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров А.В., Браславская Т.Ю., Королева С.Ю. Закономерности динамики еловых насаждений в старолесьях Подмосковья // Изв. Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 1(3). С. 1–3.

Владимиров В.В. Урбоэкология. М.: Изд-во МНЭПУ, 1999. 204 с.

Майорова Е.И., Енгальцева А.Я. Правовые основы сохранения природного комплекса Москвы // Вестн. Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. 2015. Т. 19. № 5.

Минин А.А., Сементовская К.В. Оценка состояния зеленых насаждений г. Москвы методами дистанционного зондирования // Проблемы озеленения крупных городов. Мат-лы XVI Междунар. научно-практической конф. 2014. С. 73–77.

Родоман Б.Б. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. Смоленск: Ойкумена, 1999. 256 с.

Стырин Е.М. Государственное управление на основе открытых данных: перспективы развития. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2012. 32 с.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ.

Яблоков В.М., Тикунов В.С. Принципы создания атласной информационной системы на базе интернета для устойчивого развития территорий // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2016. № 1. С. 29–38.

Dige G. Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems // European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. 2011. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion> (дата обращения 1.09.2017).

Hansen M.C. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. V. 342. № 6160. P. 850–853.

Lefebvre A., Sannier C., Corpetti T. Monitoring urban areas with Sentinel-2A data: Application to the update of the Copernicus high resolution layer imperviousness degree // Remote Sensing. 2016. V. 8. № 7. 606 p.

Overmars K.P., De Koning G.H.J., Veldkamp A. Spatial autocorrelation in multi-scale land use models // Ecological modelling. 2003. V. 164. № 2. P. 257–270.

Pesaresi M. et al. Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas // Remote Sensing. 2016. V. 8. № 4. 299 p.

Senaratne H. et al. A review of volunteered geographic information quality assessment methods // International J. Geographical Information Science. 2017. V. 31. № 1. P. 139–167.

World Health Organization et al. Global report on urban health: equitable healthier cities for sustainable development. World Health Organization, 2016.

Поступила в редакцию 03.08.2017

Принята к публикации 13.09.2017

V.M. Yablokov¹

GIS-BASED ANALYSIS OF STRUCTURE AND DYNAMICS OF THE MOSCOW URBAN ENVIRONMENTAL INFRASTRUCTURE USING THE OPEN GEODATA

Methods of GIS-based structure and dynamic spatial analysis of urban environmental infrastructure on the basis of open geodata are described through the example of Moscow. As a result of the study, elements of the Moscow environmental infrastructure were identified using a grid model and the hot-spot analysis method, their parameters have been calculated and maps created. The degree of transformation of the Moscow environmental infrastructure over the past 16 years has been estimated using multi temporal satellite images.

Possibilities of optimization of the Moscow environmental infrastructure, which has an unbalanced spatial structure, have been assessed. Analysis of the dynamics of natural and green areas identified a reduction tendency, because of the natural processes and not eco-friendly decisions in urban planning. Open spatial data provide actual information about the structure and dynamics of environmental infrastructure, to support the sustainable development of urban areas.

Key words: GIS, remote sensing data, quality of the urban environment, green infrastructure, hot-spot analysis.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 15-17-30009).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, World Data Center for Geography, postgraduate student; e-mail: vasily.yablokov@gmail.com

REFERENCES

- Abaturov A.V., Braslavskaya T.Yu., Koroleva S.Yu.* Zakonomernosti dinamiki elovyh nasazhdenij v staroles'yah Podmoskov'ya [Regularities in the dynamics of spruce plantations in old forests of Moscow suburbs] // *Izv. Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2014. V. 16. № 1(3) P. 1–3. (in Russian).
- Dige G.* Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems // European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. 2011. URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/green-infrastructure-and-territorial-cohesion> (Accessed 01.09.2017).
- Federal law 10.01.2002 № 7-FZ «On the protection of the environment».
- Hansen M.C. et al.* High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // *Science*. 2013. V. 342. № 6160. P. 850–853.
- Lefebvre A., Sannier C., Corpetti T.* Monitoring urban areas with Sentinel-2A data: Application to the update of the Copernicus high resolution layer imperviousness degree // *Remote Sensing*. 2016. V. 8. № 7. P. 606.
- Majorova E.I., Engalycheva A.Ya.* Pravovye osnovy sohraneniya prirodnogo kompleksa Moskvy [Legal basis for preserving the natural complex of Moscow] // *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoj vestnik*. 2015. T. 19. № 5 (in Russian).
- Minin A.A., Sementovskaya K.V.* Ocenka sostoyaniya zelenyh nasazhdenij g. Moskvy metodami distancionnogo zondirovaniya [Assessment of the state of green areas in Moscow using the remote sensing methods] // *Problemy ozeleneniya krupnyh gorodov*. Mat-ly XVI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konf. 2014. S. 3–77 (in Russian).
- Overmars K.P., De Koning G.H.J., Veldkamp A.* Spatial autocorrelation in multi-scale land use models // *Ecological modelling*. 2003. V. 64. № . P. 57–270.
- Pesaresi M. et al.* Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas // *Remote Sensing*. 2016. V. 8. № 4. 299 p.
- Rodoman B.B.* Territorial'nye arealy i seti. Ocherki teoreticheskoy geografii [Territorial Areas and Networks. Essays on theoretical geography.]. Smolensk: Ojkumena, 1999. 256 s. (in Russian).
- Senaratne H. et al.* A review of volunteered geographic information quality assessment methods // *International J. Geographical Information Science*. 2017. V. 31. № 1. P. 139–167.
- Styrin E.M.* Gosudarstvennoe upravlenie na osnove otkrytyh dannyh: perspektivy razvitiya [Public administration based on open data: development prospects]. M. : Izd. dom Vyshej shkoly jekonomiki, 2012. 32 s. (in Russian).
- Vladimirov V.V.* Urboekologiya [Urban ecology]. M. : Izd-vo MNePU, 1999. 204 p. (in Russian).
- World Health Organization et al. Global report on urban health: equitable healthier cities for sustainable development. World Health Organization, 2016.
- Yablokov V.M., Tikunov V.S.* Principy sozdaniya atlasnoj informacionnoj sistemy na baze interneta dlya ustojchivogo razvitiya territorij [Principles of creating the Internet-based atlas information system for sustainable development of territories] // *Vestnik Mosk. Un-ta. Ser. 5: Geografiya*. 2016. № 1. S. 29–38 (in Russian).

Received 03.08.2017

Accepted 13.09.2017

УДК 551.58

Э.Н. Серга¹

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОРОДНЫХ ЗОН В ПОЛЯХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАД СЕВЕРОТИХООКЕАНСКИМ РЕГИОНОМ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА

Предлагаются схемы районирования полей температуры воздуха и массовой доли водяного пара на поверхности 850 гПа над северной частью Тихого океана, выполненного с помощью универсального итерационного метода кластеризации данных, приведены физический и статистический анализы полученных схем кластеризации, имеющие хорошее научное обоснование, показано, что общая структура определенных однородных зон имеет широтную направленность, нарушаемую в восточной области Северной Пацифики и связанную с разделительной линией вода–суша. определены общие черты и различия в распределениях полей значений температуры и массовой доли водяного пара.

Ключевые слова: репрезентативный вектор, температура воздуха, массовая доля водяного пара, кластер, критерий, внутрикластерная дисперсия.

Введение. Исследование различных проявлений средних температур в виде среднесуточных, среднемесячных, среднегодовых значений, а также потоков тепла, влажностных и ветровых характеристик позволяет определить климатические изменения как в отдельных районах, так и по всему земному шару. Так, например, в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC) [Stocker et al., 2013] особое внимание уделяется температуре воздуха, как фактору изменения глобального климата. Здесь же говорится о потеплении вод Мирового океана, как о доминирующем факторе в процессах преобразования энергии климатической системы. Естественно, что это потепление в результате турбулентного тепло- и массообмена приводит к изменению свойств приводного слоя атмосферы над океаном, в том числе и температуры воздуха.

Энергетическое взаимодействие между океаном и атмосферой во временном масштабе, сравнимом с сезонным, обладает важной особенностью. Оно заключается в наличии амплитудно-фазовых различий характеристик теплосодержания атмосферы и океана. Исследования показали, что наблюдается опережение в годовом ходе термических и влажностных характеристик океана такими же характеристиками атмосферы. Запаздывание по фазе температуры воды относительно температуры воздуха составляет в среднем по Мировому океану 25–30 суток [Лаппо с соавт., 1990]. Это должно приводить к сезонным потокам, имеющим направление от атмосферы к океану. Однако, поскольку в холодный сезон $T_B > T$ и $E_0 > e_z$, (T_B , T – соответственно температура воды и воздуха; E_0 , e_z – парциальное давление насыщения и фактическое) этот поток, как известно [Лаппо с соавт., 1990], является, по существу, «поток холодом» из атмосферы в океан. Ему

соответствует поток тепла в обратном направлении. Термин «поток холода» характеризует физику процесса сезонного теплообмена, где активную роль играет атмосфера.

Обмен теплом и импульсом между атмосферой и океаном в большой мере определяет степень приспособления циркуляции воздушных масс к характеристикам океанической поверхности. Лаппо с соавт. [1990] в качестве меры приспособления рассматривают взаимное расположение относительно друг друга вектора ветра над водной поверхностью, который отражает направление переноса и генезис воздушных масс, и вектора скорости крупномасштабных океанических течений, определяющего градиенты температуры вод поверхности океана и положение основных гидрологических фронтов. Когда вектор приводного ветра коллинеарен с направлением течения, характеристики воздуха быстро приспособляются к свойствам поверхности воды, и даже при значительных скоростях ветра не создается условий для появления аномально высоких значений потоков тепла.

Наоборот, если воздушная масса перемещается перпендикулярно к фронту, в непосредственной близости от него образуются большие вертикальные градиенты метеорологических величин в приводном слое. Они приводят к возникновению экстремальных значений энергообмена.

Однако если для уровня подстилающей поверхности энергоактивные зоны достаточно хорошо описаны, а также определены основные гидрометеорологические характеристики, с которыми они связаны, в частности разность температур, потоки влаги и тепла между океаном и атмосферой, то для поверхностей свободной атмосферы такие данные имеют только общий характер, связанный с энергетикой атмосферных процессов на климатических масштабах.

¹ Одесский государственный экологический университет, кафедра метеорологии и климатологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: serga_ed@mail.ru

Для исследования горизонтального распределения гидрометеорологических характеристик, как правило, применяются методы статистического анализа, в том числе многомерного статистического анализа (например, факторного, кластерного и т. д.), которые позволяют не только получить поля той или иной характеристики с помощью построения соответствующих изолиний, но и определить однородные районы с характерной репрезентативной точкой, что помогает существенно сжать информацию, выявить границы распределения характеристики в общей пространственной совокупности.

Анализ изменчивости границ полученных районов, а также соответствующих статистических показателей (средних значений, дисперсий, среднеквадратических отклонений) на протяжении последующих временных интервалов, позволяет судить об особенностях проявления изменчивости климата и ее интенсивности в полях рассматриваемых гидрометеорологических характеристик. Кроме того, существенно упрощается задача построения выборки предикторов, в качестве которых могут использоваться значения репрезентативных векторов, уменьшаются требуемые вычислительные мощности при исследовании взаимосвязи между различными параметрами, характеризующими взаимодействия в деятельном слое системы океан–атмосфера.

Однако все указанные положительные стороны предлагаемого подхода к изучению полей температуры так же, как и других характеристик, имеют место только при наличии объективных исходных данных с минимальным пространственным шагом, и отвечающим предъявляемым к статистическим рядам требованиям однородности, независимости, представительности.

Кластеризация среднемесячных полей температуры воздуха, массовой доли водяного пара на поверхности 850 гПа, расчет статистических характеристик соответствующих однородных зон является целью данной работы и, одновременно, частью более общего исследования, связанного с определением районов интенсивного взаимодействия между процессами, формирующими гидрометеорологические характеристики атмосферы и океана в северной части Тихого океана как аналогов энергоактивных зон.

Поверхность 850 гПа является в некотором смысле переходной, так как на формирование гидрометеорологических характеристик на этом уровне влияют процессы взаимодействия подстилающей поверхности с приземным слоем воздуха и, в то же время, процессы в средней тропосфере.

Размеры и конфигурация, особенности связей с другими частями Мирового океана, а также окружающих участков суши и связанные с этим направления циркуляционных процессов в атмосфере создали ряд особенностей Тихого океана: средние годовые и сезонные температуры его поверхностных вод выше, чем в других океанах; часть океана, расположенная в Северном полушарии, в целом значительно теплее южной, но в обоих полушариях за-

падная часть теплее и получает больше осадков, чем восточная.

На большей части акватории Тихого океана к северу от экватора преобладают высокие температуры поверхностных вод. Этому способствует большая ширина океана в межтропическом пространстве, а также система течений, выносящих теплые воды Северного пассатного течения на север вдоль берегов Евразии и островной зоны.

Системы ветров, водообмен, особенности рельефа дна океана, положение континентов и очертания их берегов влияют на формирование поверхностных течений океана, а те, в свою очередь, определяют многие особенности гидрологического режима.

В высоких широтах в Северном полушарии господствующим атмосферным процессом является западный перенос, но из-за того, что эта часть Тихого океана с севера, запада и востока замкнута сушей, зимой там складывается несколько иная метеорологическая ситуация, чем в Южном полушарии. С западным переносом на океан поступает холодный и сухой континентальный воздух со стороны Евразии. Он вовлекается в замкнутую систему Алеутского минимума, формирующегося над северной частью Тихого океана, трансформируется и юго-западными ветрами выносится к берегам Северной Америки, оставляя обильные осадки в прибрежной зоне и на склонах Кордильер Аляски и Канады.

Подобные процессы предполагают наличие неоднородностей в полях различных гидрометеорологических характеристик северной части Тихого океана. Одним из методов их исследования является кластерный анализ.

Материал и методы исследований. Кластерный анализ является одним из методов многомерного статистического анализа. Большое достоинство кластерного анализа в том, что он делает возможным производить разбиение объектов не по одному параметру, а по целому набору признаков. Кроме того, этот метод в отличие от многих других математико-статистических методов, не накладывает никаких ограничений на вид исследуемых объектов и работает с множеством исходных данных практически произвольной природы [Lance et al., 1967]. Кластерный анализ позволяет рассматривать значительный объем информации и резко сокращать, сжимать большие массивы различных данных, делать их компактными и наглядными. Важное значение он имеет применительно к совокупностям временных рядов, характеризующих физические процессы. Здесь можно выделять периоды, когда значения соответствующих показателей были достаточно близкими, а также определять группы временных рядов, динамика которых наиболее схожа [Jain et al., 1999].

Существует большое количество литературных источников, где подробно описаны различные методы проведения кластерного анализа [Кулаичев, 2006; Лагутин, 2003; Jain et al., 1999; Lance et al., 1967]. Однако идеального алгоритма не существует и потенциально не может существовать [Мандель, 1988].

В разработанном Универсальном итерационном методе кластеризации данных (УИМКД), выбран иной подход к критериям кластеризации [Серга, 2013]. По сравнению с общепринятыми критериями в климатологии и гидрометеорологии [например, Кобышева, 1978], акцент в УИМКД поставлен на выявлении неоднородности кластеров с помощью известных параметрических и непараметрических критериев: евклидова расстояния, критерия Фишера, критерия (статистики) Крамера-Уэлча и статистики типа критерия омега-квадрат (Лемана-Розеблатта). Применение их в математической статистике к независимым непрерывным случайным величинам с неизвестными законами распределения является наиболее аргументированным. Кроме того, применен новый подход к формированию внутренних критериев, определяющих начальные параметры шага (в виде использования ранжированной матрицы евклидовых расстояний) и номер оптимального шага. Это позволяет при работе алгоритма получить более объективный результат без участия исследователя. В качестве исходной информации выступает матрица $X = (x_{ij})_{m \times n}$, содержащая m векторов-строк мерности n , характеризующая статистические ряды объемом n в m пунктах, которые и должны быть кластеризованы. В априорной информации, в отличие от других методов, исследователю предоставляется возможность (по желанию) задавать минимальное количество векторов (по умолчанию 2), которые могут составить кластер.

В качестве объекта для исследования методом кластеризации УИМКД были взяты поля среднемесячных температур воздуха и массовой доли водяного пара (данные ре-анализа ERA-40 [Служба данных ECMWF ERA-40]), заданные в узлах регулярной сетки точек $2,5 \times 2,5$ в секторе, ограниченном по широте от 20° до 70° северной широты и по меридиану от 160° восточной долготы до 120° западной долготы, для осенне-зимних месяцев (ноябрь, декабрь, январь, февраль) периода с 1957 по 2003 гг. Именно в эти месяцы в умеренных и северных широтах наиболее ярко проявляется интенсивное взаимодействие между атмосферой и океаном: океан отдает тепло, накопленное в теплые месяцы, что приводит, в частности, к интенсификации потоков скрытого и явного тепла. Средняя температура слоя между подстилающей поверхностью и указанными изобарическими поверхностями понижается, соответственно, уменьшается нижняя граница изобарических поверхностей, усиливается роль турбулентности в энергомассообмене нижних и средних слоев атмосферы. Это приводит к увеличению неоднородности в распределениях гидрометеорологических характеристик в указанных слоях атмосферы.

Таким образом, в каждом узле сетки для каждого из указанных месяцев были сформированы 45-мерные векторы гидрометеорологических характеристик. Множество этих векторов и было представлено алгоритму УИМКД для разбиения на однородные кластеры.

Результаты исследований и их обсуждение.

Результаты проведенной кластеризации полей среднемесячных значений температуры воздуха и массовой доли водяного пара на уровне 850 гПа приведены на рисунках 1–4. Определенные алгоритмом кластеры отображены на рисунках различными буквенными обозначениями латиницы.

В таблице представлены основные статистические характеристики (средние значения и межгодовые внутрикластерные дисперсии), соответствующие репрезентативным векторам выделенных однородных районов.

Общая структура определенных однородных зон температуры воздуха (рис. 1) имеет широтную направленность, нарушаемую в восточной области северной части Тихого океана и связанную с разделительной линией вода–суша.

На картах-схемах прослеживается не только смена с широтного направления на меридиональное, но и проявление кластеров, имеющих вид крупномасштабных очагов (рис. 1, а – кластеры Н, I, рис. 1, б – D, F, I, K). Необходимо отметить, что количество этих очагов возрастает по мере усиления влияния процессов, соответствующих зимнему периоду. В частности, взаимодействие открытой водной поверхности с поступающим с территории суши холодным воздухом приводит к интенсификации потоков скрытого и явного тепла. В результате усиливающегося турбулентного тепло- и влагообмена увеличивается влияние неоднородностей в распределении температуры приповерхностного слоя воздуха [Серга с соавт., 2014] на формирование полей температуры в нижней атмосфере.

При сопоставлении результатов, отображенных на рисунках, с кластеризацией температуры воздуха на высоте 2 м и температурой поверхности за такой же период, выполненной ранее [Серга с соавт., 2014], где кластеры строго разделены – над сушей и над водой, на уровне 850 гПа, особенно в зимние месяцы, наблюдаются одноименные однородные зоны, прослеживаемые над обоими поверхностями, (рис. 1, а – кластеры С, Е, Н, I, рис. 1, б – В, D, F, I). Связано это, как уже указывалось выше, с влиянием на формирование температуры свободной атмосферы, а именно с ослаблением влияния относительно сильно турбулизированного пограничного слоя и преобладанием горизонтального перемешивания.

Среди кластеров, располагающихся над сушей, во все месяцы рассматриваемого периода отчетливо проявляется самостоятельный кластер в северной части Североамериканского континента (севернее 50° с. ш.) (рис. 1, а – кластер – D, рис. 1, б – С), имеющий максимальную дисперсию (табл.).

Эта однородная зона находится на пути перемещения внетропических циклонов, которые образуются в западной и северо-западных частях Северной Пацифики [Атлас океанов, 1974]. Различные интенсивность и количество барических образований, меняющиеся в течение месяца из года в год, создают предпосылки для значительной межгодовой изменчивости температуры.

Межгодовые внутрикластерные дисперсии (МВкД) и средние значения (СЗ) компонент репрезентативных векторов в кластерах температуры воздуха и в кластерах массовой доли водяного пара на поверхности 850 гПа в северной части Тихого океана (ноябрь, февраль)

№ п/п	Обозначение кластеров	МВкД		СЗ		№ п/п	Обозначение кластеров	МВкД		СЗ	
		ноябрь	февраль	ноябрь	февраль			ноябрь	февраль	ноябрь	февраль
В кластерах температуры воздуха (К)											
1	A	8,1	7,0	258,9	253,9	9	I	1,9	3,3	279,8	276,9
2	B	6,9	6,2	256,3	257,8	10	J	1,4	1,5	277,4	275,5
3	C	2,7	10,1	261,7	261,9	11	K	0,4	3,0	282,0	280,5
4	D	8,1	2,4	263,7	269,6	12	L	0,3	1,6	285,1	278,8
5	E	0,7	1,1	269,5	264,4	13	M	0,2	1,1	287,8	282,0
6	F	1,3	2,2	266,7	273,8	14	N	–	0,9	–	283,9
7	G	0,7	1,5	272,5	268,2	15	O	–	0,6	–	285,8
8	H	1,1	1,5	275,6	271,7	–	–	–	–	–	–
В кластерах массовой доли водяного пара (кг/кг)											
(МВкД $\times 10^{-8}$, СЗ $\times 10^{-3}$)											
1	A	3,0	3,0	1,0	0,8	7	G	9,9	2,7	5,2	1,7
2	B	4,0	5,1	1,4	1,1	8	H	8,1	7,6	6,9	4,3
3	C	13,6	9,7	1,8	1,5	9	I	53,6	14,0	3,4	5,8
4	D	3,6	11,9	2,1	2,1	10	J	39,0	28,3	4,8	5,1
5	E	2,8	4,6	2,7	2,4	11	K	10,0	51,4	8,8	3,9
6	F	2,2	4,9	3,7	3,2	12	L	–	18,1	–	7,3

Циркуляционный режим северной части Тихого океана формируется под влиянием двух центров действия атмосферы: северного субполярного циклонического (Алеутская депрессия) и северного субтропического антициклонического (Гонолульский максимум). Естественно предположить, что территориальное распределение среднемесячной температуры воздуха должно быть хорошо согласовано с климатическим барическим полем над северной частью Тихого океана, в том числе и с траекториями перемещения барических образований. Именно эти факты достаточно хорошо проявляются в настоящем исследовании: области влияния Алеутского минимума (севернее кластеров: J, H (рис. 1, а), L (рис. 1, б)) и Гонолульского максимума (южнее указанных кластеров) разграничиваются линией конвергенции, простирающейся с запада на восток в районе 30–40° с. ш., и переходящей в зону положительной горизонтальной дивергенции (кластеры H, I, K (рис. 1, а), I, K, N (рис. 1, б)).

Как показывают исследования процессов, формирующих погодные условия над северной частью Тихого океана, интенсивность Алеутской депрессии в зимний период является наибольшей, а Гонолульский максимум, наоборот, ослабевает. Этот факт находит отражение и в проведенной нами кластеризации: начиная с декабря, четко проявляется увеличение области распространения Алеутского минимума в виде смещения линии раздела между глобальными центрами в низкие широты.

Распределение средних значений репрезентативных векторов соответствует широтному распределению поступающей солнечной радиации, то есть имеет место меридиональный градиент (значения в южных кластерах выше, чем в северных). Граница перехода от положительных значений к отрицательным (своеобразная нулевая изотерма) выражается в кластерах, располагающихся в пределах 35–45° широты (рис. 1, а – кластеры H, G, рис. 1, б – J, I, F, H). В диапазоне этих широт также находится линия раздела между зонами действия Алеутского минимума и Гонолульского максимума. Максимальные межгодовые внутрикластерные дисперсии значений температуры относятся к кластерам, располагающимся над сушей и над скованной льдом морской поверхностью. В районе открытой океанской поверхности дисперсии относительно незначительные, что свидетельствует о малой временной изменчивости процессов (потоков скрытого и явного тепла), формирующих поля температуры.

Кластеризация массовой доли водяного пара на поверхности 850 гПа (рис. 2), в целом, хорошо согласуется с кластеризацией температуры на этой поверхности. Особенно это проявляется во временной стабильности, которая присутствует в очертах и местоположении однородных зон обеих характеристик в северной части рассматриваемой территории (севернее широты 50°, в том числе район расположения центров Алеутского минимума), а также проявляется в соответствующих им статис-

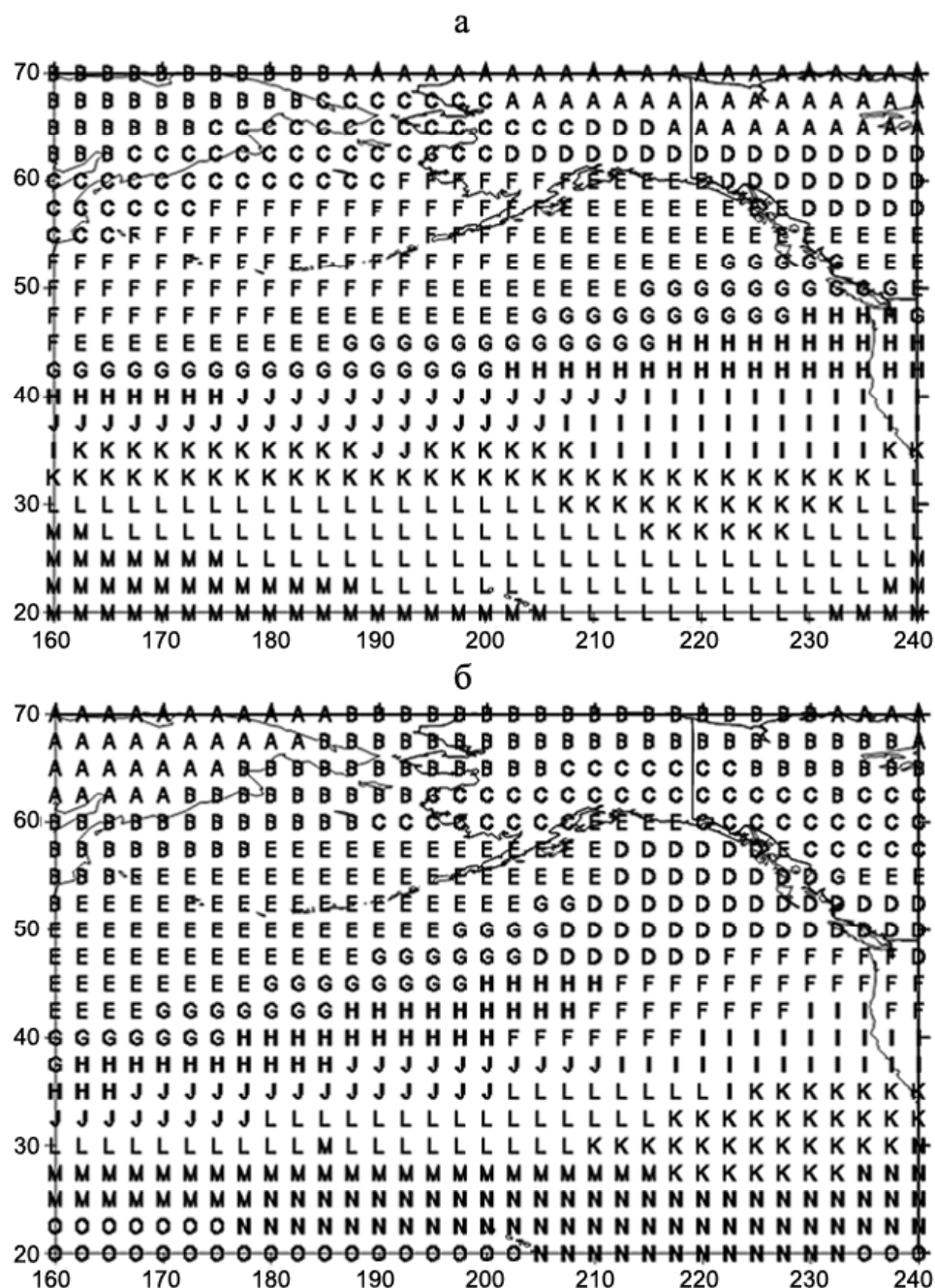


Рис. 1. Карта распределения кластеров среднемесячных значений температуры воздуха на поверхности 850 гПа в северной части Тихого океана (а – ноябрь, б – февраль)

Fig. 1. Map of the clusters of monthly air temperature values at the 850 mb surface in the North Pacific (a – November, б – February)

тических показателей (табл.). Однако распределение массовой доли водяного пара имеет некоторые свои особенности.

Во-первых, сравнительно меньшее проявление самостоятельных очагов, которые имеют место только в юго-восточной части (рис. 2, а – кластеры I, J, рис. 2, б – K, J), находящейся под действием ослабленного Гонолульского максимума.

Во вторых, наличие изменения направленности глобальных однородных зон с широтного на меридиональное у западных берегов Северной Америки (например, рис. 2, а – кластер F, рис. 2, б – F), про-

является в формировании четко выраженного гребня в поле значений и более выразительно подчеркивает линию положительной дивергенции между зонами влияния двух квазистационарных атмосферных центров действия. Стоит отметить, что эта линия раздела (конвергенция – положительная дивергенция) проходит севернее 40° широты в отличие от наблюдаемой на рис. 1.

Кроме того, во все рассматриваемые месяцы в полях массовой доли водяного пара и температуры на поверхности 850 гПа хорошо проявляются кластеры циклональной и антициклональной цирку-

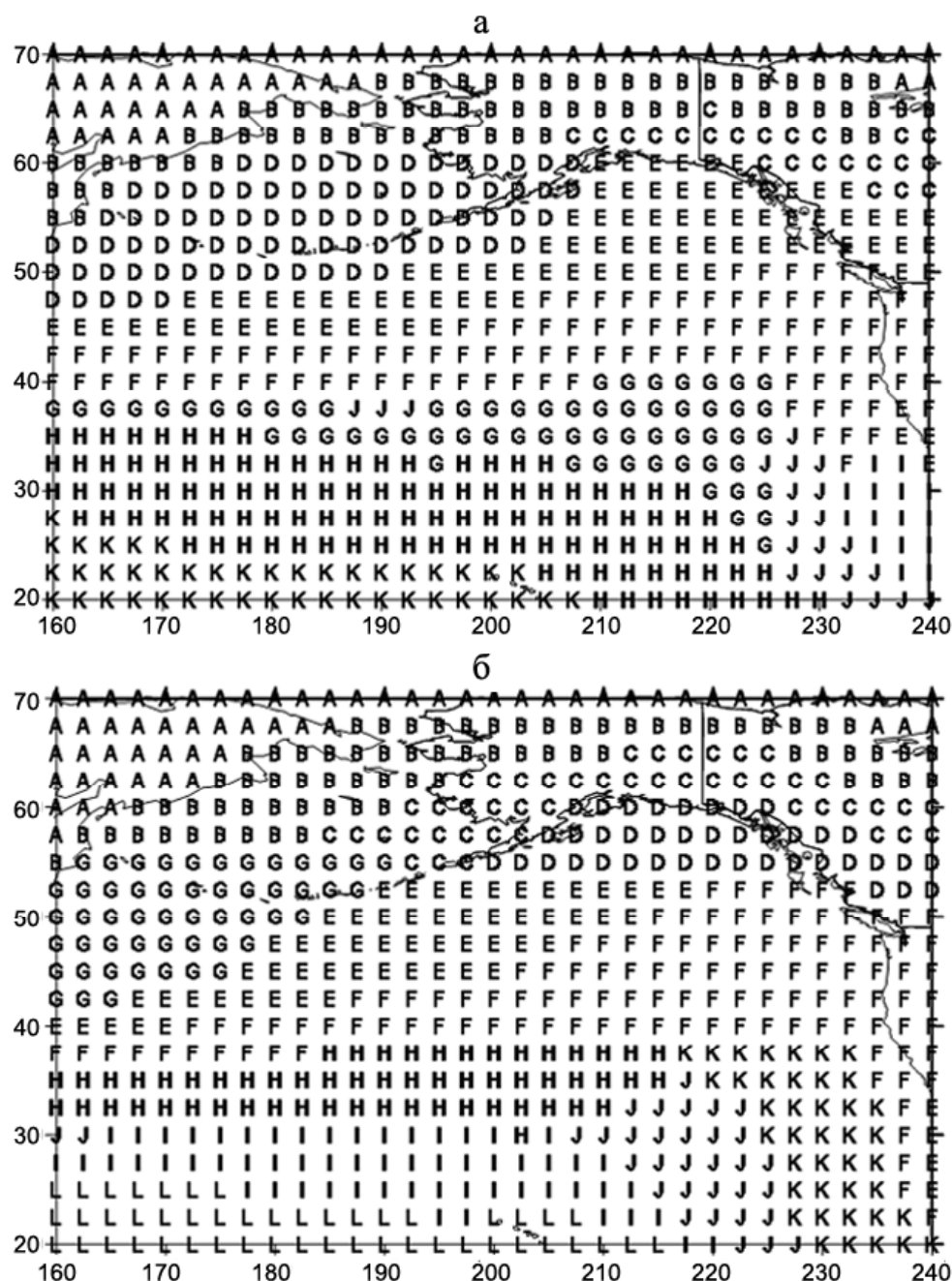


Рис. 2. Карта распределения кластеров среднемесячных значений массовой доли водяного пара на поверхности 850 гПа в северной части Тихого океана (а – ноябрь, б – февраль)

Fig. 2. Map of the clusters of monthly specific humidity values at the 850 mb surface in the North Pacific (a – November, б – February)

ляции вод северной части Тихого океана: северного субтропического антициклонического кругооборота, определяемого такими течениями, как Северное пассатное (рис. 1, а – кластер М, рис. 1, б – О, рис. 2, а – кластер К, рис. 2, б – L), Северо-Тихоокеанское (рис. 1, а – кластеры G, H, J, рис. 1, б – H, F, J, рис. 2, а – кластеры F, G, рис. 2, б – F, H), Калифорнийское (рис. 1, а – кластеры I, L, рис. 1, б – I, K, N, рис. 2, а – J, I, рис. 2, б – K, J) и субполярного циклонического кругооборота – Алеутское (рис. 1, а – кластеры F, E, рис. 1, б – E, G, рис. 2, а – кластеры D, E, рис. 2, б – G, E), представляющее собой север-

ную ветвь Северо-Тихоокеанского течения, Аляскинское (рис. 1, а – нет четкой выраженности и входит в кластер E, рис. 1, б – D, рис. 2, а – нет четкой выраженности и входит в кластер E, рис. 2, б – D), огибающее Аляскинский залив против часовой стрелки, Камчатское (рис. 1, а – кластер C, рис. 1, б – B, рис. 2, а – B, рис. 2, б – B) и Курильское холодные течения [Атлас океанов, 1974].

В-третьих, самостоятельный кластер, отчетливо проявляющийся в распределении температуры над северной частью Североамериканского континента, также присутствует в распределениях мас-

совой доли водяного пара, но уже в виде системы из двух зон, имеющих максимальные межгодовые дисперсии среди кластеров, находящихся над сушей (рис. 2, а – кластер С, рис. 2, б – С, D).

Средние значения репрезентативных векторов кластеров массовой доли водяного пара (табл.) с максимумами в южной части рассматриваемой территории Тихого океана имеют такой же, как и у температуры воздуха, меридионально направленный градиент.

Только в юго-западной области присутствует нарушение широтного распределения максимальных средних значений, то есть наблюдается некоторое их уменьшение (рис. 2, а – кластеры J, I, рис. 2, б – K, J). Этим кластерам, имеющим очаговый характер, соответствуют максимальные межгодовые дисперсии. Известно, что тропические циклоны образуются в Тихом океане – к востоку от Филиппинских островов и в южной части Южно-Китайского моря, в основном, с мая по ноябрь, а также к западу от Калифорнии и Мексики с июня по октябрь. Из этого следует, что в зимний период, процессы, приводящие к зарождению этих локальных барических образований и поддерживающие их существование источники (в частности – скрытая теплота конденсации) менее интенсивны. Указанные выше кластеры соответствуют району расположения этих источников, что подтверждается не только географическими координатами, но и приведенными статистическими характеристиками (табл.). Кроме того, в этом районе наблюдаются пониженные значения турбулентного теплообмена между поверхностью океана и атмосферой [Атлас океанов, 1974].

Выводы:

– все приведенные особенности распределения кластеров рассмотренных параметров атмос-

феры на уровне 850 гПа и их структуры в северной части Тихого океана имеют хорошее физическое обоснование, подтвержденное рассчитанными значениями статистических характеристик. Объективность полученных результатов в совокупности с преимуществами используемого алгоритма (отсутствием предварительных условий, автоматическим определением оптимального количества кластеров, согласованностью критериев определения независимости) подтверждают возможность применения УИМКД при проведении исследований с использованием гидрометеорологических данных;

– сравнение приведенных результатов исследования показывает, что полученные однородные регионы в среднемесечных полях температуры воздуха и массовой доли водяного пара, хорошо согласуются с приземными климатическими картами месячных и среднемесечных гидрометеорологических характеристик, построенными на основе данных непосредственных экспедиционных гидрометеорологических измерений, таких, как карты распределения суммарной солнечной радиации, радиационного баланса, затрат тепла на испарение, температуры воздуха у поверхности океана, температура воды на поверхности и т. д. [Атлас океанов, 1974];

– анализ изменчивости границ однородных зон в полях температуры и массовой доли водяного пара на уровне 850 гПа, а также соответствующих им статистических показателей (средних значений, межгодовых дисперсий, среднеквадратических отклонений), полученных в результате проведенной кластеризации, на протяжении последующих временных интервалов позволит судить об особенностях проявления изменения климата и его интенсивности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас океанов. Тихий океан / Под ред. С.Г. Горшкова. Л.: Изд-во ГУНПО, 1974.

Кобышева Н.В., Г.Я. Наровлянский. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеоздат, 1978. 295 с.

Кулаицев А.П. Методы и средства комплексного анализа данных. М.: ИНФРА-М, 2006. 276 с.

Лагутин М.Б. Наглядная математическая статистика. М.: П-центр, 2003. 347 с.

Ланпо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе океан–атмосфера и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 335 с.

Мандель И.Д. Кластерный анализ. М.: Финансы и Статистика, 1988. 339 с.

Серга Э.Н. Универсальный итерационный метод кластеризации данных // Украинський гідрометеорологічний журнал. 2013. № 12. С. 112–123.

Серга Э.Н., Рубан И.Г., Рудич О.С. Климатическое районирование полей среднемесечной температуры подстилающей поверхности в северной части Тихого океана в зимний период //

Вісник Одеського держ. екологічного ун-ту. 2014. № 17. С. 157–172.

Серга Э.Н., Сущенко А.И. Климатическое районирование полей среднемесечной температуры воздуха в северной части Тихого океана в зимний период // Український гідрометеорологічний журнал. 2014. № 14. С. 53–67.

Служба данных ECMWF ERA-40 [Электронный ресурс]. Режим доступа к журналу. <http://www.ecmwf.int/products/data>.

Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review // ACM Computing Surveys. 1999. V. 31. № 3. P. 264–323.

Lance G.N., Williams W.T. A general theory of classification sorting strategies. 1. Hierarchical systems // Comp. J. 1967. № 9. P. 373–380.

Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Eds). IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 p.

Поступила в редакцию 20.07.2016
Принята к публикации 13.09.2017

E.N. Serga¹

DISTRIBUTION OF HOMOGENEOUS DOMAINS IN THE FIELDS OF HYDROMETEOROLOGICAL PARAMETERS OVER THE NORTH PACIFIC OCEAN DURING COLD PERIOD OF THE YEAR

Schemes of regionalization of air temperature and specific humidity fields at the 850 mb surface over the North Pacific Ocean, elaborated with the Omnibus Iteration Technique of data clusterization, are suggested. Scientifically well-grounded physical and statistical analyses of the clustering schemes are given. It is shown that except the Eastern North Pacific the general structure of certain homogeneous districts is latitudinal because of «water-land» dividing line. General features and differences in distribution of air temperature and specific humidity fields are determined.

Key words: representative vector, air temperature, specific humidity, cluster, criterion, intra-cluster variance.

REFERENCES

- Gorshkov S.G. (Ed.) Atlas okeanov. Tihiy okean [Atlas of the Oceans. Pacific Ocean]. Leningrad: GANIO Publ., 1974 (in Russian).
- Jain A., Murty M., Flynn P. Data clustering: A review // ACM Computing Surveys. 1999. V. 31. № 3. P. 264–323.
- Kobysheva N.V., Narovlyanskij G.Ya. Klimatologicheskaya obrabotka meteorologicheskoy informacii [Climatological processing of meteorological information]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1978. 295 p. (in Russian).
- Kulaichev A.P. Metody i sredstva kompleksnogo analiza dannyh [Methods and means for complex data analysis]. M.: INFRA-M, 2006. 276 p. (in Russian).
- Lagutin M.B. Naglyadnaya matematicheskaya statistika [Pictorial mathematical statistics]. M.: P-centr, 2003. 347 p. (in Russian).
- Lance G.N., Willams W.T. A general theory of classification sorting strategies. 1. Hierarchical systems // Comp. J. 1967. № 9. P. 373–380.
- Lappo S.S., Gulev S.K., Rozhdestvenskiy A.E. Krupnomasshtabnoe teplovoe vzaimodejstvie v sisteme okean-atmosfera i energoaktivnye oblasti Mirovogo okeana [Large-scale thermal interaction in the ocean-atmosphere system and the energy active areas of the World Ocean]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990. 335 p. (in Russian).
- Mandel' I.D. Klasternyj analiz [Cluster analysis]. M.: Finansy i statistika, 1988. 339 p. (in Russian).
- Serga E.N., Suschenko A.I. Klimaticheskoe rajonirovanie polej srednemesyachnoj temperatury vozduha v severnoj chasti Tihogo okeana v zimnij period [Climate zoning of monthly air temperature fields in the North Pacific during winter] // Ukrainian hydrometeorological // J. 2014. № 14. P. 53–67 (in Russian).
- Serga E.N. Universal'nyi iteratsionnyi metod klasterizatsii dannyh [The universal iterative method of data clusterization] Ukrainian hydrometeorological // J. 2013. № 13. P. 112–123 (in Russian).
- Serga E.N., Ruban I.G., Rudich O.S. Klimaticheskoe rajonirovanie polej srednemesyachnoj temperatury podstilayushhej poverhnosti v severnoj chasti Tihogo okeana v zimnij period [Climate zoning of monthly surface temperature fields in the North Pacific during winter] // Vistnyk Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universytetu, 2014. № 17. P. 157–172 (in Russian).
- Sluzhba dannykh ECMWF ERA-40. [Data Service ESMWF ERA-40]. Available at: <http://www.ecmwf.int/products/data>.
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (Eds). IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 p.

Received 20.07.2016

Accepted 13.09.2017

¹ Odessa State Environmental University, Department of Meteorology and Climatology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: serga_ed@mail.ru

УДК 911.3

Е.Д. Белова¹

ТЕРРИТОРИАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ В УРОВНЕ РАЗВИТИЯ КИНОИНДУСТРИИ СТРАН МИРА

Рассмотрены географические аспекты развития киноиндустрии как одной из креативных отраслей экономики стран мира. Киноиндустрия оказывает на социально-экономическое развитие стран прямое, косвенное (мультипликативный эффект) и латентное (через воздействие на поведение людей) влияние. Для оценки прямого эффекта на основе пяти показателей (количество произведенных за год фильмов, кассовые сборы, доля посещений кинотеатров на душу населения, структура кинопроката, степень популярности фильмов национального производства за границей) проведена типология стран мира по уровню развития киноиндустрии. Выделено 3 типа стран: высокого, среднего и слабого уровня развития киноиндустрии. В рамках типов выявлены подтипы стран по особенностям развития отрасли. При анализе учитывалась динамика изменения показателей.

Ключевые слова: киноиндустрия, аудиовизуальный сектор, география креативных отраслей, креативная экономика, креативный класс.

Введение. Киноиндустрия – это отрасль экономики, занимающаяся кинопроизводством и кинопрокатом. По Международной стандартной отраслевой классификации ООН киноиндустрия является частью сектора «Информация и связь» (категория J-5911 «Кино-, видео- и телепроизводительная деятельность») [International ..., 2008]. Информационный сектор данной классификации включает отрасли, обеспечивающие производство, обработку и распространение информации – то есть именно те виды деятельности, которые считаются ключевыми в так называемой «глобальной информационной экономике», становление которой – одна из важнейших тенденций современной эпохи [Howkins, 2001; The Challenge ..., 2008; Arjona, Illera, Sanz, 2012]. В начале 2000-х годов в большинстве ведущих стран мира наблюдается рост числа производимых фильмов [Global ..., 2015]. Быстрый рост индустрии кино и ее высокая доля в экономике ряда стран² определяют актуальность сравнительного географического изучения уровня развития киноиндустрии разных стран мира.

Исследования по анализу киноиндустрии с точки зрения социально-экономической географии на мировом уровне ранее не проводились, чем и определяется новизна работы. В зарубежной социально-экономической географии преобладают работы по отдельным государствам и городам [Corsi, 2014; Pleven, 2014; Trouillard, 2014]. В некоторых странах (США, Индия и др.) индустрия кино – предмет официального статистического наблюдения.

Материалы и методы исследования. Цель настоящей работы – анализ территориальных особенностей развития киноиндустрии. Киноиндустрия принадлежит к так называемым креативным отраслям экономики [The creative ..., 1998], поэтому для ее

изучения в рамках социально-экономической географии применим исследовательский аппарат, разработанный в сфере изучения географии креативных отраслей.

Традиционно исследователи креативных отраслей выделяют прямой, косвенный и латентный эффекты их влияния на социально-экономическое развитие стран и регионов [Howkins, 2001, Florida, 2002]. Воздействие киноиндустрии на социально-экономическое развитие страны также происходит через ряд прямых, косвенных и латентных эффектов. Прямое влияние оказывает эффект от производства фильмов и кинопроката – вклад отрасли в ВВП страны. Прямым влиянием на экономику киноиндустрии является и факт создания в ней рабочих мест (ввиду отсутствия единой статистической базы данных, автор не анализирует это в статье). Косвенным эффектом является создание индустрией кино предпосылок к развитию отдельных регионов за счет использования кинопродукции в создании новых товаров и услуг в сфере туризма и развлечений путем формирования инфраструктуры досуга. Возможен и латентный эффект влияния киноиндустрии – через воздействие на доминирующие модели поведения. Так, американскими учеными Р. Дженсоном и Э. Остер (исследование по Индии) [Jensen, Oster, 2009] и Е. Феррари, А. Шоном и С. Дюрия (исследование по Бразилии) [Ferrari, Chong, Duryea, 2008] статистически доказаны парадоксальные данные: расширение доступа к просмотру телефильмов в развивающихся странах (Индии и Бразилии) отрицательно влияет на уровень рождаемости. По мнению авторов, телефильмы транслируют западные модели репродуктивного поведения, которые усваиваются местным населением. Речь идет именно о трансляции моделей поведения: соответствующее

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

² Так, например, в Канаде киноиндустрия обеспечивает занятость более чем 200 тыс. человек и приносит более 9 млрд кан. долл. годового дохода (с учетом мультипликатора – 20 млрд кан. долл.) [The economic ..., 2013].

сокращение рождаемости не вызвано влиянием уровня жизни и других экономических факторов или уровнем грамотности. Таким образом, кинематограф оказывает существенное влияние на формирование регионального социально-экономического развития, причем на корневом уровне – институциональной среды, ценностных установок.

В данной работе будет рассмотрен только прямой эффект влияния киноиндустрии на социально-экономическое развитие стран мира. Были проанализированы данные Института статистики ЮНЕСКО [UNESCO ..., 2016] – источника с наиболее полным статистическим охватом стран и характеристик отрасли: по количеству фильмов, снятых в разных жанрах, в цифровом и не цифровом виде; количеству кинокомпаний; количеству кинотеатров с разными видами экранов и т. д. Для описания киноиндустрии нами были выбраны пять основных показателей. Во-первых, количество произведенных за год фильмов – одна из важнейших составляющих уровня развития отрасли в стране (в исследование включены только полнометражные художественные фильмы). Во-вторых, кассовые сборы – сумма стоимости всех проданных на территории страны за год билетов в кинотеатры. Это самый точный из доступных по статистическим отчетам и сводкам показатель доходов страны от данной индустрии³. В-третьих, количество посещений кинотеатров в год (или количество проданных билетов), в пересчете на душу населения. Данный показатель наилучшим образом отражает степень вовлеченности местных жителей в использование продукции отрасли. В-четвертых, структура кинопроката, показывающая, какая доля зрителей в рассматриваемый год посмотрела фильмы производства разных стран (первых пяти). По этому показателю страны различаются, главным образом, по тому, какую долю от зрительских посещений занимают фильмы национального производства (ФНП), что иллюстрирует особенности потребления кинопродукции. В-пятых, степень популярности ФНП за границей: в данном случае для ее оценки было рассмотрено количество государств, где фильмы производства данной страны входят в пятерку самых популярных в кинопрокате, сколько посещений на них приходится в абсолютном и относительном (доля местного кинопроката) выражении. Этот показатель позволяет увидеть степень внешней направленности национальной киноиндустрии. Таким образом, мы рассмотрим индустрию кино стран мира в пяти важнейших аспектах: производства продукции, ее потребления (с точки зрения вовлеченности жителей в проведение досуга в кино и степени разнообразия просмотренных фильмов), дохода отрасли по странам и степени внешней ориентированности. Кроме пяти основных для типологии использованы четыре дополнительных показателя (посещения кинотеатров, кассовые сборы на душу населения, создание особых условий для ки-

нопроизводителей, лингвистическое разнообразие произведенной продукции), которые в данной статье не рассматриваются подробно.

За период с 2011 по 2015 г. в 110 странах мира (включая САР Китая Гонконг) был произведен хотя бы один фильм или наблюдались посещения кинотеатров. Страны, удовлетворяющие хотя бы одному из этих условий, вошли в рассмотрение. Проанализированы тенденции изменения каждого из показателей, начиная с 1995–2000 гг., поэтому, несмотря на то, что данные приведены за 2015 г., типология актуальна для периода начала XXI века.

Результаты исследований и их обсуждение.
«Валовое» производство фильмов: крупнейшие национальные центры кинопроизводства. С 1995 года (самые ранние общедоступные данные) производство кинофильмов в мире неуклонно возрастало, достигнув к 2015 году 8429 фильмов – рекордное годовое количество за всю историю кино. Отрасль отличается устойчивой концентрацией производства. В течение 2005–2015 гг. ряд крупнейших производителей не поменялся: более половины фильмов, произведенных за 2015 г., созданы в пяти крупнейших странах в области кино: Индия (1907), США (791), Китай (686), Япония (581), Франция (300). К производителям-лидерам также относятся Великобритания, Республика Корея, Испания и Германия. По прогнозу [Global ..., 2015], к 2019 г. Россия и Аргентина должны оказаться на передовых позициях в отрасли, но на данном этапе они не попадают в десятку лидеров по производству фильмов с объемом производства более 200 фильмов в год.

В 2015 г. больше всего фильмов было выпущено в Индии (занимает первое место с 1995 г.) – 1907 единиц [UNESCO ..., 2016] или более пятой части мирового производства. Однако при этом стоит учитывать, что их производство в Индии идет в нескольких крупнейших штатах, и в каждом – на местном языке, то есть Индия выступает как конгломерат производителей фильмов на разных языках. Страна представляет собой пример уникального лингвистического разнообразия выпускаемых фильмов: в 2015–2016 гг. (в местной статистике «киногод» начинается в апреле и кончается в марте) там было произведено 1902 фильма в 41 языковой категории, причем ни одна из них не превышает 18% в общей структуре [Annual ..., 2016]. Съемка фильмов проводилась в девяти регионах. Ни традиций, ни инфраструктурных возможностей перевода фильмов в Индии нет, поэтому кино на языке штата рассчитано на его собственную аудиторию и на других носителей языка. Ключевыми центрами производства на индийском рынке кинофильмов являются города Мумбай, Колката, Ченнаи, Бангалор, Тируванантапурам, Хайдарабад, Дели и Каттак. Штаты, выделяющиеся производством фильмов, отличаются, как правило, высоким уровнем развития [Datt, Sundharam, 2009]: это Махараштра, Тамилнад, Джар-

³ Информация о продажах дисков большинством стран не рассматривается в качестве данных по развитию отрасли. В региональных и мировых отчетах она тоже не фигурирует.

кханд, Карнатака, Керала. Основные языки, на которых говорят в фильмах – хинди, телугу, тамильский, каннада, бенгали и маратхи. Выпускаются фильмы и на английском языке, попадающие в международный кинопрокат (лишь 7% доходов от кассовых сборов страны в 2015 году приходится на индийские фильмы, показанные за рубежом), но их значительно меньше – так, например, в рассмотренный период на английском языке было выпущено 5 фильмов из 1902 (табл.).

Интересный случай представляет Гонконг. Несмотря на сравнительно малую численность населения (около 7 млн чел.) и то, что он не является независимой страной, в 2015 г. здесь было произведено 59 фильмов – больше, чем, например, в некоторых европейских странах с сопоставимой численностью населения (например, Болгария – 25 фильмов). Кинематограф Гонконга является одной из трех основных исторически сложившихся ветвей китайскоязычного кино. Будучи более интегрированным во внешний мир (до 1997 г. Гонконг был британским владением) по сравнению с КНР и Тайванем, он стал центром китайскоязычного кино для стран Юго-Восточной Азии и мира в целом [Poshek, Desser, 2000]. В течение десятилетий Гонконг был третьей по величине киноиндустрией в мире (после Болливуда и Голливуда) и вторым по объему киноэкспорта. Несмотря на кризис отрасли, разразившийся в середине 1990-х годов, и возвращение под суверенитет Китая, Гонконг продолжает занимать значимое место в мировом кинематографе [Zhang, 2006].

В обход профессионального кинопроизводства полнометражных фильмов на рынках развивающихся стран в последние годы появляются фильмы в видеоформате. Такие фильмы не учитываются в официальной статистике (и не включены в иссле-

дование), но пользуются популярностью на некоторых рынках развивающихся стран (особенно африканских). Например, в Нигерии есть свой «Нолливуд» – крупнейший рынок производства и продажи фильмов в видеоформате (в 2011 г. 997 фильмов) (рис. 1).

Кассовые сборы: крупнейшие национальные рынки отрасли. Кассовые сборы по всему миру за 2015 г. составили 38,3 млрд долл. На крупнейшие по этому показателю 22 страны приходится 88,5% всех сборов, что иллюстрирует высокую степень концентрации легального потребления продукции киноиндустрии в мире (без учета фильмов, выпускаемых на DVD, мобильных и интернет-платформах).

Абсолютным лидером по этому показателю являются США, собравшие 10 млрд долл. или около трети мировых доходов отрасли. Значимые рынки киноиндустрии есть во всех регионах, кроме Африки, Средней Азии и Центральной Америки. Отрыв от США следующего за ними Китая с каждым годом сокращается: еще в 2013 г. кассовые сборы в стране составляли 3,6 млрд долл., а в 2015 г. они достигли 6,8 млрд долл. В Японии (4 место; 1,8 млрд долл.) так же, как и в Республике Корея (6 место; 1,5 млрд долл.), устоявшаяся система кинематографа со стабильными показателями отрасли. Выделяются по кассовым сборам страны Европы: Великобритания, Франция, Германия. И растущие страны Латинской Америки: Мексика, Бразилия, Аргентина. Характерно, что Индия занимает лишь пятое место по объему кассовых сборов (1,6 млрд долл.), хотя со значительным отрывом производит наибольшее количество фильмов (1907): доход рынка кинопроката определяется не только численностью населения, но и уровнем его доходов (стоимость билета в Индии ниже, чем, например, в США) [Annual ..., 2016; Theatrical ..., 2015].

**Наиболее популярные языки фильмов, произведенных в Индии
с 1.04.2015 по 31.03.2016 гг.**

№	Язык фильма	Количество произведенных фильмов	Доля от общего числа произведенных в стране фильмов, %	Родной/второй язык, млн человек
1	Хинди	340	17,9	490/120-225
2	Телугу	275	14,5	80
3	Тамильский	291	15,3	70
4	Каннада	204	10,7	38
5	Бенгали	149	7,8	250
6	Маратхи	180	9,5	70/20
7	Малаялам	168	8,8	35,7
8	Бходжпури	67	3,5	25
9	Гуджарати	45	2,4	46,1
10	Ория	41	2,2	31
11	Английский	5	0,3	–
12	Прочие	137	7,2	–
Всего		1902	100	–

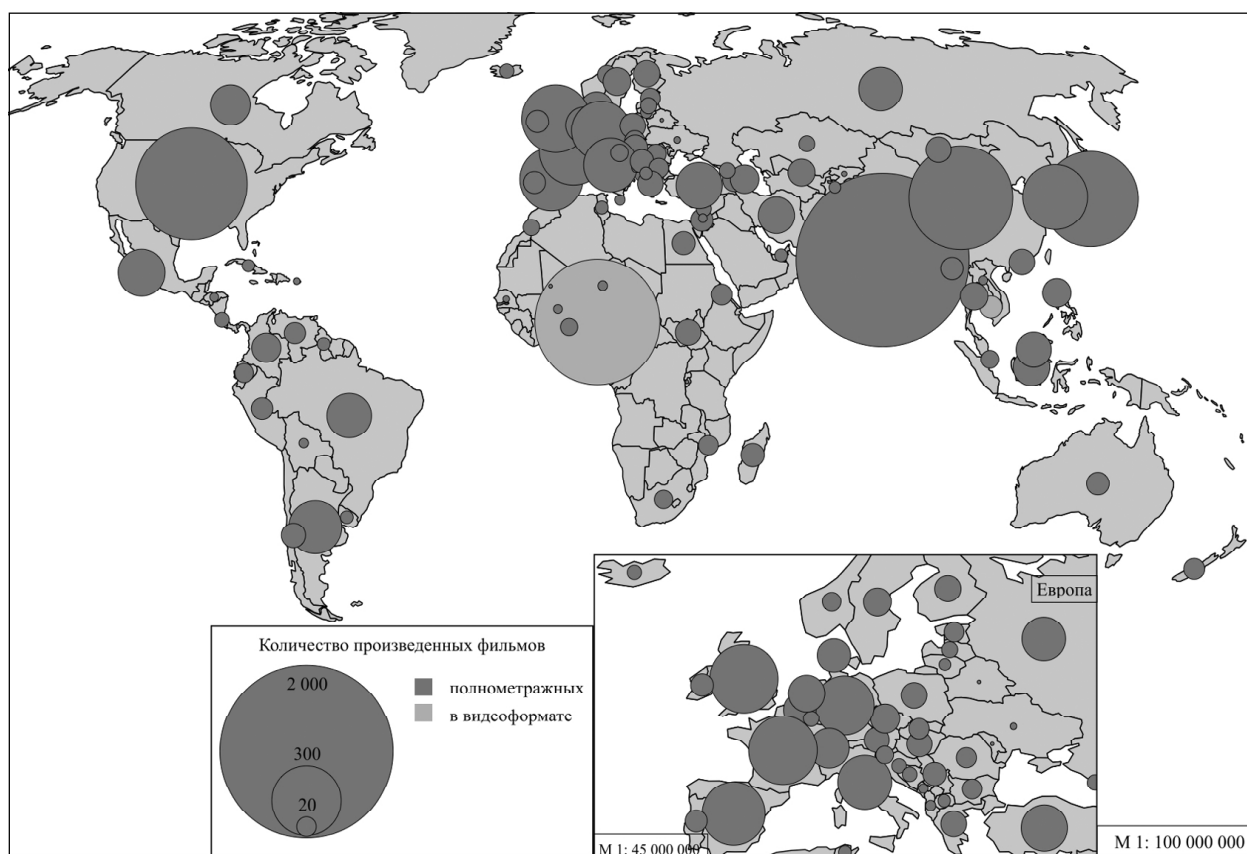


Рис. 1. Производство фильмов в странах мира, 2015 г. (для отдельных стран – 2013 г., для стран, производящих фильмы в видеоформате – 2011 г.)

Fig. 1. Film production, 2015 (for the certain countries – 2013, for countries with video production – 2011)

По прогнозу [Global ..., 2015], к 2019 г. в мире будет 4 страны с наибольшими доходами от киноиндустрии⁴ и самыми высокими темпами роста отрасли: Китай, Индия, Россия и Аргентина. На настоящий момент прогноз оправдывается в случае первых трех стран, заметного роста в области киноиндустрии Аргентины нами замечено не было. Россия (0,8 млрд долл.) не попадает в десятку стран-лидеров по кассовым сборам, но занимает четвертое место в Европе в целом (после Великобритании, Франции и Германии).

Высокий уровень кассовых сборов от проката кинопродукции (более 150 млн долл.) наблюдается в большинстве случаев в странах со значительным (более 50 фильмов в год) производством продукции отрасли. Исключение здесь составляют Иран, Азербайджан, Узбекистан и Греция, где большое число произведенных фильмов не обеспечивает даже среднего уровня кассовых сборов. Напротив, есть страны и территории, где достигается высокий доход от киноиндустрии на фоне среднего уровня производства фильмов (менее 50 в год) – Австралия, Ирландия, Норвегия, Венесуэла, Сингапур и Польша.

Если посмотреть на данный показатель в относительном измерении – кассовые сборы на душу

населения и сравнить его с душевым ВВП, то окажется, что они имеют высокую корреляцию – 0,8. Очевидно, что высокая стоимость билетов в кинотеатры характерна для стран с более высоким уровнем жизни – однако, с другой стороны, на объем кассовых сборов влияет и популярность посещения кинотеатров как форма досуга.

Посещения кинотеатров на душу населения.

Несмотря на то, что в последние годы в связи с распространением новых средств связи для того, чтобы посмотреть фильм, не обязательно выходить из дома, просмотр фильмов в кинотеатрах остается востребованным способом проведения досуга (в терминах социально-экономической географии посещение кинотеатров можно назвать процессом потребления продукции отрасли). Таким образом, уровень посещения кинотеатров рассматривается как показатель уровня потребления продукции киноиндустрии.

Высокие показатели посещения кинотеатров на душу населения отмечаются в Исландии (4,8), Республике Корея (4,7), Сингапуре (4,4), США (4,2), Австралии (4,2), Канаде, Гонконге (САР Китая), Новой Зеландии, Ирландии, во Франции. Величина показателя связана как с культурными установками по поводу посещения кинотеатров (в США и в Новой Зе-

⁴ Включает не только кассовые сборы, но и доход от продажи дисков и электронных носителей фильмов.

ландии – типичный способ проведения досуга, в новозеландской статистике [Cultural ..., 2009] отнесен к ежемесячному виду культурной активности), так и с зависимостью от доли городского населения. Если сравнить посещения на душу населения страны с посещениями на душу населения крупнейшего города, то окажется, что именно крупные города являются лидерами в этой сфере. Например, в 2000 г. Париж и Люксембург превосходили по посещениям на душу населения средние по стране показатели соответственно в 6 и 5 раз [Karlsson, 2002]. Походы в кинотеатр являются городским видом активности, чем и объясняется такая высокая посещаемость кинотеатров на душу населения в Исландии (около 60% населения страны живут в «Столичном регионе», уровень урбанизации – 94% [Statistics ..., 2015]), Сингапуре и Гонконге. Остальные страны-лидеры также отличаются высоким уровнем урбанизации (более 80%, во Франции – 79%) [World ..., 2015].

Уникален пример Катар, где при высокой доле посещений на душу населения производство кинопродукции отсутствует: за рассмотренный период здесь не было выпущено ни одного фильма. Спрос на фильмы удовлетворяется исключительно за счет импортной продукции.

Показателен тот факт, что в Китае – стране, лидирующей по темпам роста кассовых сборов и выпуска фильмов, душевой показатель посещений относительно невысок и составляет всего 0,9 (вырос с 0,27 в 2013 году). Связано это, по-видимому, с низким ВВП на душу населения (14,3 тыс. долл. в 2015 г. – 79 место в мире) [GDP ..., 2016] и с большими региональными диспропорциями в развитии КНР. В то же время, это свидетельствует о большом потенциале развития киноиндустрии Китая.

Структура кинопроката. Степень внешней ориентированности киноиндустрии. Важным показателем для характеристики стран с точки зрения особенностей развития киноиндустрии является структура кинопроката. Данные по абсолютному и относительному количеству зрителей, просмотревших в рассматриваемый год фильмы производства разных стран (первые 5), в статистике ЮНЕСКО есть по 88 из 110 стран и территорий нашего рассмотрения. Главным показателем была выбрана доля фильмов национального производства в структуре местного кинопроката за год (есть по 40 странам за 2015 г.). Три страны были исключены из обзора из-за очень низкой доли посещений – менее 0,02 посещения на душу населения, так как это не отражает общенациональную картину структуры кинопроката (Марокко, Лаос, Азербайджан). Данные по ряду стран (Япония, Малайзия, Израиль, Эстония, Филиппины, Казахстан, Бельгия, ЮАР, Болгария, Исландия) были добавлены за 2013 г. В итоге в рассматриваемую выборку попали 47 государств.

С точки зрения внутренней структуры кинопроката страны различаются главным образом по тому, какую долю от зрительских посещений занимают ФНП. Оказалось, что всего в шести странах мира

доля ФНП в структуре кинопроката составляет более половины.

С точки зрения внешней направленности киноиндустрии страны различаются по количеству государств, где их фильмы становятся популярными, доле в их кинопрокате ФНП и объему аудитории. Стран мира, где самыми популярными в местном кинопрокате оказываются национальные фильмы, немного: это Иран (100%), США (92%), Индия (около 80%), Япония и РК (по 60%), Китай (59%). За исключением Ирана, все эти страны входят в десятку лидеров по абсолютному производству фильмов. Примечательно, что помимо США с их мощнейшей киноиндустрией в эту категорию попадают не европейские, а азиатские страны, которые существенно отличаются от США по культуре и острее, чем европейские страны, испытывают потребность в национальном кинематографе. В случае Ирана такая «потребность» продиктована государственным контролем СМИ [Лоскутова, 2006].

США занимают особое положение в мировой киноиндустрии с точки зрения внешней ориентированности отрасли – это абсолютный лидер по популярности ФНП за рубежом. Так, в 42 странах (из 47; включая США) доля посещений в кинотеатре картин американского производства составляет более 45%, в том числе в 17 странах – более 75%. Однако, в 2010-х гг. наблюдается тенденция сокращения доли американских фильмов в некоторых европейских государствах (Великобритания, Франция, Испания).

Несмотря на то, что фильмы остальных перечисленных стран тоже популярны в кинотеатрах некоторых зарубежных стран (максимальный охват в этой группе у Японии – 7 стран), их популярность не сравнится с американской.

Средним уровнем популярности (доля ФНП от 20 до 49%) отличаются местные фильмы в ряде европейских стран. Среди них выделяются те, чьи фильмы входят в топ-5 по посещениям в зарубежных кинотеатрах: Великобритания (29 стран), Франция (27 стран), Россия (7 стран: СНГ и Прибалтика) и Германия (6 стран). Самая большая аудитория оказывается у фильмов французского производства. Похожей на вышеописанные страны является Испания: доля ФНП составляет всего 14%, но испанские фильмы популярны в 15-ти странах. Интересно, что доля зарубежной аудитории в просмотрах испанского и английского кино превышает 50%.

Еще одна группа стран – те, где ФНП занимают не второе (после США), а третье или даже четвертое-пятое место, то есть страны, отличающиеся высоким разнообразием структуры кинопроката. Здесь доля фильмов первой страны-поставщика в структуре просмотров меньше 70%, число популярных стран-производителей не меньше пяти, ФНП занимают третье и выше место в кинопрокате. Например, в Малайзии доля местного кино составляет 13%, американского – 35%, китайского – 13,5%, индийского – 3,5%, а также популярными оказываются индонезийские фильмы.

Типы стран по уровню развития киноиндустрии. После рассмотрения и анализа географических различий развития киноиндустрии по пяти основным показателям (количеству произведенных в стране фильмов, кассовым сборам, посещениям на душу населения, структуре кинопроката, степени популярности ФНП в кинопрокате за границей) выделим типы стран по уровню развития киноиндустрии.

В первую очередь, выделяются основные типы стран: высокого, среднего и слабого уровня развития киноиндустрии. Внутри этих типов выделяются подтипы. Каждый подтип, в свою очередь, включает основную группу стран подтипа, определяющие его основные, «ядерные» признаки, а также переходную (пограничную) группу стран, которые несут ключевые особенности стран подтипа, но по некоторым второстепенным параметрам отличаются от «ядра» (своего рода периферия подтипа). Таким образом, при разработке данной типологии была использована методика «плавающего признака», предложенная географом Л.В. Смирнягиным для процесса районирования, – в данном случае «плавающий признак» применяется при выделении ядра и периферии каждого подтипа [Смирнягин, 2011].

Первый тип. Страны высокого развития киноиндустрии. Отличаются самыми высокими абсолютными и относительными значениями рассмотренных показателей. Главные черты этих стран: первое место в кинопрокате занимают ФНП, или страны являются популярными поставщиками кино

на мировом рынке, или в стране созданы особые условия для кинопроизводителей.

К *подтипу 1.1* высокоразвитых стран относятся США. По сравнению с остальными странами мира США по характеру развития киноиндустрии находятся как бы «в отрыве»: уже на другой стадии, на порядок опережая остальные страны.

В *подтип 1.2* входят Индия, Япония и РК. Среди стран первого типа они выделяются высоким национальным своеобразием. В структуре кинопроката ФНП составляют более половины всех просмотренных фильмов. Китай относится к переходному подтипу, так как показатель посещений на душу населения там составляет 0,9, что ниже, чем в других трех странах. Из-за колоссальных темпов роста местной индустрии кино, скорее всего, в ближайшие пять лет его показатели будут соответствовать всем характеристикам подтипа.

Подтип 1.3: Великобритания, Франция, Германия и Испания. В этих странах, помимо высоких значений всех показателей, ФНП занимают видное место в кинопрокате, но, главное, для них характерна высокая популярность ФНП во многих иностранных государствах.

Главной особенностью *подтипа 1.4* (например, Сингапур, Исландия; остальные страны, рис. 2) являются очень высокие показатели посещений на душу населения и кассовых сборов на душу населения. Для этих стран характерно эффективное участие государства в развитии отрасли: реклама

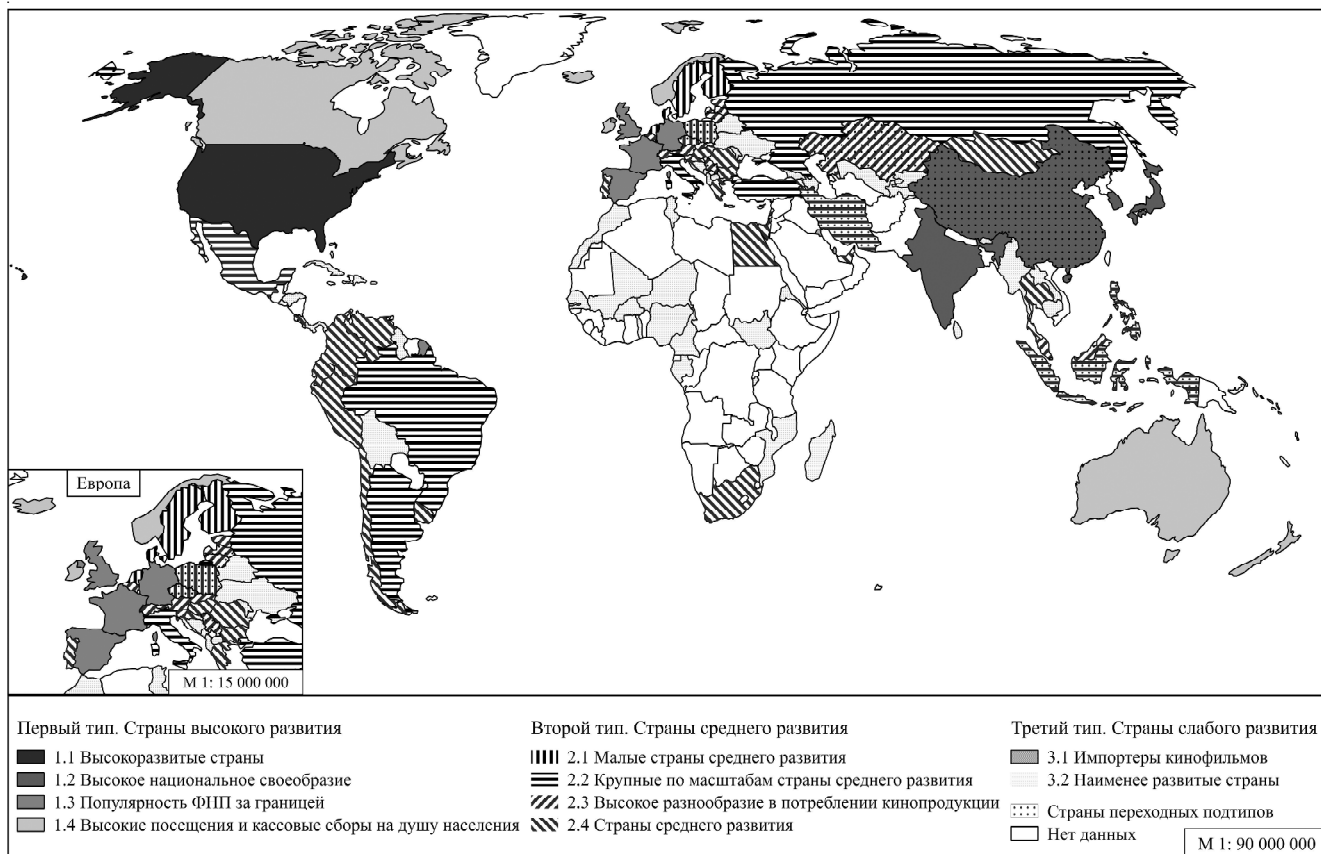


Рис. 2. Типы стран по уровню развития киноиндустрии

Fig. 2. Types of the countries according film industry development

местных ландшафтов и инфраструктуры для съемок фильмов нацелена на привлечение иностранных инвесторов (и удержания местных) путем создания программ облегченного налогообложения и грантовой поддержки. Результатом является появление новых рабочих мест (условие поддержки – задействованность в работе местных специалистов), доход от проведения съемок и известность, которую получают ландшафты и достопримечательности страны, что стимулирует приток туристов.

Второй тип. Страны среднего уровня развития киноиндустрии отличает наличие ряда ограничительных факторов, из-за чего показатели оказываются ниже, чем у стран первого типа, – как правило, это невысокий уровень социально-экономического развития или более скромные масштабы страны в целом.

Малые среднеразвитые страны *подтипа 2.1* (например, Дания, Швеция) выделяются отсутствием ярких особенностей в области структуры кинопроката (70–75% в просмотрах занимают фильмы США, около 20–25% – ФНП, остальные 5–10%, как правило, – это английские, французские, испанские или немецкие фильмы). В них производится примерно одинаковое количество фильмов в год, наблюдается схожий уровень доходов от киноиндустрии и достаточно высокий уровень посещений на душу населения (более низкие значения последнего показателя выделяют Чехию и Польшу в число переходных стран данного подтипа).

Крупные по масштабам среднеразвитые страны *подтипа 2.2* (например, Мексика, Турция, Россия) отличает от малых среднеразвитых более высокий уровень кассовых сборов при более низкой доле посещений на душу населения, большее число ФНП, которые при этом не играют ключевой роли ни внутри страны, ни за ее пределами. Эти страны отличают также темпы развития отрасли: например, в Мексике в 2011–2015 гг. посещения выросли на 86 млн. В странах, попадающих в переходную группу данного подтипа (например, на Филиппинах), производят много фильмов (везде около 80 в год), на которые почти никто не ходит (невысокий уровень кассовых сборов и очень низкая доля посещений на душу населения). Автор полагает, что здесь, при сохранении существующего производства фильмов и улучшении благосостояния жителей, киноиндустрия получит развитие.

Отличительной чертой стран *подтипа 2.3* является высокое разнообразие в потреблении кинопродукции: не более 70% в структуре кинопроката приходится на одну страну-поставщика, а ФНП занимают не второе (как в большинстве стран мира), а третье или даже четвертое-пятое место в кинопрокате. В части стран это связано с существованием разных лингвистических групп (например, там действует несколько государственных языков: Швейцария, Бельгия). Типичен высокий уровень посещений на душу населения. Страны переходной группы подтипа (Сербия, Литва) отстают от названных стран по кассовым сборам, посещениям и количе-

ству произведенных фильмов, но схожи по внутренней структуре кинопроката.

Подтип 2.4 характеризуется средними показателями развития киноиндустрии (Эквадор, Греция), тенденции к их наращиванию не обнаружены.

Третий тип. Страны слабого развития киноиндустрии. Сюда мы отнесли страны, где отсутствует производство кинофильмов, но посещения на душу населения составляют около 1 (*подтип 3.1*) и наименее развитые страны (*подтип 3.2*) из тех, что попали в рассмотрение (их отличие – очень низкая доля посещений на душу населения, около 0,01).

Выводы:

– на основе анализа данных Института статистики ЮНЕСКО были выбраны наиболее показательные индикаторы характера развития киноиндустрии в странах мира: кассовые сборы, производство фильмов, посещения кинотеатров на душу населения, структура местного кинопроката, популярность фильмов национального производства (ФНП) за границей. Указанные показатели не только характеризуют саму отрасль, но и иллюстрируют социально-культурные особенности развития страны, связанные с киноиндустрией – например, пользуются ли фильмы (а значит, и образы, ценности) данной страны популярностью за границей. На основе указанных пяти индикаторов впервые была составлена типология стран мира по характеру развития киноиндустрии;

– разработанная типология иллюстрирует существенные различия в уровне и характере развития сферы киноиндустрии по странам мира. В одних странах отрасль приносит значительный доход. В них фильмы часто являются экспортируемой продукцией, которая занимает на рынках зарубежных стран лидирующие позиции. Самый яркий пример такой «киноэкспансии» – США: из стран, по которым есть данные, нет ни одной (за исключением Ирана), где американские фильмы не фигурируют в структуре кинопроката. Есть страны, где при наличии высокого уровня производства и потребления отрасль «смотрит» внутрь страны или ограничивается в основном региональными рынками: Республика Корея, Япония. Выделяется ряд стран, где на государственном уровне киноиндустрия получает специальную поддержку в виде создания особых условий для инвесторов в области кино. Данные меры нацелены, в конечном счете, на рост туристической популярности страны – то есть киноиндустрия используется для продвижения страны как объекта туризма. Так происходит, например, в Исландии, Сингапуре, Ирландии и Новой Зеландии. Здесь посещения кинотеатров и доход от кинопроката на душу населения максимальны;

– предложена типология стран по уровню развития киноиндустрии, включающая 3 основных типа стран: высокого, среднего и слабого уровня развития. Киноиндустрия характеризуется высокой степенью концентрации рынков производства и потребления продукции в мире в странах высокого и среднего развития отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Лоскутова Н.Г. Кино Ирана: ведущие тенденции 1950-х – 2000-х годов. Автореф. дис. ... канд. искусствоведения. 2006. 151 с.
- Смирнягин Л.В. Методические подходы к районированию в общественной географии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 6.
- Annual report from April 2015 to March 2016. Central Board of film certification. Ministry of Information & Broadcasting. Government of India, 2016. 62 p. URL: https://www.cbfcindia.gov.in/main/CBFC_English/Attachments/AR%202015-2016%20English.pdf (Accessed: 05.05.2016).
- Arjona J.B., Illera R.M., Sanz C.C. Las industrias culturales y creativas. Un sector clave de la nueva economía. Madrid: Fundaciyn IDEAS, 2012. 24 p.
- Corsi L. Le cinéma fait sa Havane. Étude des représentations spatiales diffusées par le cinéma des rues cubain et de leurs conséquences sociales // Annales de géographie. 2014. V. 1. № 695–696. P. 822–843.
- Cultural Indicators for New Zealand. Ministry for Culture and Heritage. Wellington, 2009. 93 p. URL: http://www.acpcultures.eu/_upload/ocr_document/NEWZEALANDCultMin_CulturalIndicators%20NewZeland%20Report_2009.pdf (Accessed: 15.11.15).
- Datt R., Sundharam K. Indian Economy. New Delhi: S. Chand Group, 2009. 976 p.
- Ferrari E., Chong A., Duryea S. Soap Operas and Fertility: Evidence from Brazil // American Economic J. Applied Economics, October 2012. V. 4. № 4. P. 1–31.
- Florida R. The rise of the creative class. New York, Basic Books, 2002. 416 p.
- GDP based on purchasing-power-parity (PPP) per capita. International Monetary fond. URL: <http://www.imf.org> (Accessed: 14.04.2016).
- Global entertainment and media outlook 2015–2019. Pricewaterhouse Coopers. URL: <http://www.pwc.com/gx/en/global-entertainment-media-outlook/> (Accessed: 20.11.2015).
- Howkins J. The Creative Economy: How People Make Money from Ideas. London: The Penguin Press, 2001. 304 p.
- International standard industrial classification of all economic activities. Revision 4. Department of Economic and Social Affairs. Statistics division. New York, United Nations, 2008. 291 p. URL: http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_4rev4e.pdf (Accessed: 20.08.2015).
- Jensen R., Oster E. The power of TV: cable television and women's status in India // Quarterly J. Economics. 2009. V. 124. № 3. 41 p. URL: <http://faculty.chicagobooth.edu/emily.oster/papers/tvwomen.pdf> (Accessed: 12.08.2015).
- Karlsson R. Cinema's nine lives: Fall and revival of the theatrical film market in Iceland 1965–2000. European Audiovisual Observatory, Strasbourg, 2002. 40 p.
- Pleven B. Urbanités du spectacle, urbanités en spectacle. Paris, Je t'aime et New York, I love you: voyages impossibles en métropoles cinématographiques? // Annales de géographie. 2014. V. 1. № 695–696. P. 763–783.
- Poshek F., Desser D. The Cinema of Hong Kong: History, Arts, Identity. Cambridge, Cambridge University Press, July 2000. 39 p. URL: <http://catdir.loc.gov/catdir/samples/cam032/99045702.pdf> (Accessed: 20.11.2015).
- Statistics of Iceland. Population. Urban nuclei. 2015. URL: <http://px.hagstofa.is/pxen/pxweb/en/Ibuar/?rxid=3fd8098e-67d7-43e3-86cf-9d6be9c5dc1> (Accessed: 26.07.2016).
- The Challenge of Assessing the Creative Economy: towards Informed Policy-making. Geneva-New York. UNDP-UNCTAD, 2008. 333 p.
- The Creative Industries Mapping Document. London, Department for Culture, Media & Sport (DCMS), 1998. 108 p. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/creative-industries-mapping-documents-1998> (Accessed: 17.11.2015).
- The economic contribution of the film and television sector in Canada. Nordcity report. July 2013. 104 p.
- Theatrical market statistics. Motion picture association of America, Inc., 2015. 28 p. URL: https://www.mpa.org/wp-content/uploads/2016/04/MPAA-Theatrical-Market-Statistics-2015_Final.pdf (Accessed: 20.11.2016).
- Trouillard E. Géographie animée: l'expérience de l'ailleurs dans l'œuvre de Hayao Miyazaki // Annales de géographie 2014. V. 1. № 695–696. P. 626–645.
- UNESCO Institute for statistics, Questionnaire on Feature Films Statistics, 2016. URL: <http://data.uis.unesco.org> (Accessed: 16.03.2016).
- World Urbanisation Prospects: The 2014 Revision. United Nations, New York, 2015. 493 p. URL: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf> (Accessed: 26.07.2015).
- Zhang W.-B. Hong Kong: The Pearl Made of British Mastery And Chinese Docile-Diligence. New York, Nova Publishers, 2006. 109 p.

Поступила в редакцию 10.12.2016
Принята к публикации 13.09.2017

E.D. Belova¹

GEOGRAPHICAL DIFFERENCES IN THE DEVELOPMENT OF NATIONAL FILM INDUSTRIES

Film industry was analyzed as a creative industry in terms of the geographical aspects of its development. The film industry influences the socio-economic development of countries through direct, indirect (multiplicational) and latent (people's behavior) effects. Five indicators were used to classify each country by the level of film industry development, namely the total number of national feature films produced, the box office revenue, per capita attendance frequency, the national cinema market structure and the representation of national films abroad. Three types of countries were identified according to the classification: with high, medium and slow development of film industry. The types are divided into several subtypes basing on specific features of film industry development. The analysis includes the dynamics of parameters under study.

Key words: film industry, audiovisual sector, geography of creative industries, creative economy, creative class.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Social and Economic Geography of Foreign Countries, post-graduate student; e-mail: belovaekaterinad@gmail.com

REFERENCES

- Annual report from April 2015 to March 2016. Central Board of film certification. Ministry of Information & Broadcasting. Government of India, 2016. 62 p. URL: https://www.cbfcindia.gov.in/main/CBFC_English/Attachments/AR%202015-2016%20English.pdf (Accessed: 05.05.2016).
- Arjona J.B., Illera R.M., Sanz C.C. Las industrias culturales y creativas. Un sector clave de la nueva economía. Madrid: Fundacion IDEAS, 2012. 24 p.
- Corsi L. Le cinéma fait sa Havane. Étude des représentations spatiales diffusées par le cinéma des rues cubain et de leurs conséquences sociales // *Annales de géographie*. 2014. V. 1. № 695–696. P. 822–843.
- Cultural Indicators for New Zealand. Ministry for Culture and Heritage. Wellington, 2009. 93 p. URL: http://www.acpcultures.eu/_upload/ocr_document/NEWZEALANDCultMin_CulturalIndicators%20NewZeland%20Report_2009.pdf (Accessed: 15.11.15).
- Datt R., Sundharam K. Indian Economy. New Delhi: S. Chand Group, 2009. 976 p.
- Ferrari E., Chong A., Duryea S. Soap Operas and Fertility: Evidence from Brazil // *American Economic J. Applied Economics*, October 2012. V. 4. № 4. P. 1–31.
- Florida R. The rise of the creative class. New York, Basic Books, 2002. 416 p.
- GDP based on purchasing-power-parity (PPP) per capita. International Monetary fund. URL: <http://www.imf.org> (Accessed: 14.04.2016).
- Global entertainment and media outlook 2015–2019. PricewaterhouseCoopers. URL: <http://www.pwc.com/gx/en/global-entertainment-media-outlook/> (Accessed: 20.11.2015).
- Howkins J. The Creative Economy: How People Make Money from Ideas. London: The Penguin Press, 2001. 304 p.
- International standard industrial classification of all economic activities. Revision 4. Department of Economic and Social Affairs. Statistics division. New York, United Nations, 2008. 291 p. URL: http://unstats.un.org/unsd/publication/seriesM/seriesm_4rev4e.pdf (Accessed: 20.08.2015).
- Jensen R., Oster E. The power of TV: cable television and women's status in India // *Quarterly J. Economics*. 2009. V. 124. № 3. 41 p. URL: <http://faculty.chicagobooth.edu/emily.oster/papers/tvwomen.pdf> (Accessed: 12.08.2015).
- Karlsson R. Cinema's nine lives: Fall and revival of the theatrical film market in Iceland 1965–2000. European Audiovisual Observatory, Strasbourg, 2002. 40 p.
- Loskutova N.G. Kino Irana: veduschie tendencii 1950-h – 2000-h godov [Cinema of Iran: the leading tendencies of the 1950-s – 2000-s]. Avtoref. dis. ... kand. iskusstvovedeniya (in Russian).
- Pleven B. Urbanites du spectacle, urbanites en spectacle. Paris, Je t'aime et New York, I love you: voyages impossibles en metropoles cinematographiques? // *Annales de géographie*. 2014. V. 1. № 695–696. P. 763–783.
- Poshek F., Desser D. The Cinema of Hong Kong: History, Arts, Identity. Cambridge, Cambridge University Press, July 2000. 39 p. URL: <http://catdir.loc.gov/catdir/samples/cam032/99045702.pdf> (Accessed: 20.11.2015).
- Smirnyagin L.V. Metodicheskie podhody k rajonirovaniyu v obschestvennoj geografii [Methodical approaches to regionalization in social geography] *Vestnik Mosk. Un-ta. Ser. 5. Geografia*. 2011. № 6 (in Russian).
- Statistics of Iceland. Population. Urban nuclei. 2015. URL: <http://px.hagstofa.is/pxen/pxweb/en/Ibuar/?rxid=3fd8098e-67d7-43e3-86cf-9d6be9c5dc1> (Accessed: 26.07.2016).
- The Challenge of Assessing the Creative Economy: towards Informed Policy-making. Geneva-New York. UNDP-UNCTAD, 2008. 333 p.
- The Creative Industries Mapping Document. London, Department for Culture, Media & Sport (DCMS), 1998. 108 p. URL: <https://www.gov.uk/government/publications/creative-industries-mapping-documents-1998> (Accessed: 17.11.2015).
- The economic contribution of the film and television sector in Canada. Nordcity report. July 2013. 104 p.
- Theatrical market statistics. Motion picture association of America, Inc., 2015. 28 p. URL: https://www.mpa.org/wp-content/uploads/2016/04/MPAA-Theatrical-Market-Statistics-2015_Final.pdf (Accessed: 20.11.2016).
- Trouillard E. Géographie animée: l'expérience de l'ailleurs dans l'œuvre de Hayao Miyazaki // *Annales de géographie*. 2014. V. 1. № 695–696. P. 626–645.
- UNESCO Institute for statistics, Questionnaire on Feature Films Statistics, 2016. URL: <http://data.uis.unesco.org> (Accessed: 16.03.2016).
- World Urbanisation Prospects: The 2014 Revision. United Nations, New York, 2015. 493 p. URL: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf> (Accessed: 26.07.2015).
- Zhang W.-B. Hong Kong: The Pearl Made of British Mastery And Chinese Docile-Diligence. New York, Nova Publishers, 2006. 109 p.

Received 10.12.2016

Accepted 13.09.2017

УДК: 911.3

В.А. Лазаренко¹

КОРПОРАТИВНАЯ СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ КРУПНОГО БИЗНЕСА В РОССИИ

Внимание к феномену «корпоративной социальной ответственности» (КСО) усилилось в конце XX века, когда влияние компаний на социальную сферу и экологическую целостность регионов, а не только на акционеров и инвесторов, стало очевидным. Деятельность компаний в регионах присутствия определенно влияет на уровень и качество жизни населения, остается лишь открытым вопрос о мере этого влияния. Дан анализ участия бизнеса в социальной политике территорий присутствия. На примере ряда крупнейших компаний России проводится анализ отдельных компонентов корпоративной социальной ответственности бизнеса: социальной активности в регионах присутствия, взаимодействия с заинтересованными сторонами и деятельности по сохранению окружающей среды. Выделено 6 типов монопрофильных поселений в зависимости от их социально-экономического положения и социальной деятельности градообразующих предприятий.

Ключевые слова: территория присутствия, моногорода, ответственность бизнеса, заинтересованные стороны, градообразующие предприятия.

Введение. В данной работе мы придерживаемся следующего определения КСО бизнеса: «корпоративная социальная ответственность – это обязательство бизнеса осуществлять добровольный вклад в развитие общества, включая социальную, экономическую и экологическую сферы, принятое компанией сверх того, что требует закон и экономическая ситуация» [Корпоративная социальная ..., 2008]. Выделяют объект и субъект КСО [Мошкова, 2014]. Объектом КСО является социальная среда предприятия и территории ее присутствия, включая всех ее заинтересованных сторон (стейкхолдеров), к субъектам КСО автор относит все компании различных организационно-правовых форм.

В работе Стивена П. Робинса и Мэри Коултер [Робинс, Коултер, 2004] рассмотрено 3 основных подхода к понятию концепции КСО и отношению бизнеса к социально ответственной деятельности. Эти подходы упоминаются также исследователями КСО российских предприятий [Чирикова, 2005; Корпоративная социальная ..., 2008].

Первый, наиболее традиционный, классический подход к определению социальной ответственности бизнеса обозначают как концепцию «*корпоративного эгоизма*». Впервые эта концепция была сформулирована Милтоном Фридманом (Milton Friedman). Фридман пишет, что «единственная ответственность бизнеса, это увеличение прибыли своих акционеров» [Friedman, 1970; Minford, 1999]. Автор подчеркивает, что есть функция государства – заботиться о населении, и есть функция предприятия – заботиться об акционерах. Если бизнес не нарушает закон и права человека и исправно платит налоги, то неправильно «навязывать» бизнесу еще и социальную ответственность.

Второй подход называют концепцией «*корпоративного альтруизма*». Она является противо-

положной классическому подходу. Исходя из этой концепции, предприниматели должны вносить максимальный вклад в развитие общества, улучшать качество жизни местных сообществ и сохранять окружающую среду [Туркин, 2004]. Согласно такому взгляду на деятельность бизнеса, компании являются открытыми системами и влияют на большое количество заинтересованных сторон (ЗС).

Третий подход – концепция «*разумного эгоизма*» (enlightened self-interest). Согласно ей, социальная ответственность приносит компании прибыль в долгосрочной перспективе, создает репутацию благополучной компании (хорошо влияет на так называемый «goodwill» – деловую репутацию) и формирует «эффект публичности». По мнению экспертов, именно такой подход сегодня наиболее близок российским компаниям [Чирикова, 2005].

В монографии Независимого института социальной политики приводится обширный анализ социальной политики российского бизнеса [Чирикова, 2005]. В исследовании перечисляются следующие особенности реализации социальной политики бизнеса в России: отсутствие четкой идеологии социально ответственного предпринимательства; вынужденный характер социальной ответственности бизнеса (давление со стороны федеральных и региональных властей); разнообразие форм социальной деятельности российских компаний; «персонифицированность» социальной активности бизнеса – зависимость социальной ответственности предприятий от взглядов и личных наклонностей руководителей этих предприятий, а также от деятельности руководителей (губернаторов или мэров) территорий присутствия компании; сильное различие понимания социальной ответственности бизнеса между предприятиями и обществом.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, аспирант; e-mail: lasarenko91@mail.ru

В территориальной проекции социальные мероприятия крупного бизнеса в России направлены в первую очередь непосредственно на регионы присутствия, степень активности в регионах снижается по мере удаления предприятия. Н.В. Зубаревич в монографии «Крупный бизнес в регионах России ...» [2005] отмечает, что существуют географические различия реализации социальной политики бизнеса в регионах. Давление на крупный бизнес со стороны федеральных и региональных властей получает позитивную отдачу только в том случае, когда бизнес сам заинтересован в поддержании человеческого капитала и осознает выгоды своей социальной деятельности в регионах присутствия [Мошкова, 2014].

В роли ЗС бизнеса могут выступать как сотрудники, акционеры и руководство (внутренние ЗС), так и бизнес-партнеры компании и общество [Конти, 2003]. Так как стейкхолдеры являются основным объектом КСО компании, то процесс идентификации ЗС и взаимодействия с ними должен лежать в основе социальной деятельности компании. Подробнее о стейкхолдерском анализе можно узнать из работ Б. Кэмерона, Р. Гомес, Ю. Благова, К. Белоусова и др.

Деятельность компаний в сфере социальной ответственности и устойчивого развития не всегда регулируется законодательно (если это не социальные и экологические обязательства компаний). На сегодняшний день есть 2 основных мировых института, определяющих политику компаний в сфере КСО. Первым является Глобальный договор ООН (UN Global Compact) – крупнейшая инициатива ООН в сфере КСО и устойчивого развития. Вторым институтом КСО можно назвать международный стандарт ISO 26 000 «Руководство по социальной ответственности» – основной стандарт того, как предприятия могут проводить социальную политику. Данный стандарт охватывает широкий спектр возможной социальной деятельности компаний, в том числе и взаимодействие с регионами присутствия. Из российских институтов в сфере социальной политики можно назвать Социальную хартию российского бизнеса (СХРБ).

На сегодняшний день основным инструментом взаимодействия со стейкхолдерами (в том числе с регионами присутствия) является публичный отчет компании. В документах института Account Ability отмечается, что подотчетность является главным фактором выстраивания благоприятных отношений с ЗС. Отчет выступает одновременно как экран социальной активности компании и как инструмент взаимодействия с ЗС.

Материалы и методы исследования. Целью данного исследования было оценить политику КСО крупных градообразующих компаний на территориях присутствия и предложить типологию монопрофильных поселений России в зависимости от их социально-экономического положения и влияния на это положение социальной политики градообразующих предприятий.

Была составлена выборка из компаний, которые оказывают сильное влияние на регионы присутствия. Генеральная совокупность представляет собой перечень системообразующих организаций России, составленный Правительственной комиссией по экономическому развитию и интеграции в 2015 г. В данный перечень вошли 199 предприятий [Министерство экономического развития, 2015], оказывающих существенное влияние на формирование ВВП, занятость и социально-экономическое положение регионов присутствия.

Из генеральной совокупности было выбрано 20 компаний – «передовиков» в области КСО. Принцип отбора следующий: выбраны компании, победители или номинанты в конкурсах/рейтингах, связанных с социальной ответственностью и устойчивым развитием. Половина из выбранных компаний относится к частному сектору, вторая половина принадлежит государству (рис.). Причина такой выборки – опробовать методику выявления политики КСО в регионах присутствия по публичным данным компаний. Для этого брались компании, которые раскрывают информацию о своей деятельности сверх законодательных требований. Большая часть компаний являются градообразующими для целого ряда городов России, их социально-экономическая деятельность во многом определяет состояние человеческого капитала ряда регионов.

Политика в сфере КСО в регионах присутствия выбранных компаний проверялась в официальных годовых отчетах и сайтах компаний. Исходя из концепции «разумного эгоизма», предполагалось, что социальная деятельность компании является одним из важнейших пиар-ходов, а основным «экраном» и инструментом рекламы деятельности компании является отчет и сайт. Международные требования к отчетности предлагают раскрывать компаниям информацию о деятельности в регионах присутствия, политику взаимоотношений со стейкхолдерами и экологическое и социальное влияние на регионы присутствия (см. стандарты Global Reporting Initiative). Кроме того, на сегодняшний день, отчет является одним из основных инструментов взаимодействия с ЗС.

Матрица показателей, по которой проверялись компании, включала в себя 3 критерия: уровень социальной ответственности компании в регионах присутствия; качество взаимодействия с заинтересованными сторонами; раскрытие информации об экологическом влиянии на регионы и деятельность по защите окружающей среды.

Оценка критериев осуществлялась на основе балльной системы. Такая система является одной из немногих систем оценки качественной информации. Чем сильнее подчеркивается важность того или иного показателя в документах, тем больший балл можно по нему получить.

В рамках первого критерия рассматривалось, в какой мере компания взаимодействует с регионами присутствия, руководствуется ли она основными принципами социальной ответственности. Критерий

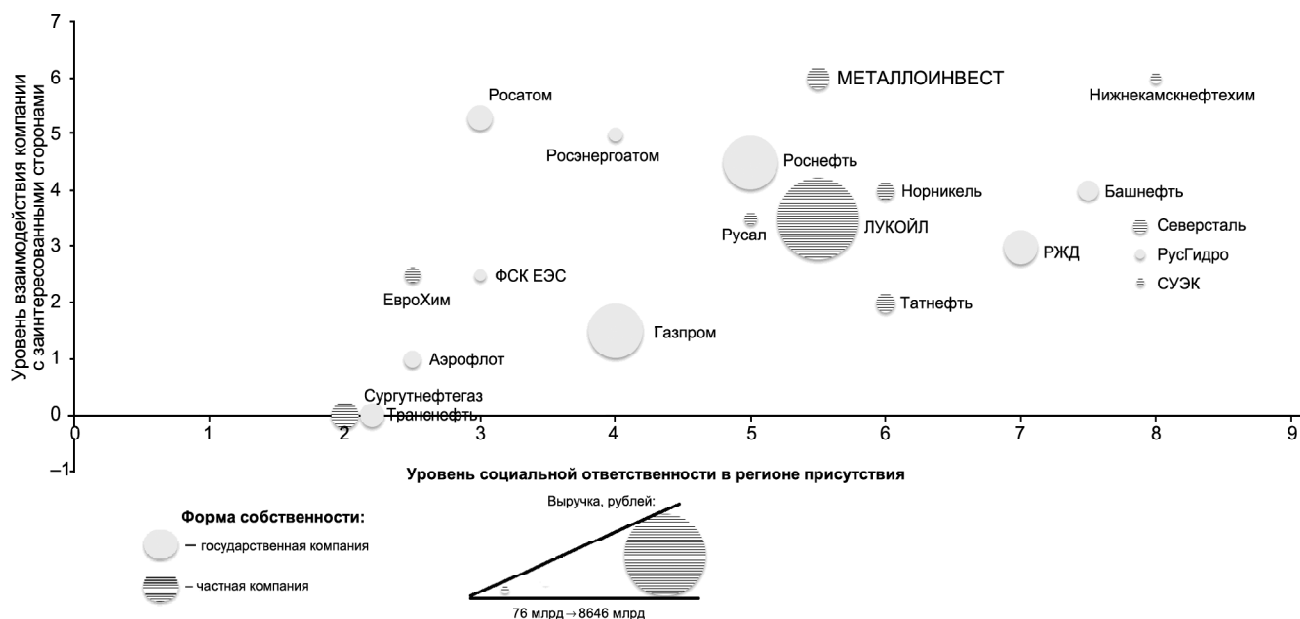


Рис. Зависимость политики корпоративной социальной ответственности компаний от объема выручки

Fig. Correlation of the policy of corporate social responsibility of companies with their revenues

состоит из шести показателей: разовых эпизодических благотворительных программ (максимально 1 балл); периодических благотворительных программ (2 балла); комплексной системы взаимодействия с регионами (наличия собственной политики, специальных программ, соглашений о сотрудничестве, регулярных проектов и конкурсов и т. д. – 3 балла); руководства стандартом ISO 26 000 (2 балла); руководства принципами Глобального договора ООН (1 балл); руководства принципами СХРБ (1 балл).

Второй критерий включает в себя информацию о взаимодействии компании со стейкхолдерами, в частности с регионами присутствия. В критерий вошло 7 показателей: наличие списка ЗС (0,5 балла), принципов выделения ЗС (0,5 балла), документов, регламентирующих взаимоотношения с ЗС (1 балл), комиссии ЗС (1 балл), механизмов взаимодействия с ЗС (1 балл), механизмов сбора мнений ЗС о деятельности компании с реакцией компании на мнения (1 балл), стратегии взаимодействия с ЗС (2 балла).

Третий критерий был составлен для расчета того, как компания раскрывает свое влияние на окружающую среду региона присутствия, а также, какие мероприятия проводит для минимизации своего воздействия на экологический баланс территории. В критерий вошло 8 показателей: раскрытие информации по выбросам (0,5 балла), сбросам (0,5 балла), отходам (0,5 балла), использованию воды (0,5 балла) и энергии (0,5 балла), о влиянии на биоразнообразие, а также о наличии инициатив и программ по смягчению воздействия производства на окружающую среду (2 балла) и наличие экологически чистых технологий (2 балла).

По каждому из первых трех критериев компания по качественным показателям могла набрать по 7 баллов. Кроме того, для первого критерия до-

полнительно вычислялась доля затрат на социальную политику в регионах от выручки компании. Процент от выручки прибавлялся к общей сумме баллов компании. Аналогично высчитывался процент затрат на экологическую политику, данная цифра также прибавлялась к общей сумме баллов.

В качестве дополнительного критерия вводился критерий «заверения отчетной информации», который служил коэффициентом; на него умножалась сумма первых трех критериев. Чем значимее заверение, тем больше коэффициент. Вся упомянутая выше информация может раскрываться компанией, но заверение или аудит отчетной информации подтверждает правдивость раскрываемой информации. Компания может заверять информацию сама – внутренний контроль и аудит (коэффициент 1,1, так как правдивость такого заверения не очень высока по сравнению с остальными видами аудита), а может приглашать сторонних независимых аудиторов и экспертов. Аудитором подтверждается достоверность представленной информации (коэффициент 1,2), эксперты заверяют информацию по очень широкому кругу источников о компании (коэффициент 1,3). Кроме того, есть заверение информации стейкхолдерами компании, уровень доверия к такому заверению очень высок, так как привлекаемый круг стейкхолдеров очень широк (от экологов до местных жителей), а сами они обычно обладают разнообразной информацией о деятельности компании (коэффициент 1,4).

Результаты исследования. *Общий рейтинг деятельности компаний в сфере КСО.* Результаты показывают, что в целом, компании лучше всего раскрывают информацию и ведут свою деятельность в экологической сфере, менее качественно – в сфере социальной политики и еще меньше – в сфере взаимодействия с ЗС. Больше половины иссле-

дуемых компаний (12 из 20) проводят политику в сфере КСО на высоком уровне, соблюдая мировые стандарты и применяя опыт зарубежных практик в сфере социальной политики. Следует отметить, что в пятерку лучших компаний в сфере КСО вошло 3 частных и 2 государственных компании. Это свидетельство того, что социальная деятельность является обязанностью не только государства, но и частного бизнеса (часто законодательно не оформленная). В сумме государственные компании набрали 186 баллов, что на 25 баллов меньше, чем у частных компаний (211 баллов). То есть, вероятно, в России требования к социальной и экологической активности частного бизнеса выше, чем к деятельности государственных компаний в этой сфере.

Не было найдено корреляции между развитой политикой КСО и объемом выручки компании (рис.), то есть не обязательно самые крупные компании по объему выручки проводят грамотную политику в сфере КСО.

Типы монопрофильных поселений в зависимости от социальной деятельности градообразующих предприятий. На основе исследования политики КСО предприятий составлена типология монопрофильных поселений (моногородов) России. Каждая из выбранных компаний является градообразующей для одного или ряда моногородов России (официальных и по оценке экспертов).

Официально в России в середине 2016 г. насчитывается 319 монопрофильных муниципальных образований [Постановление ..., 2014–2016]. По мнению экспертов, методика рабочей группы составления данного списка моногородов нуждается в доработке (подробный разбор методики см. в работе Микрюкова [2016, с. 14–16]. Кроме того, в списке отсутствуют нефтегазовые города и почти все города-спутники АЭС. Однако в связи с ежегодной актуализацией списка, а также наличием обоснованной типологии городов внутри списка, представляется возможным взять за основу указанный выше список моногородов. Типология официального списка моногородов следующая: после оценки по пяти критериям все моногорода делятся по факторам риска социально-экономической ситуации в них на 3

основных типа – моногорода с наиболее сложным социально-экономическим положением (так называемая «красная» зона), моногорода, в которых имеются риски ухудшения социально-экономического положения («желтая» зона) и моногорода со стабильной социально-экономической ситуацией («зеленая» зона). Критерии разделения городов на 3 зоны следующие: находится ли в состоянии банкротства или близкому к нему градообразующее предприятие; какое количество планирующихся высвободить занятых на градообразующем предприятии (% от всех занятых на предприятии); оценка отраслевого рынка специализации градообразующего предприятия; уровень зарегистрированной безработицы; оценка населением социально-экономического развития города (согласно массовым опросам).

Три представленных типа моногородов по характеру социально-экономической ситуации мы предлагаем разделить на две части в зависимости от уровня социальной ответственности их градообразующих предприятий. Данный подход позволит оценить уровень поддержки предприятиями монопрофильных городов в зависимости от их состояния. По этому принципу выделены 6 типов монопрофильных муниципальных образований (табл.).

1. Моногорода со стабильной социально-экономической ситуацией при высоком уровне КСО градообразующих предприятий. В данном типе градообразующее предприятие города не находится в состоянии банкротства, уровень зарегистрированной безработицы не превышает средний уровень по стране, а компания, в которую входит предприятие, выстраивает комплексную систему КСО по отношению к регионам присутствия. То есть, несмотря на зависимость от градообразующего предприятия, социальные показатели городов находятся на средних или выше средних уровнях, во многом благодаря деятельности градообразующего предприятия.

Примером моногородов данного типа является г. Норильск. Уровень зарегистрированной безработицы на конец 2015 г. составил 0,8% (в среднем по России – 1,28%). Согласно оценке населения, социально-экономическая ситуация в городе является благополучной. Градообразующим предприятием является Заполярный филиал ПАО «ГМК «Норильс-

Типы монопрофильных поселений в зависимости от социальной деятельности градообразующих предприятий

Социально-экономическое положение моногородов	Уровень корпоративной социальной ответственности градообразующих предприятий	
	низкий	высокий
Наиболее сложное	Ковдор	Киселевск, Краснотурьинск, Надвоицы, Новотроицк, Североуральск, Чегдомын, Череповец
Имеются риски ухудшения положения	Невинномысск	Воркута, Гусиноозерск, Железногорск, Заволжье, Заполярный, Зеленогорск, Каменск-Уральский, Костомукша, Кулебаки, Ленинск-Кузнецкий, Мончегорск, Озерск, Оленегорск, Петухово, Саяногорск, Тында, Усть-Илимск, Черногорск
Стабильная ситуация	–	Белогорск, Губкин, Заречный, Нижнекамск, Новокузнецк, Норильск, Северооонежск, Северск, Снежинск, Трехгорный, Удомля, Шелехов

кий никель». Предприятие активно развивается, несмотря на непростые условия макроэкономической нестабильности, показывает высокую рентабельность и дивидендную доходность. Компания вносит значительный вклад в социальное развитие города, реализует на территории города комплекс социальных и экологических программ и мероприятий, которые разрабатываются с учетом мнений ЗС и всестороннего анализа ситуации и потенциальных эффектов.

2. *Моногорода, в которых имеются риски ухудшения социально-экономического положения при высоком уровне КСО градообразующих предприятий.* К таким муниципальным образованиям относятся те, у которых из перечисленных выше критериев один или более указывает на критическую ситуацию (например, уровень зарегистрированной безработицы выше среднего по стране), но во многом благодаря политике КСО компании, поселение не переходит в сложное состояние (в «красную» зону).

К таким городам можно отнести новый промышленный город Мурманской области – Оленегорск. Градообразующим предприятием города является Оленегорский ГОК (АО «Олкон»), подконтрольный ПАО «Северсталь». Уровень зарегистрированной безработицы в городе выше среднего по стране (1,4 и 1,28% в 2015 г. соответственно), население оценивает социально-экономическую ситуацию поселения как «неблагополучную». Однако ПАО «Северсталь» проводит активную политику комплексного социального развития города, тратит большие финансовые и управленческие ресурсы на социальные и благотворительные цели и ежегодно повышает уровень взаимодействия с местными властями и жителями города.

3. *Моногорода с наиболее сложным социально-экономическим положением при высоком уровне КСО градообразующих предприятий.* Поселения, в которых зафиксировано сложное положение, но предприятие активно участвует в «реанимации» города, проводит комплексную социально-экономическую политику при тесном взаимодействии с местными властями. Предполагается, что монопоселения такого типа могут в среднесрочной перспективе перейти в следующую, «желтую» зону моногородов.

Примером таких монопоселений является рабочий поселок Чегдомын Хабаровского края. Градообразующее предприятие поселка – шахты треста «Ургалуголь», в настоящее время принадлежащие компании АО «Сибирская Угольная Энергетическая Компания» (АО «СУЭК»). Основными проблемами поселка являются нестабильное положение градообразующего предприятия и интенсивная эмиграция населения, прежде всего молодежи. При активных действиях местных властей предпринимаются попытки модернизации поселка, в 2012 г. был разработан инвестиционный проект «Индустриально-технологический парк Чегдомын». В 2013 г. при взаимных действиях АО «СУЭК» и местных властей начат проект «Чегдомын 2.0. Перегрузка». В рамках проекта проведены экспертные

поездки для подготовки градостроительной концепции развития поселка; проводятся регулярные общественные обсуждения проектов. Компанией финансово поддерживаются социально значимые инициативы поселка, проводятся программы профессиональной переподготовки, разрабатываются комплексные инвестиционные планы развития, направляются дополнительные инвестиции.

4. *Моногорода со стабильной социально-экономической ситуацией при низком уровне КСО градообразующих предприятий.* К такому типу моногородов относятся те, в которых градообразующее предприятие города не находится в состоянии банкротства, уровень зарегистрированной безработицы не превышает средний уровень по стране, но компании, ответственные за эти города, «социально пассивны»: могут проводить различные благотворительные мероприятия, но не имеют в своей основе системного комплексного подхода, не развивают систему взаимодействия с ЗС, отчисляют сотые доли процентов от выручки на социальные мероприятия. Среди моногородов компаний нашей выборки городов такого типа не обнаружено. Можно предположить, что такая социальная политика приводит к тому, что города типа 5 и 6 не переходят в группу типа 4. Для обоснованного подтверждения данной гипотезы стоит распределить весь массив моногородов по типам, предварительно исследуя все градообразующие предприятия по предложенной методике.

5. *Моногорода, в которых имеются риски ухудшения социально-экономического положения при низком уровне КСО градообразующих предприятий.* Города и поселки данного типа входят в «желтую» зону социально-экономической ситуации – среднюю по степени выраженности кризисных явлений. Однако социальная политика градообразующих предприятий этих городов не стимулирует их социальное развитие и переход в более благополучную зону.

Городом данного типа является Невинномысск, градообразующее предприятие которого (АО «Невинномысский Азот») входит в группу компаний «ЕвроХим». Уровень официально зарегистрированной безработицы в городе ниже средней по стране и средней по региону (1,0% в городе, 1,1% в стране и 1,28% в регионе на конец 2015 г. соответственно). Город является промышленным центром Ставропольского края, с высокой для региона заработной платой. В городе кроме производства удобрений функционирует крупная Невинномысская ГРЭС, станция федерального значения. Однако по оценкам населения города социально-экономическая ситуация города оценивается как «неблагополучная», численность населения с 1999 г. стабильно уменьшается (за исключением 2012 и 2015–2016 гг.) в основном за счет миграционной убыли (в основном в другие регионы РФ).

Из широкого набора действий социальной политики группа компаний «ЕвроХим» в городе проводит только благотворительные мероприятия (постройка ледового дворца) без системного взаимодействия

(долгосрочных договоренностей с местной администрацией), со слабым взаимодействием с заинтересованными сторонами (ежегодные встречи и собрания, без выстраивания стратегии взаимодействия).

6. Моногорода с наиболее сложным социально-экономическим положением при низком уровне КСО градообразующих предприятий. К данному типу относятся монопрофильные поселения со сложным социально-экономическим положением (высоким уровнем безработицы, нестабильной ситуацией на градообразующем предприятии и т. д.). Моногорода этого типа наиболее проблемные, так как при сложной ситуации в городе нет активной поддержки со стороны компаний.

Примером такого города является г. Ковдор Мурманской области, градообразующее предприятие которого относится к уже упомянутой группе компаний «ЕвроХим» (Ковдорский ГОК). В городе наблюдается очень высокий уровень безработицы – 3,9% в 2015 г., один из самых высоких в регионе (1,6% в среднем по региону и 1,28% по стране в 2015 г.). При этом численность населения с 1989 г. стабильно уменьшается. Социальная политика Группы компаний слабая и несистемная: из мероприятий социальной сферы Группа за последние годы построила горнолыжный комплекс в пределах города и поддерживает его на постоянной основе. Нет информации, какие меры предпринимает Группа по привлечению трудовых ресурсов в город, есть ли долгосрочное системное взаимодействие с местными властями и как построена программа социального развития города присутствия.

Выводы:

– среди топ-менеджмента крупных компаний России пока еще не в полной мере сформировано понимание о влиянии деятельности их предприятий на социальное и экономическое развитие регионов присутствия. В исследуемых крупных системообразу-

ющих компаниях широко развита практика различных экологических программ и проведения мероприятий по сохранению окружающей среды. Гораздо меньше компаний комплексно строят политику социальной деятельности в регионах присутствия;

– предприятия частного бизнеса активнее развивают комплексную политику в сфере корпоративной социальной ответственности в регионах ведения своей деятельности, чем государственные компании. Такие результаты косвенно указывают на то, что в России требования к социальной и экологической деятельности частного бизнеса выше, чем к деятельности государственных компаний;

– политика КСО компаний не зависит от объема выручки компании. Возможно, социальная активность компаний базируется на других факторах. Такими факторами могут быть особые взаимоотношения с местными властями, попытки повышения конкурентоспособности компании, практика формирования хорошей репутации, развитие общественной приемлемости;

– социально-экономическое положение монопромышленных поселений зачастую зависит от деятельности градообразующего предприятия, однако политика КСО компаний в отношении этих поселений не всегда направлена на улучшение их положения. В исследуемой выборке предприятий существуют моногорода со сложным социально-экономическим положением, при этом непонятна политика компаний по улучшению их состояния;

– возможно, низкий уровень КСО компаний в отношении монопромышленных поселений не позволяет поселениям улучшить свое социально-экономическое положение и войти в группу моногородов со стабильной социально-экономической ситуацией. Однако чтобы точно проверить данный вывод, нужно распределить весь массив моногородов по предложенным типам, предварительно исследуя все градообразующие предприятия по данной методике.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Данилова О.В. Бизнес и власть: механизмы взаимодействия на территориях присутствия // Изв. Волгоградского технического университета. 2014. № 11(138). С. 6–11.
- Зубаревич Н.В. Крупный бизнес в регионах России: территориальные стратегии развития и социальные интересы. Аналитический доклад. Независимый институт социальной политики. М.: Поматур, 2005.
- Конти Т. Система заинтересованных сторон: стратегическая ценность // Методы менеджмента качества. 2003. № 1. С. 4–13. URL: <http://www.inventech.ru/pdf/quality21/quality003.pdf> (дата обращения: 15.09.2016).
- Корпоративная социальная ответственность: управленческий аспект. Монография / Под общ. ред. И.Ю. Беляевой, М.А. Эскиндарова. М.: КНОРУС, 2008. 504 с.
- Микрюков Н.Ю. Факторы, проблемы и модели развития моногородов России. Дис. ... канд. геогр. н. Моск. гос. ун-т имени М.В. Ломоносова. М., 2016.
- Министерство экономического развития РФ. URL: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depsectoreconom/> 2015020801 (дата обращения: 12.08.2016).
- Мошкова Л.Е. Развитие партнерских отношений бизнеса и власти на территории присутствия: теория и практика. Монография. Тверь: Твер. гос. ун-т, 2014. 220 с.
- Постановление Правительства РФ от 29.06.2014 № 709, с изменениями на 13.05.2016.
- Робинс Стивен П., Коултер М. Менеджмент. М.: Вильямс, 2004. 1056 с.
- Туркин С. Зачем бизнесу социальная ответственность // Управление компанией. 2004. № 7. С. 18–25.
- Чурикова А.Е., Лапина Н.Ю., Шилова Л.С., Шишкин С.В. (отв. ред.) Бизнес как субъект социальной политики: должник, благодетель, партнер? Независимый институт социальной политики. М.: ГУ-ВШЭ, 2005. 232 с.
- Friedman M. The Social Responsibility of Business is to Increase its Profits // The New York Times Magazine. September 13, 1970. URL: <http://www.colorado.edu/studentgroups/libertarians/issues/friedman-soc-resp-business.html> (дата обращения: 15.09.2016).
- Minford P. Markets, not stakes: The triumph of capitalism and the stakeholder fallacy. London: Orion. 1999. P. 65–76.

Поступила в редакцию 09.11.2016
Принята к публикации 13.09.2017

V.A. Lazarenko¹CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY
OF LARGE BUSINESS IN RUSSIA

The attention to the «corporate social responsibility» (CSR) phenomenon increased at the end of the 21st century, when the companies' influence on social and ecological integrity of regions, not just shareholders and investors, became evident. The activity of the companies in the regions of presence definitely impacts the level and quality of life of the population.

Business involvement in social policy of the regions of presence is analyzed. The analysis of particular components of corporate social responsibility involves several largest companies of Russia. The components are social activity in the regions of presence, interaction with stakeholders and the environmental protection activities. Six types of single-industry settlements are identified according to their social-economic situation and the social activities of city-forming enterprises.

Key words: the region of presence, single-enterprise towns, corporate social responsibility, stakeholders, city-forming enterprises.

REFERENCES

- Chirikova A.E., Lapina N.Ju., Shilova L.S., Shishkin S.V.* (otv. red.) *Biznes kak subjekt social'noj politiki: dolzhnik, blagodetel', partner?* [Business as a subject of social policy: debtor, benefactor or partner?]. Nezavisimyj institut social'noj politiki. M.: GU-VShJe, 2005. 232 p. (in Russian).
- Danilova O.V.* *Biznes i vlast': mehanizmy vzaimodejstviya na territoriyah prisutstviya* [Business and government: mechanisms of interaction in the regions of presence] // *Izv. Volgogradskogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014. № 11(138). P. 6–11. (in Russian).
- Friedman M.* The social responsibility of business is to increase its profits // *The New York Times Magazine*. September 13, 1970. URL: <http://www.colorado.edu/studentgroups/libertarians/issues/friedman-soc-resp-business.html> (Accessed: 15.09.2016).
- Konti T.* *Sistema zainteresovannykh storon: strategicheskaya cennost'*. [System of stakeholders: the strategic value] // *Metody menedzhmenta kachestva*. 2003. № 1. P. 4–13. URL: <http://www.inventech.ru/pdf/quality21/quality003.pdf> (Accessed: 15.09.2016) (in Russian).
- Korporativnaya social'naya otvetstvennost': upravlencheskij aspekt [Corporate social responsibility: management aspect]. Monografiya / Pod obsch. red. I.Ju. Belyaevoy, M.A. Eskindarov. M.: KNORUS, 2008. 504 p. (in Russian).
- Mikryukov N.Ju.* *Faktory, problemy i modeli razvitiya monogorodov Rossii* [Factors, problems and development patterns of Russian single-industry towns]. Dis. ... kand. geogr. n. Mosk. gos. un-t im. M.V. Lomonosova, M., 2016.
- Minford P.* *Markets, Not Stakes: The Triumph of Capitalism and the Stakeholder Fallacy*. London: Orion, 1999. P. 65–76.
- Ministerstvo ekonomicheskogo razvitiya RF [The Ministry of Economic Development of the Russian Federation]. URL: <http://economy.gov.ru/minec/about/structure/depsectoreconom/2015020801> (Accessed: 12.08.2016) (in Russian).
- Moshkova L.E.* *Razvitie partnerskikh otnoshenij biznesa i vlasti na territorii prisutstviya: teoriya i praktika* [The development of partnerships of business and government in the territory of presence: theory and practice]. Monografiya. Tver': Tver. gos. un-t, 2014. 220 p. (in Russian).
- Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 29.06. 2014 № 709 s izmeneniyami na 13.06.2016 [RF Government Regulation of 29.06. 2014 № 709 as amended on 13.06.2016] (in Russian).
- Robins Stiven P., Koulter M.* *Menedzhment* [Management]. M.: Vil'jams, 2004. 1056 p. (in Russian).
- Turkin S.* *Zachem biznesu social'naja otvetstvennost'* [Why business social responsibility?] // *Upravlenie kompaniej*. 2004. № 7. P. 18–25 (in Russian).
- Zubarevich N.V.* *Krupnyj biznes v regionah Rossii: territorial'nye strategii razvitiya i social'nye interesy* [Large business in Russia's regions: territorial development strategies and social interests]. Analiticheskij doklad. Nezavisimyj institut social'noj politiki. M.: Pomatur, 2005 (in Russian).

Received 09.11.2016

Accepted 13.09.2017

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, post-graduate student; e-mail: lasarenko91@mail.ru

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 911.2.:550.4

И.А. Авессаломова¹, А.Н. Иванов², А.В. Савенко³**ВОДНАЯ МИГРАЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛАНДШАФТАХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОСТРОВОВ ЦЕНТРАЛЬНЫХ КУРИЛ (НА ПРИМЕРЕ о. МАТУА)**

По данным гидрохимического опробования о. Матуа (Центральные Курилы) установлены основные характеристики атмосферных, подземных и поверхностных вод в контактной полосе вулканических построек и морских террас. Отмечены их различия по величине pH, минерализации, содержанию главных ионов, биогенных элементов (Si, P) и микроэлементов группы железа (Ti, V, Mn, Fe). Для выявления роли литогенного фактора при формировании инфильтрационных вод в качестве индикаторов предложены Ca, Mg, Si, P_{мин}, V и Ti. Показано, что концентрации растворенных форм этих элементов меняются в зависимости от местоположения зон разгрузки подземных источников и снижаются в водах низких морских террас. С использованием коэффициентов водной миграции установлена различная подвижность и контрастность поведения химических элементов и возможность аккумуляции Fe, Mn и P_{орг} в ручьях и озерах при их соседстве с гидроморфными болотными ландшафтами.

Ключевые слова: о. Матуа, вулканические постройки, морские террасы, тефра, химический состав вод, интенсивность водной миграции.

Введение. Несмотря на большой интерес, проявляемый в последние годы к геохимическим процессам, протекающим на вулканических островах и прилегающих к ним акваториях морей, общие закономерности до сих пор во многом не до конца ясны. Это в полной мере относится к водной миграции химических элементов. При ее изучении необходим учет факторов, определяющих формирование и трансформацию водных потоков в зоне гипергенеза. Анализ литературных данных [Торохов, Черткова, 1990; Рычагов с соавт., 2002, 2004; Жарков, Побережная, 2008; Комплексная экспедиция ..., 2009; Чудаев, Чудаева, 2009; Козлов, Жарков, 2010; Котенко, Котенко, 2010; Захарихина, Литвиненко, 2011; Лобкина, Казакова, 2011; Разжигаева с соавт., 2012, 2013; Гребенникова, 2016] показывает, что формирование химического состава вод вулканических островов происходит под действием комплекса факторов, связанных с историей развития и интенсивностью вулканической деятельности, функционированием гидротермальных систем, а также с влиянием атмосферных осадков и океанических вод. Выявлены ассоциации сидерофильных, халькофильных и литофильных микроэлементов, характерные для разных типов вод, и вторичные минералы, образующиеся при их взаимодействии с породами. Важным механизмом аккумуляции химических элементов служат геохимические барьеры в зонах разгрузки грунтовых вод.

При анализе факторов формирования состава поверхностных вод важен учет поступления веществ с аэральными потоками. При таянии снега происходит увеличение кислотности и агрессивности поверхностных вод, сопровождающееся выщелачиванием элементов из вулканических пород. Воды, циркулирующие в пеплах андезитового состава, характеризуются высоким содержанием хлоридов, сульфатов и повышенной кислотностью, что способствует выщелачиванию водорастворимых форм химических элементов из почв [Захарихина, Литвиненко, 2011]. Одним из факторов формирования состава снежного покрова на островах является поступление морских аэрозолей, мигрирующих с воздушными потоками, которое приводит к увеличению концентрации ионов Cl, SO₄, Na, Mg, Ca в снеге вдоль береговой полосы на обращенных к морю наветренных склонах. Наряду с барьерной ролью хребтов возрастанию аккумуляции морских ионов в снеге способствует отсутствие ледового припая [Лобкина, Казакова, 2011].

Гидрохимическое своеобразие островов усиливается при появлении озер, различающихся по генезису и источникам питания. Для мелководных и окаймленных болотными массивами озер отмечено распространение слабокислых вод умеренной минерализации и неоднократное изменение их уровня в связи с пеплопадами и климатическими флук-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: aiageo@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: a.n.ivanov@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геохимии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

туациями среднего голоцена. На побережьях выявлены изменения гидрохимической обстановки и уменьшение кислотности в болотах после затопления во время цунами [Разжигаяева с соавт., 2012, 2013; Гребенникова, 2016].

В совокупности разнообразие факторов формирования химического состава вод и их соотношения оказывают влияние на интенсивность вовлечения химических элементов в водные потоки и их аккумуляцию на геохимических барьерах, что определяет специфику вулканических островов с различной ландшафтной структурой. Очевидно, что расширение числа объектов изучения имеет большое значение для выявления общих закономерностей водной миграции химических элементов на вулканических островах.

Цель настоящей работы заключалась в установлении основных гидрохимических характеристик атмосферных, подземных и поверхностных вод в контактной полосе вулканических построек и морских террас о. Матуа (Центральные Курилы), выявлении факторов формирования их химического состава и связи интенсивности водной миграции элементов с ландшафтно-геохимическими условиями.

Материал и методы исследований. Объект исследований – о. Матуа площадью 52 км² – расположен в средней части Курильской островной дуги. На острове находится один из наиболее активных современных Курильских вулканов – Пик Сарычева (высота 1446 м над уровнем моря), для которого только за последние 250 лет достоверно отмечено не менее 10 извержений, включая последнее крупное извержение в июне 2009 г. [Дегтерев, 2011]. Породы, извергаемые вулканом на современном этапе, по химическому составу соответствуют андезитобазальтам [Дегтерев с соавт., 2012]. По данным метеостанции Матуа за 1947–1996 гг., ежегодно на острове выпадает в среднем 1278 мм осадков, но при этом постоянные водотоки практически отсутствуют, поскольку подавляющая часть осадков фильтруется через мощный чехол грубых пирокластических отложений в глубинные слои. В условиях умеренного морского климата с аномально холодным для 48° с. ш. летом (+5...+11°C) растительный покров о. Матуа представлен верещатниковыми тундрами, луговыми сообществами и зарослями ольхового стланика. В пределах островного вулканического ландшафта выделяются 3 географические местности – современных вулканических пустынь, древних вулканических построек вулкана Матуа и морских террас [Иванов, 2017].

С методологической точки зрения при изучении вулканических островов перспективно использование концепции нуклеарных геосистем, включающих ядро и поле его воздействия [Ретеюм, 1988]. В истории развития о. Матуа эндогенный потенциал активного ядра, центробежное движение вещества и неоднократность извержений способствовали усложнению структурно-функциональной организации ландшафта (древние вулканические постройки вулкана Матуа, молодой конус вулкана Сарычева).

Используя геохимический подход, его можно рассматривать как каскадную ландшафтно-геохимическую систему (КЛГС), целостность которой поддерживается нисходящими потоками, связанными с механической, воздушной и водной миграцией (излияние лав, сход лахаров и горячих туч, включение пирокластического материала в гравигенные потоки, разгрузка подземных вод и др.). При рассмотрении водной миграции химических элементов необходимо учитывать, что специфика миграционной структуры островов проявляется в нижних звеньях КЛГС, где нисходящие водные потоки попадают в зону влияния встречных потоков со стороны моря, особенно во время приливов или цунами.

Ярусное строение КЛГС обусловлено метакронностью и полигенезом структурных подразделений, различающихся по набору доминантных элементарных ландшафтов. Для верхнего яруса, включающего стратовулкан Пик Сарычева, характерно преобладание абиогенных трансэлювиальных элементарных ландшафтов, приуроченных к разновозрастным лавовым и пирокластическим потокам, образовавшимся во время эруптивной активности голоцена. Изверженные породы этого периода относятся к умеренно-калиевым известково-щелочным андезитобазальтам [Дегтерев, 2011]. Обособление среднего яруса связано с вулканическими постройками вулкана Матуа, формированием кальдеры и напряженной эксплозивной деятельностью в ее пределах в позднем плейстоцене–голоцене. Усложнение катенарной организации определяется сочетанием автономных (вулканические плато) и трансэлювиальных (молодые лавовые потоки и др.) примитивно-пустынных, горно-тундровых, горно-луговых и стланиковых элементарных ландшафтов. Нижний ярус включает серию аккумулятивных и цокольно-аккумулятивных морских террас, сформировавшихся на фундаменте слабодислоцированных вулканогенных и вулканогенно-осадочных третичных пород. Увеличению контрастности геохимических сопряжений способствует появление трансаккумулятивных комплексов на конусах выноса лахаров и супераквальных комплексов в озерных котловинах, а также соседство элементарных ландшафтов с зарослями ольховника, лугами и болотами. Своеобразие ландшафтной структуры морских террас определяется широким развитием беллигеративных комплексов.

На цокольно-аккумулятивных террасах высокого (40 м) и низкого (10–15 м) уровней галечники перекрыты слоистым почвенно-пирокластическим чехлом, верхняя часть которого представлена позднеголоценовой андезитобазальтовой тефрой. По данным А.В. Дегтерева с соавт. [2012], в ней определены средние содержания макро- и микроэлементов и рассчитаны их кларки концентрации (КК). Расчет проводился в двух вариантах: по отношению к кларку литосферы А.П. Виноградова [1962] и Р.Л. Рудник с С. Гао [Rudnick, Gao, 2003]. Близость полученных значений позволила в дальнейшем использовать при выделении парагенных ассоциаций элементов кларки А.П. Виноградова. По срав-

нению с другими макроэлементами отмечается повышенная степень накопления Ca ($KK = 2,2$) и низкая – K ($KK = 0,34$), что при содержании SiO_2 от 51,9 до 55,1 мас.% соответствует умеренно-калиевой известково-щелочной серии андезитобазальтов. Парагенная ассоциация накапливающих микроэлементов включает (по мере убывания $KK > 1$) Yb, V, Sc, Mn, Sr, Ti, Mo, Cu и Co, большинство которых, согласно А.И. Перельману [1989], специфично для основных пород. Грубый гранулометрический состав пирокластики (преобладание вулканического гравия и лапиллей при подчиненном участии прослоев тонкого пепла) благоприятствует формированию инфильтрационных водных потоков, разгружающихся у тылового шва разновысотных террас. При расчете коэффициентов водной миграции элементов использовалось их содержание в верхнеголоценовой тефре.

Гидрохимическое опробование о. Матуа проводилось в мае–июне 2016 г. на 24-х точках и включало отбор проб из разных типов встречающихся на острове водных объектов (снег, лед, родники, ручьи и озера), расположенных во всех трех ярусах КЛГС. На шести точках был выполнен отбор проб воды двукратной повторности – в третьей декаде мая (середина–конец снеготаяния) и в третьей декаде июня (начало вегетации). Всего было взято 30 проб воды.

Величину pH измеряли *in situ* с помощью портативного pH-метра-иономера «Эксперт-001» с точностью $\pm 0,01$ ед. Подготовку и консервацию растворов для лабораторных анализов выполняли сразу после отбора проб. Для анализа содержания главных ионов пробы фильтровали через плотные бумажные фильтры; для анализа содержания биогенных элементов (Si, $P_{мин}$, $P_{орг}$) после аналогичной фильтрации в пластиковые флаконы добавляли небольшое количество хлороформа (1 мл на 100 мл пробы); для анализа содержания микроэлементов (Ti, V, Mn, Fe) растворы отфильтровывали через мембранные фильтры 0,45 мкм в полипропиленовые флаконы с предварительно внесенными туда аликвотами 5 N азотной кислоты марки ос. ч. (0,2 мл на 8 мл пробы).

Величину общей щелочности, подавляющую часть которой составляют гидрокарбонаты, определяли объемным ацидиметрическим методом; концентрации других главных ионов (Cl, SO_4 , Na, K, Mg, Ca) – методом капиллярного электрофореза. Содержание растворенных форм $P_{мин}$ и Si анализировали колориметрическими методами с добавлением соответственно молибдата аммония с аскорбиновой кислотой и молибдата аммония с солью Мора. Концентрацию общего (минерального и органического) растворенного фосфора определяли по той же методике, что и минерального, но с предварительным окислением органического вещества персульфатом калия при кипячении в течение 1,5 ч. При определениях концентраций растворенных микроэлементов использовали метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой ICP-MS. Погрешность измерений не превышала $\pm 3\%$.

Результаты исследований и их обсуждение.

Сопоставление химического состава вод о. Матуа в нижних ярусах КЛГС выявило различия гидрохимических параметров по степени варьирования их значений. Наибольшим постоянством отличаются щелочно-кислотные условия вод, которые относятся к нейтральным (коэффициент вариации C_v для величины pH составляет 9%). Среди главных ионов наименьшая вариабельность характерна для калия и сульфатов ($C_v = 48\%$), тогда как изменчивость содержания гидрокарбонатов, кальция, магния и натрия больше ($C_v = 53–66\%$) и достигает максимума ($C_v > 70\%$) для хлоридов и растворенных форм биогенных элементов (Si, $P_{мин}$, $P_{орг}$). Для выявления факторов формирования химического состава водных потоков все объекты опробования были разделены на 10 групп в зависимости от приуроченности зон разгрузки грунтовых вод и близости моря (табл. 1).

Факторы формирования химического состава природных вод. Представление о поступлении вещества с атмосферными осадками дают результаты анализа снега и талых вод снежников, приуроченных к примитивно-пустынным природным комплексам вулканических плато. Воды вытекающих из них ручейков слабокислые ультрапресные хлоридно-натриевые с незначительной долей сульфатов, гидрокарбонатов, кальция и магния (по 6,9 %-экв). В целом это согласуется с данными по ионному составу снега на островах рассматриваемого региона [Котенко, Котенко, 2010], хотя на о. Парамушир вне действия вулкана Эбеко хлоридов содержится меньше, чем на о. Матуа.

По сравнению со снеговыми нейтральные грунтовые воды и связанные с ними воды временных и постоянных ручьев отличаются более высокими значениями pH, минерализации и соответственно увеличением содержания главных ионов (при преобладании Na и Cl). Степень этих изменений зависит от локализации зон разгрузки, а воды родников по нарастанию минерализации образуют следующий ряд: 1) контакт древних лавовых потоков и морских террас (89–92 мг/л); 2) контакт морских террас высотой 15 и 10 м (94 мг/л); 3) тыловой шов высокой морской террасы 40 м (120 мг/л).

Состав хлоридно-натриевых (%-экв: Cl – 29, HCO_3 – 11, SO_4 – 10; Na – 31, Ca – 11, Mg – 8) вод поверхностных водотоков унаследован от разгружающихся грунтовых вод. Весной при снеготаянии минерализация вод ручьев (79–83 мг/л) на низких морских террасах (р. Хесупо и др.) меньше, чем в родниках, но приближается к ним уже в начале вегетационного периода в связи с уменьшением доли талых вод и усилением процессов выщелачивания в почвах и подстилающих породах. В нижнем течении ручьев, попадающих в зону штормовых нагонов, отмечается увеличение минерализации до 123 мг/л за счет талассофильных элементов (Cl, Na) и появление слабощелочных условий среды при последовательном увеличении pH от 7,8–7,9 в устьях рек до 8,1 в прибрежных водах бухт.

Таблица 1

Щелочно-кислотные условия, минерализация (М) и ионный состав природных вод о. Матуа

№	Объект опробования вод	Число проб	Место-нахождение	pH	M, мг/л	Содержание ионов, мг/л						
						Na	K	Mg	Ca	HCO ₃	SO ₄	Cl
Ручьи из снежников вулканических пустынь												
1	Талые воды, снег, лед	4	Лавовые плато	5,83	9,5	2,36	0,30	0,25	0,35	1,45	1,15	3,69
Зона разгрузки грунтовых вод на контакте лавовых потоков и низких морских террас												
2	Родник на контакте древнего лавового потока и террасы 10 м	1	Район бухты Айну	7,01	92,5	14,8	1,72	3,09	8,23	25,5	18,0	21,2
3	Родник на контакте древнего лавового потока и террасы 20 м	1	То же	6,95	88,8	19,7	1,40	2,87	6,22	11,6	15,6	31,4
Зона разгрузки грунтовых вод лавовых плато и высоких морских террас (40 м)												
4	Ручьи у тылового шва высоких террас	5	Район бухты Двойная	7,20	120	21,1	2,14	3,64	11,4	35,1	13,8	32,9
5	Ручей с лавовых плато мыса Клюв в зоне штормовых нагонов	1	То же	7,25	250	67,4	3,38	7,79	9,96	15,9	18,7	127
Зона разгрузки грунтовых вод на контакте низких морских террас (15 и 10 м)												
6	Родники	3	Район бухты Айну	6,84	94,5	18,4	1,43	2,77	8,00	20,7	14,2	29,0
7	Ручьи	8	То же	7,28	88,2	19,2	1,42	2,66	6,22	17,4	13,6	27,7
8	Ручей в зоне штормовых нагонов	1	—	7,76	123	31,3	2,02	3,51	4,29	17,1	18,5	46,5
9	Озера в суффозионной ложбине	5	—	7,18	90,7	18,6	1,32	2,73	6,82	20,6	12,2	28,4
10	Озера заболоченных западин	2	Район бухты Южная	6,15	29,6	7,78	0,68	0,68	0,82	5,19	3,72	10,7

По гидрохимическим параметрам на морских террасах выделяются две группы озер. Одна из них включает озера в суффозионной ложбине бухты Айну, которые по составу вод мало отличаются от ручьев. В другую группу вошли озера бухты Южной, сопряженные с супераквальными элементарными ландшафтами сфагново-осоковых болот в понижениях между береговыми валами. Высокая гидроморфность, низкая скорость разложения органического вещества и замедленность биологического круговорота определяют развитие кислой среды и низкую минерализацию (30 мг/л) их вод. Противоположная ситуация характерна для отделенного проливом о. Топорковый, где располагаются колонии птиц и зафиксирована максимальная для озерных вод минерализация (105 мг/л), а также отмечаются повышенные концентрации большинства главных ионов, в том числе К. Возможность обогащения вод биогенными элементами под влиянием орнитогенного фактора была ранее показана для островов Северной Пацифики [Иванов, Авессаломова, 2008].

В пределах высоких цокольно-аккумулятивных морских террас инфильтрационные воды формируются при прохождении через толщу пирокластического материала, морские галечники и вулканогенные

породы цоколя. Выщелачивание элементов из андезитобазальтовой тефры сопровождается увеличением доли Са и гидрокарбонатов (по 16%-экв) в составе подземных вод и связанных с этим источником питания ручьев. Максимальная минерализация (250 мг/л) обнаружена в районе мыса Клюв в ручье, стекающем к морю по заросшему ольховником лавовому потоку (рис. 1). На формирование этих вод оказывает воздействие комплекс факторов: выщелачивание Са, Mg и К из андезитобазальтов и тефры; вовлечение в водную миграцию элементов, участвующих в биологическом круговороте; близость моря и поступление Cl и Na при заплесках и штормовых нагонах. Учитывая резкое увеличение содержания этих легкоподвижных элементов (Cl – 127 мг/л, Na – 67 мг/л), нельзя исключить влияния гидротерм, что требует дополнительной проверки.

Интенсивность водной миграции и концентрации элементов. Для характеристики водной миграции привлечены данные о содержании химических элементов в водах, коэффициенты водной миграции (K_x) и ее контрастности (K_c). Наряду с компонентами основного солевого состава вод рассмотрены элементы, характерные для андезитобазальтовой тефры: Si, Ti, V, а также некоторые тяже-

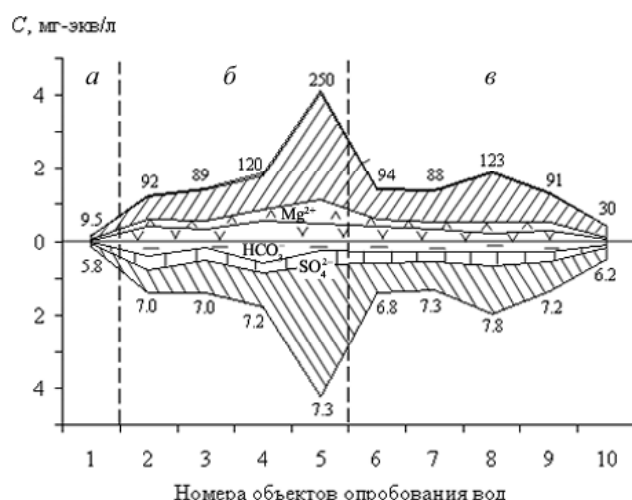


Рис. 1. Ионный состав (С), минерализация (М, мг/л, цифры над графиком) и величина рН (цифры под графиком) разных типов вод о. Матуа: а – снеговые и талые воды; б – родники и ручьи в зонах разгрузки грунтовых вод лавовых плато и высоких морских террас; в – родники, ручьи и озера низких морских террас. Номера объектов опробования вод даны в соответствии с табл. 1

Fig. 1. Ionic composition (C), mineralization (M, mg/l, figures above the diagram), and pH value (figures under the diagram) of different water types of the Matua Island: а – snow and melt waters; б – springs and streams in groundwater discharge zones of lava plateau and high coastal terraces; в – springs, streams and lakes of low coastal terraces. Numbers of water sampling objects are given according to Table 1

лые металлы (Fe, Mn) и биогенные элементы (Р). Ряды водной миграции отражают различную интенсивность вовлечения элементов в подземный и поверхностный стоки и возможность накопления в замкнутых водоемах (табл. 2).

К числу очень подвижных мигрантов в водах ручьев относятся Cl и S, хотя абсолютные значения K_x для этих циклических элементов, поступающих аэральным путем, могут быть завышены из-за приокеанического положения вулканического о. Матуа. Увеличение K_x для Cl и Na в озерах заболоченных западин свидетельствует о накоплении там элементов с высокой миграционной способностью (значения K_x по отношению к ручьям составляют 1,3 для Cl и 1,5 для Na). В группу легкоподвижных элементов входят Na, K, Mg и Ca; подвижных, слабоподвижных и инертных – Si, P, V, Ti, Mn и Fe. Их положение в рядах водной миграции соответствует данным о том, что вынос из пепла Na и Mg более интенсивный по сравнению с выщелачиванием Fe, Mn, Ti и V [Гущенко, 1965].

Среди анионогенных элементов, связанных с литогенной основой, по контрастности миграции резко различаются Si и P. Для Si и $P_{мин}$ характерны повышенные концентрации в водах родников и ручьев в зонах разгрузки грунтовых вод лавовых плато и высоких террас (рис. 2). О роли пирокластического субстрата в вовлечении этих элементов в миграцию свидетельствуют высокие коэффициенты корреляции концентрации Si с содержанием Ca и гидрокарбонатов (0,94 и 0,91), а также с содержанием $P_{мин}$ (0,79). Несмотря на общий тренд к уменьшению концентрации Si в родниках, ручьях и озерах низких террас, контрастность его водной миграции невелика (K_x от 0,7 до 0,4), а степень подвижности снижается только в озерах ($K_x = 0,03$). Возможно, минимальное содержание Si в озерах связано с его перехватом на фитобарьере в супераквальных болотных элементарных ландшафтах, где доминируют концентраторы этого элемента. Высокая контрастность водной миграции P ($K_x = 0,2–0,5$ в ручьях, 2,6 в озе-

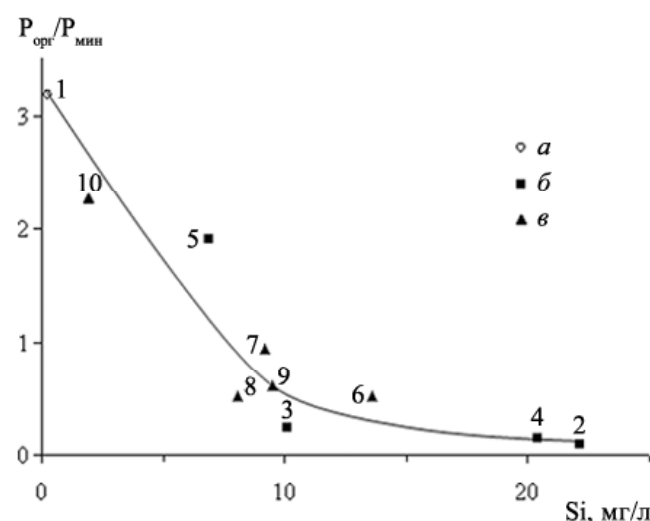


Рис. 2. Соотношение растворенных форм органического и минерального фосфора и содержание растворенного кремния в разных типах вод о. Матуа: а – снеговые и талые воды; б – родники и ручьи в зонах разгрузки грунтовых вод лавовых плато и высоких морских террас; в – родники, ручьи и озера низких морских террас. Подписи к знакам – номера объектов опробования вод в соответствии с табл. 1

Fig. 2. Ratio of dissolved forms of organic and mineral phosphorus and the content of dissolved silicon in different water types of the Matua Island: а – snow and melt waters; б – springs and streams in groundwater discharge zones of lava plateau and high coastal terraces; в – springs, streams and lakes of low coastal terraces. Captions to points are numbers of water sampling objects according to Table 1

Таблица 2

Ряды водной миграции химических элементов в ручьях и озерах о. Матуа

Тип вод	Коэффициент водной миграции (K_x)						
	1000n	100n	10n	n	0,n	0,0n	0,00n
Ручьи у тылового шва высоких террас	Cl	–	S	Na, K, Ca, Mg	Si, P, V	Ti	Mn, Fe
Ручьи низких морских террас	Cl	S	–	Na, K, Mg, Ca	Si, P, Mn	V, Fe, Ti	–
Озера заболоченных западин	Cl	–	S, Na	K, P	Mg, Ca, V, Mn, Fe	Ti, Si	–

рах; K_c от 4 до 13) связана с накоплением его органической формы в водах озер (до 37,5 мкг/л) при уменьшении доли минеральной составляющей (1,5–3,9 мкг/л). Это свидетельствует о роли биологического круговорота в создании предпосылок появления в заболоченных понижениях геохимических ловушек для растворимых форм биогенных элементов.

Значительная вариабельность концентраций в водах Fe и Mn ($C_v > 70$) связана с обеднением этими элементами большинства родников (Fe = 4,1–14 мкг/л, Mn = 0,5–3,8 мкг/л) и резким увеличением их концентраций в ручьях и озерах низких террас: Fe = 60–137 мкг/л, Mn = 9,0–14 мкг/л (рис. 3). Возрастанию подвижности элементов (K_c для Fe достигает 100, для Mn – 40) способствует изменение окислительно-восстановительной обстановки и развитие оглеения в суффузионной ложбине и по днищам ручьев. В то же время на локальных участках наблюдаются скопления гидроксидов железа, свидетельствующие о функционировании кислородного барьера. Также нельзя исключить, что одной из причин повышенных концентраций растворенного Fe может быть существование специфического техногенного источника, связанного с остатками оборудования в бelligеративных комплексах террас.

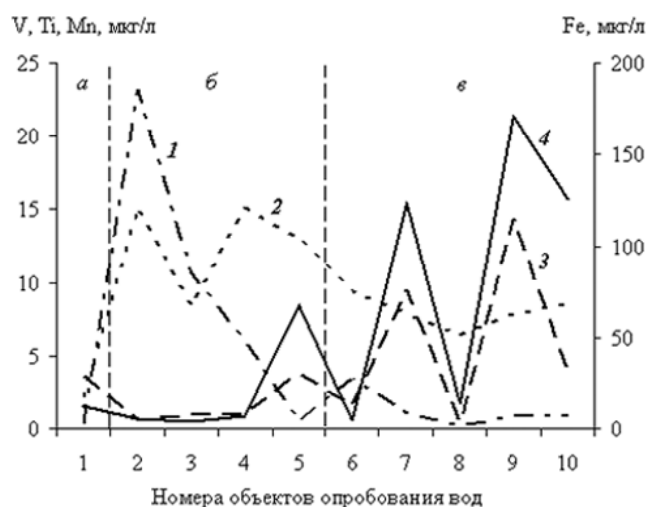


Рис. 3. Содержание растворенных форм ванадия (1), титана (2), марганца (3) и железа (4) в разных типах вод о. Матуа. а – снеговые и талые воды; б – родники и ручьи в зонах разгрузки грунтовых вод лавовых плато и высоких морских террас; в – родники, ручьи и озера низких морских террас. Номера объектов опробования вод даны в соответствии с табл. 1

Fig. 3. The content of dissolved forms of vanadium (1), titanium (2), manganese (3), and iron (4) in different water types of the Matua Island: (a) snow and melt waters; (b) springs and streams in groundwater discharge zones of lava plateau and high coastal terraces; (c) springs, streams, and lakes of low coastal terraces. Numbers of water sampling objects are given according to Table 1

Пространственное распределение V и Ti противоположно таковому для Fe и Mn и имеет сходство с распределением Si и $P_{мин}$, концентрации которых уменьшаются в водах родников и ручьев низких террас. Однако эти элементы отличаются слабой подвижностью и сохраняют свое положение в рядах водной миграции при незначительном уменьшении K_x (0,01–0,08 для Ti и 0,04–0,3 для V). Их поведение обусловлено слабым выносом из пирокластического чехла и, возможно, отсутствием других источников для включения в водную миграцию.

Выводы:

– макро- и микроэлементный состав поверхностных водотоков отличается высокой вариабельностью и меняется в зависимости от локализации зон разгрузки подземных вод на контакте древних вулканических построек и морских террас разного уровня. На низких террасах влияние родников на состав вод ручьев в период снеготаяния уменьшается, но усиливается уже в начале вегетационного периода, определяя различия состава поверхностных вод в разных частях острова;

– по сравнению с составом атмосферных осадков при формировании инфильтрационных вод роль пирокластического чехла проявляется в повышении минерализации, доли Ca и гидрокарбонатов, увеличении содержания Si и $P_{мин}$, а также концентрации V и Ti, которые входят в парагенную ассоциацию микроэлементов, накапливающихся в тefре;

– по контрастности водной миграции выделяют тяжелые металлы – Fe и Mn, подвижность которых увеличивается в ручьях, дренирующих заболоченные участки морских террас. В качестве аккумуляторов их растворимых форм выступают озера в суффузионной ложбине, играющие роль геохимических ловушек для биогенных элементов. К их числу относится $P_{орг}$, содержание которого увеличивается в результате биогенеза и превышает минеральную составляющую, что отличает воды ручьев и озер от родников. При соседстве супераквальных болотных и аквальных элементарных ландшафтов противоречивость воздействия биогенеза на химический состав вод состоит в том, что он способствует аккумуляции одних компонентов (Fe, Mn, $P_{орг}$), но в условиях замедленного биологического круговорота вызывает сокращение активности водной миграции других (Ca, Mg);

– влияние морских вод и связанное с ними обогащение речных вод талассофильными элементами ограничено и зафиксировано лишь в нижнем течении ручьев, находящихся в зоне штормовых нагонов. По сравнению с верховьями такие участки выделяются по появлению слабощелочных условий среды и увеличению минерализации вод.

Благодарности. Исследования поддержаны грантом Русского географического общества № 02/2017-Р.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- Гребенникова Т.А. Экологическое состояние водоемов острова Матуа (Средние Курилы) по данным диатомового анализа // Успехи современного естествознания. 2016. № 4. С. 126–132.
- Гущенко И.И. Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. 144 с.
- Детерев А.В. Петрохимические особенности продуктов современных извержений вулкана Пик Сарычева, остров Матуа (Курилы) // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 6. С. 94–99.
- Детерев А.В., Рыбин А.В., Мелекесцев И.В., Разжигаева Н.Г. Эксплозивные извержения вулкана Пик Сарычева в голоцене (о. Матуа, Центральные Курилы): геохимия тефры // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 6. С. 16–26.
- Жарков Р.В., Побережная Т.М. Влияние сольфатарно-гидротермальной деятельности вулканов на компоненты ландшафтов (влк. Менделеева, о-в Кунашир, Курильские о-ва) // Вестн. ДВО РАН. 2008. № 1. С. 53–58.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Генетические и геохимические особенности почв Камчатки. М.: Наука, 2011. 245 с.
- Иванов А.Н. Остров Матуа: активный вулкан и военная база // Природа. 2017. № 2. С. 18–26.
- Иванов А.Н., Авессаломова И.А. Ландшафтно-геохимические особенности орнитогенных геосистем Ямских островов (Охотское море) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2008. № 2. С. 35–42.
- Козлов Д.Н., Жарков Р.В. Морфология и генезис озер кальдерных комплексов Головина и Заварицкого (Курильские острова) // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 3. С. 103–106.
- Комплексная экспедиция на Курильские острова в 2008 г. (III этап) // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 2. С. 134–142.
- Котенко Т.А., Котенко Л.В. Состояние вулкана Эбеко (о-в Парамушир) и влияние его активизации на экологическую обстановку // Вестн. ДВО РАН. 2010. № 3. С. 51–58.
- Лобкина В.А., Казакова Е.Н. Миграция химических элементов из морской воды и их последующая аккумуляция в снежном покрове (юг острова Сахалин) // Вестн. ДВО РАН. 2011. № 6. С. 101–105.
- Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
- Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Белянина Н.И., Гребенникова Т.А., Арсланов Х.А., Пишеничкова Н.Ф., Рыбин А.В. Роль климатического и вулканического факторов в формировании органогенных отложений и развитии ландшафтов о. Симушир (Центральные Курилы) в среднем–позднем голоцене // Тихоокеанская геология. 2013. Т. 32. № 3. С. 55–67.
- Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Мохова Л.М., Арсланов Х.А., Копотева Т.А., Рыбин А.В. Развитие озерно-болотных обстановок осадконакопления древней кальдеры острова Расшуа (Центральные Курилы) в голоцене // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 4. С. 74–86.
- Ретеюм А.Ю. Земные миры. М.: Мысль, 1988. 266 с.
- Рычагов С.Н., Королева Г.П., Степанов И.И. Рудные элементы в зоне гипергенеза месторождения парогидротерм: распределение, формы миграции, источники // Вулканология и сейсмология. 2002. № 2. С. 37–58.
- Рычагов С.Н., Пушкарев В.Г., Белоусов В.И., Кузьмин Д.Ю., Мушинский А.В., Сандимирова Е.И., Бойкова И.А., Шульга О.В., Николаева А.Г., Егорова Н.П. Северо-Курильское гидротермальное месторождение: геологическое строение и перспективы использования // Вулканология и сейсмология. 2004. № 2. С. 56–72.
- Торохов П.В., Черткова Л.В. Водные массы кальдеры Львиная Пасть и их газогидрохимические особенности // Вулканология и сейсмология. 1990. № 5. С. 51–68.
- Чудаев О.В., Чудаева В.А. Состав и генезис гидротермальных систем областей современного островодужного вулканизма // Вестн. ДВО РАН. 2009. № 4. С. 24–29.
- Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. V. 3. The Crust. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1–64.

Поступила в редакцию 27.04.2017
Принята к публикации 13.09.2017

I.A. Avessalomova¹, A.N. Ivanov², A.V. Savenko³

WATER MIGRATION OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE LANDSCAPES
OF VOLCANIC ISLANDS OF THE CENTRAL KURILES
(CASE STUDY OF THE MATUA ISLAND)

The basic characteristics of atmospheric, ground, and surface waters in the contact zone of volcanic structures and coastal terraces are revealed according to hydrochemical sampling data for the Matua Island (the Central Kuriles). The distinctions in pH value, mineralization and the content of major ions, nutrients (Si, P), and iron-group trace elements (Ti, V, Mn, Fe) are noted. Values of Ca, Mg, Si, P_{min} , V, and Ti are suggested as indicators for revealing the role of lithogenic factor in the formation of infiltration waters. It is shown that the concentrations of dissolved forms of these elements vary depending on the location of groundwater discharge zones and decrease in the waters of low coastal terraces. Various mobility and contrast of chemical elements behavior are established using the water migration coefficients, as well as possible accumulation of Fe, Mn, and P_{org} in streams and lakes in the vicinity of hydromorphic bog landscapes.

Key words: Central Kuriles, the Matua Island, volcanic structures, coastal terraces, tephra, chemical composition of water, intensity of water migration.

Acknowledgements. This study was supported by the Russian Geographical Society (project № 02/2017-P).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: aiageo@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: a.n.ivanov@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Department of Geochemistry, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

REFERENCES

- Chudaev O.V., Chudaeva V.A.* Sostav i genezis gidrotermal'nyh sistem oblastej sovremennogo ostrovoduzhnogo vulkanizma [Structure and genesis of hydrothermal systems of the modern arc volcanism areas] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2009. № 4. P. 24–29 (in Russian).
- Degterev A.V.* Petrohimicheskie osobennosti produktov sovremennyh izverzenij vulkana Pik Sarycheva, ostrov Matua (Kurily) [Petrochemical features of modern eruptions products of the Sarychev Peak volcano, the Matua Island (the Kuriles)] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2011. № 6. P. 94–99 (in Russian).
- Degterev A.V., Rybin A.V., Melekestsev I.V., Razzhigaeva N.G.* Explosive eruptions of the Sarychev Peak volcano in the Holocene on Matua Island, the Central Kuriles: The tephra geochemistry // J. Pacific Geology. 2012. V. 31. № 6. P. 423–432 (in Russian).
- Grebennikova T.A.* Ekologicheskoe sostoyanie vodoemov ostrova Matua (Srednie Kurily) po dannym diatomovogo analiza [Ecological state of reservoirs of the Matua Island (the Central Kuriles) according to the diatom analysis] // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2016. № 4. P. 126–132 (in Russian).
- Guschenko I.I.* Peply Severnoj Kamchatki i usloviya ih obrazovaniya [Ashes of the Northern Kamchatka and condition of their formation]. M.: Nauka, 1965. 144 p. (in Russian).
- Ivanov A.N.* Ostrov Matua: aktivnyj vulkan i voennaya baza [Matua Island: active volcano and the military base] // Priroda. 2017. № 2. P. 18–26 (in Russian).
- Ivanov A.N., Avessalomova I.A.* Landshaftno-geohimicheskie osobennosti ornitogennyh geosistem Yamskih ostrovov (Ohotskoe more) [Landscape-geochemical features of ornithogenic geosystems of the Yamskie Islands (the Sea of Okhotsk)] // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya. 2008. № 2. P. 35–42 (in Russian).
- Kompleksnaya ekspeditsiya na Kuril'skie ostrova v 2008 g. (III etap)* [Complex expedition on the Kuril Islands in 2008 (stage III)] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2009. № 2. P. 134–142 (in Russian).
- Kotenko T.A., Kotenko L.V.* Sostoyanie vulkana Ebeko (o-v Paramushir) i vliyanie ego aktivizatsii na ekologicheskuyu obstanovku [State of the Ebeko volcano (the Paramushir Island) and influence of its activation on the ecological situation] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2010. № 3. P. 51–58 (in Russian).
- Kozlov D.N., Zharkov R.V.* Morfologiya i genezis ozer kal'dernykh kompleksov Golovina i Zavaritskogo (Kuril'skie ostrova) [Morphology and genesis of lakes of the Golovin and Zavaritzky caldera complexes (the Kuril Islands)] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2010. № 3. P. 103–106 (in Russian).
- Lobkina V.A., Kazakova E.N.* Migratsiya himicheskikh elementov iz morskoy vody i ih posleduyuschaya akkumulyatsiya v snezhnom pokrove (yug ostrova Sahalin) [Migration of chemical elements from seawater and their subsequent accumulation in snow cover (south of the Sakhalin Island)] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2011. № 6. P. 101–105 (in Russian).
- Perel'man A.I.* Geohimiya [Geochemistry]. M.: Vysshaya shkola, 1989. 528 p. (in Russian).
- Razzhigaeva N.G., Ganzei L.A., Belyanina N.I., Grebennikova T.A., Arslanov K.A., Pshenichnikova N.F., Rybin A.V.* Role of climatic and volcanogenic factors in the formation of organogenic sediments and development of landscapes on the Simushir Island (Central Kurile Islands) in the middle-late Holocene // J. Pacific Geology. 2013. V. 7. № 3. P. 199–211 (in Russian).
- Razzhigaeva N.G., Ganzei L.A., Grebennikova T.A., Mokhova L.M., Arslanov K.A., Kopoteva T.A., Rybin A.V.* Development of lacustrine-boggy sedimentary environments in the ancient Rasshua Island caldera (Central Kuril Islands) in the Holocene // J. Pacific Geology. 2012. V. 6. № 4. P. 326–338 (in Russian).
- Reteyum A.Yu.* Zemnye miry [The Earth's worlds]. M.: Mysl', 1988. 266 p. (in Russian).
- Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. V. 3. The Crust. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1–64.
- Rychagov S.N., Koroleva G.P., Stepanov I.I.* Rudnye elementy v zone gipergeneza mestorozhdeniya parogidroterm: raspredelenie, formy migratsii, istochniki [Ore elements in the hypergenesis zone of steam hydrothermae field: distribution, forms of migration, sources] // Vulkanologiya i seismologiya. 2002. № 2. P. 37–58 (in Russian).
- Rychagov S.N., Pushkarev V.G., Belousov V.I., Kuz'min D.Yu., Mushinskij A.V., Sandimirova E.I., Bojkova I.A., Shul'ga O.V., Nikolaeva A.G., Egorova N.P.* Severo-Kuril'skoe gidrotermal'noe mestorozhdenie: geologicheskoe stroenie i perspektivy ispol'zovaniya [North-Kurile hydrothermal field: geological structure and prospects of utilization] // Vulkanologiya i seismologiya. 2004. № 2. P. 56–72 (in Russian).
- Torohov P.V., Chertkova L.V.* Vodnye massy kal'dery L'vinaya Past' i ih gazogidrohimiicheskie osobennosti [Water masses of Lion's Mouth caldera and their gas-hydrochemical features] // Vulkanologiya i seismologiya. 1990. № 5. P. 51–68 (in Russian).
- Vinogradov A.P.* Srednee sodержanie himicheskikh elementov v glavnykh tipah izverzhennykh gornyx porod zemnoj kory [Average concentrations of chemical elements in the main types of effusive rocks of the Earth's crust] // Geohimiya. 1962. № 7. P. 555–571 (in Russian).
- Zaharikhina L.V., Litvinenko Yu.S.* Geneticheskie i geohimicheskie osobennosti pochv Kamchatki [Genetic and geochemical features of soils of the Kamchatka Peninsula]. M.: Nauka, 2011. 245 p. (in Russian).
- Zharkov R.V., Poberezhnaya T.M.* Vliyanie sol'fatarno-gidrotermal'noj deyatel'nosti vulkanov na komponenty landshaftov (vkl. Mendeleeva, o-v Kunashir, Kuril'skie o-va) [Influence of solfataric-hydrothermal activity of volcanoes on the components of landscapes (Mendeleyev volcano, the Kunashir Island, the Kuriles)] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk. 2008. № 1. P. 53–58 (in Russian).

Received 27.04.2017

Accepted 13.09.2017

УДК 551.345; 551.343.72; 551.438.223

Ю.К. Васильчук¹, Ю.Н. Чижова², Н.А. Буданцева³, А.К. Васильчук⁴, Г.Е. Облогов⁵

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СНЕЖНИКОВ И ЛЕДНИКОВ ПОЛЯРНОГО УРАЛА

Современные ледники Полярного Урала невелики. Они, как правило, расположены на 1000 м ниже климатической снеговой линии и редко спускаются до отметок ниже 400–500 м над ур. моря. Питаются ледники за счет сдувания снега с окружающих склонов и накопленного ими холода, реализуемого на формирование наложенного льда. Исследован изотопный состав снежников и ледников Полярного Урала (на примере небольшого ледника на хр. Малый Пайпудынский и ледника Романчиков), прослежены изменения первоначальных изотопных характеристик при льдообразовании.

Ключевые слова: снег, ледниковый лед, изотопы кислорода, изотопы водорода, дейтериевый эксцесс.

Введение. Полярный Урал относится к Атлантико-Североевразийской гляциологической провинции. Современные нивально-гляциальные объекты Полярного Урала в основном представлены снежниками и малыми ледниками. Снежный покров появляется в среднем в конце сентября, средние даты разрушения устойчивого снежного покрова приходятся на конец мая, а окончательного схода снега – на первую неделю июня. Длительность периода залегания снежного покрова составляет в среднем 237 дней.

По данным метеостанции Большая Хадата, годовое количество осадков в районе водораздела составляет от 530 до 860 мм, в том числе твердых – от 320 до 540 мм. К западу от водораздела на уровне гребней хребтов осадков выпадает до 1200–1500 мм/год, но даже этого их количества недостаточно для существования ледников – это намного меньше, чем может статься. Существование уральских ледников возможно лишь благодаря концентрации огромных масс метелевого и лавинного снега в глубоких карах восточных подветренных склонов.

Средняя годовая температура воздуха в районе метеостанции Большая Хадата колеблется от –4,6 до –8,2 °С. Средняя температура самого холодного месяца от –10,9 до –26,7 °С, самого теплого – от +10,9 до +14 °С. Продолжительность морозного периода от года к году варьирует около 250 дней, сумма осадков за весь период аккумуляции – от 300 до 600 мм [Чижов, 1976]. Современная метеорологическая станция, по которой доступны наблюдения за период с 1960-х годов до сегодняшнего дня и наиболее близко расположенная к Полярному Уралу – это метеостанция в пос. Елецкий (индекс ВМО 23 220). Среднегодовая температура воздуха за пе-

риод с 1960 по 2015 г. составила –5,2 °С, $t_{\max} = -2,4$ °С, $t_{\min} = -8,3$ °С [meteo.ru]. За 55 лет отмечен очень незначительный тренд увеличения среднегодовой температуры – от –6 до –5 °С (линейная аппроксимация по среднемесячным значениям t), обусловленный слабым увеличением среднеянварских температур воздуха от –21 до –20 °С. Средние температуры июля с 1960 г. остаются неизменными. Количество осадков за этот период также менялось незначительно. Это дает основание полагать, что в целом климатические характеристики за последние 50 лет довольно стабильны. Увеличение на 1 °С среднеянварских температур может отразиться в изотопном составе снега в виде незначительного утяжеления изотопных значений ($\delta^{18}\text{O}$ на 0,7‰ по уравнению В. Дансгора [Dansgaard, 1964]), однако, несмотря на линейность связи значений $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ с температурой приземного слоя воздуха в глобальном масштабе, на локальном уровне повышение температуры на 1 градус не является решающим фактором в формировании изотопного состава снежного покрова и ледникового льда. К тому же, повышение температуры и, как следствие, утяжеление изотопных значений не меняет соотношение $\delta^2\text{H}$ – $\delta^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках.

Исследования по программе Международного геофизического года (МГГ) показали, что площадь всех описанных на Северном, Приполярном и Полярном Урале 143 ледников оказалась равной 28,7 км², причем наиболее значительные очаги современного оледенения находятся на Полярном Урале, где к концу 1970-х гг. насчитывался 91 ледник общей площадью более 20 км². По морфологии ледники на Полярном Урале – каровые и присклоновые, типичный пример карового ледника – ледник Обручева, и всего 2 ледника карово-долинных –

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, проф., докт. геол.-минер. н.; e-mail: vasilch_geo@mail.ru

² Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: eacentr@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: nadin.budanceva@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический ф-т, лаб. геоэкологии Севера, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: alla-vasilch@yandex.ru

⁵ Институт криосферы Земли, СО РАН, науч. с., канд. геол.-минер. н.; e-mail: oblogov@mail.ru

это ИГАН и МГУ [Чижов, 1976]. Более поздними исследованиями показано, что современное оледенение Полярного Урала включает 76 малых ледников карового и присклонового типа, открыты 5 новых ледников, а 20 из ранее описанных – исчезли [Иванов, 2012]. Все современные ледники очень малы (площадь ни одного из них не превышает 1 км²) и, как правило, ориентированы на восток [Solomina et al., 2010]. Большинство ледников располагается в диапазоне высот от 400 до 900 м, два крупных ледника – МГУ и ИГАН – в диапазоне высот от 700 до 1180 м над ур. м., при этом все они находятся ниже климатической снеговой линии (1350 м) и их существование обусловлено концентрацией снега на подветренных склонах. Для присклоновых ледников особенно велика роль метелевого переноса, накопление снега на каровых ледниках происходит в значительной степени благодаря сходу лавин.

Граница питания на ледниках в среднем находится на высоте 800 м над ур. м., на двух рядом лежащих ледниках (Обручева и ИГАН) она составляет 530 и 930 м соответственно. Такая существенная разница указывает на то, что высота границы питания определяется только местными условиями и не связана с общими условиями климата [Чижов, 1976].

Оледенение Урала по терминологии М.В. Тронова принадлежит к типу оледенения «малых форм». Этот термин характеризует определенный тип оледенения, состоящий из начальных по своему генезису снежно-ледяных образований. Их можно расположить в следующий генетический ряд: весенний снежник – летний снежник – снежник-перелеток (перелетывающий в некоторые годы) – многолетний снежник – малый ледник. Для такого малого оледенения характерно наличие устойчиво существующих снежно-ледяных образований, переходных от снежников к ледникам. Их число и площадь, как и перелетывающих снежников, увеличивается в многоснежные годы и (или) в годы с прохладным летом. Последние 200 лет ледники Полярного Урала отступают и сокращаются по толщине. К признакам деградации относится высокое положение современных конечных и боковых морен, образование озер на ледниковых языках и превращение их в участки мертвого льда, отрыв ледников от конечно-моренных валов и др.

Постановка проблемы. Применение изотопного метода в изучении криосферных объектов, в том числе горных ледников, показало высокую информативность изотопного состава льда [Васильчук, Котляков, 2000]. Первые исследования изотопного состава ледников Полярного Урала были выполнены в 1976 г. на леднике Обручева. Они показали, что процессы метаморфизма, фазовые переходы и влияние талых и дождевых вод приводят к изменениям первоначального изотопного состава [Бажев с соавт., 1973]. Тем не менее, среднегодовые значения $\delta^{18}\text{O} = -20,0\text{‰}$, полученные по керну, даже в зоне абляции довольно хорошо согласуются [Бажев с соавт., 1973] с расчетными значениями, полученными по эмпирической формуле В. Дансгора

[Dansgaard, 1964], связывающей изотопный состав осадков с температурой воздуха. На ледниках умеренных широт значения $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ снежных осадков, сохраняющиеся до конца периода аккумуляции, сглаживаются в последующий период абляции, в некоторых случаях происходит полная изотопная гомогенизация. На тех ледниках, где велика роль инфильтрационно-конжеляционного льдообразования, изотопный сигнал льда отражает не столько изотопный состав выпавших атмосферных осадков, сколько условия и характер образования льда.

Целью работы являлось проследить характер изотопных вариаций $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ в разных ледниковых образованиях Полярного Урала – малых ледниковых формах – присклоновых малых ледниках и типичном карово-присклоновом леднике Романтиков, установить связь изотопного состава снежного покрова с составом ледникового льда и показать, как изотопный состав льда может свидетельствовать об условиях льдообразования.

Материалы и методы. В 1999 г. были изучены 3 снежника: вблизи поселка Полярный, на удалении 2,5 и 5 км от поселка. В декабре 2003 г. исследован снежный покров вблизи пос. Полярный на том же месте, где был опробован снежник № 1 в 1999 г. Образцы растапливались и переливались в стерильные контейнеры и до анализа хранились в холодильных камерах.

В июне 1999 г. у пос. Полярный заложен шурф № 1 в 300–400 м от железной дороги на пологом склоне восточной экспозиции (абс. выс. 240 м), у края обширного снежника (размер около 200×50 м). Высота снега здесь составила 60 см, поверхность снега загрязнена сероугольной пылью, в том числе угольной, и мелкими растительными остатками; в нижней части снежной толщи снег промочен талой водой. В строении снежной толщи отмечены горизонты разрыхления и глубинной изморози, указывающие на процессы снежного метаморфизма.

Шурф № 2 выполнен в снежнике в 2,5 км восточнее пос. Полярный, располагавшемся на подветренном склоне у скал крутизной до 40°. В результате наведения снега мощность снежника составила 120 см. Снежная толща сложена мелкозернистым и среднезернистым снегом, значительно увлажненным.

Шурф № 3 заложен в снежнике на возвышенной субгоризонтальной поверхности в 5 км от пос. Полярный и в 400 м от железной дороги. Высота слоя снега составила 75 см, в строении снежной толщи сверху вниз отмечены горизонты мелкозернистого снега, среднезернистого и крупнозернистого снега, в нижнем горизонте разрыхленного и сильно промоченного водой.

Зимой 2003 г. (в конце декабря) у пос. Полярный исследовано строение снежной толщи в том же месте, в котором в 1999 г. был заложен шурф № 1. Снежная толща имела мощность 150 см и была сложена горизонтами мелкозернистого снега, перемежающимися горизонтами ветрового уплотнения, в нижних 25 см среднезернистый, рассыпчатый, метаморфизованный снег.

В 2000 г. изучен присклоновый малый ледник (№ 1), располагающийся на юго-восточном склоне хр. Малый Пайпудынский. Размеры ледника – около 50 м в длину и 20 м в ширину, мощность около 1 м. В 700 м восточнее ледника № 1 исследован малый ледник № 2. Его длина около 30 м, ширина – 10 м, он расположен на склоне северной экспозиции, на 50 м ниже ледника № 1.

Образцы льда отбирались из шурфов, вырубленных во льду, стенки которых зачищались. Образцы отбирались в тройные полиэтиленовые пакеты, растапливались и переливались в стерильные контейнеры. Также были отобраны образцы воды ручьев, вытекающих из ледника.

В 2012 г. исследован изотопный состав ледника Романтиков, который расположен в 6 км к западу-юго-западу от горы Рай-Из. Это небольшой карово-присклоновый ледник, залегающий на юго-восточном склоне кара в диапазоне высот от 700 м над ур. м. (приледниковое озеро) до 1000 м над ур. м. (гребень кара). В плане имеет округлую форму с диаметром, близким к 450 м, площадь 0,16 км². В последние годы летом из-за интенсивного таяния у основания ледника образуется небольшое озеро.

В образцах снега, льда и воды выполнены определения микроэлементного состава методом атомно-абсорбционной спектроскопии в Почвенном институте им. В.В. Докучаева, изотопного состава кислорода и водорода в изотопных лабораториях Хельсинкского университета и научно-исследовательского центра Арсенал в г. Вена. Изотопные определения в образцах льда ледника Романтиков выполнены в Изотопной лаборатории географического ф-та МГУ на масс-спектрометре «Delta V» методом изотопного уравнивания с использованием комплекса газ-бенч и автосамплера. Точность измерений составила $\pm 0,1\%$ по $\delta^{18}\text{O}$ и $\pm 1,5\%$ по $\delta^2\text{H}$. При измерении $\delta^{18}\text{O}$ анализируемые образцы воды уравнивались с CO_2 в течение 24 ч, при измерении $\delta^2\text{H}$ образцы воды уравнивались с H_2 в присутствии платинового катализатора в течение 40 мин.

Для калибровки измерений использовались международные стандарты: V-SMOW, GISP, SLAP.

Результаты и обсуждение

Снежники. Изотопный состав снега в июне 1999 г. характеризовался значениями $\delta^{18}\text{O}$ от $-20,7\%$ до $-17,4\%$ (рис. 1, А). Наиболее высокое значение характерно для горизонта глубинной изморози, что в целом ожидаемо для горизонта, где активно протекают процессы снежного метаморфизма [Friedman et al., 1991]. Зимний снег 2003 г. в этой же точке характеризовался значениями $\delta^{18}\text{O}$ от $-27,2\%$ до $-19,6\%$ (рис. 1, Б), $\delta^2\text{H}$ – от -198% до $-139,7\%$, при этом также отмечено утяжеление изотопного состава с глубиной. В этом случае, скорее всего, в снежной пачке представлено сезонное накопление снега от начала к середине зимы. Получены довольно высокие значения дейтериевого эксцесса (*d-excess*) – от 14,3 до 19‰. При этом по глубине значения дейтериевого эксцесса распределяются в противофазе со значениями $\delta^{18}\text{O}$ (рис. 1, В).

Соотношение $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$, полученное для зимнего свежеснежного Полярного Урала, имеет наклон меньше 8 (рис. 2, А) и описывается уравнением $\delta^2\text{H} = 7,56 \delta^{18}\text{O} + 7,16$. Это соотношение можно условно принять за Локальную линию метеорных вод для зимних осадков.

Зачастую концентрации макро- и микроэлементов в снежном покрове используются как дополнительные маркеры процессов перемещения водяного пара внутри снежного покрова при метаморфизме и воды при частичном таянии снега [Taylor et al., 2001].

Абсолютные величины содержания микроэлементов в снеге Полярного Урала малы, часто их значения находятся на уровне точности метода атомной абсорбции или на пределе обнаружения [Чижова, 2006].

Кобальт и стронций характеризуются более заметной концентрацией в снежной толще Полярного Урала весной 1999 г. (рис. 3).

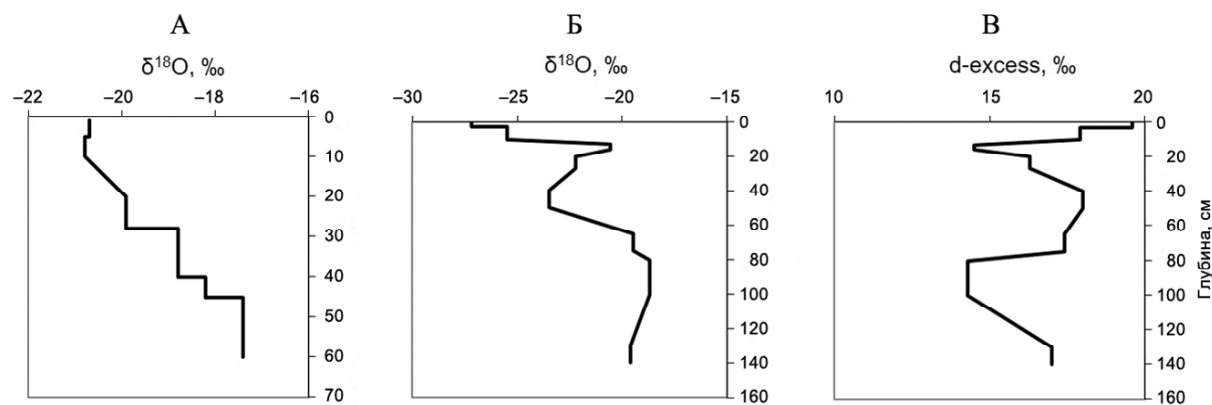


Рис. 1. Изотопный состав снежника Полярного Урала, изученного в 1999 г., (А); снежного покрова 2003 г. (Б) вблизи пос. Полярный и распределение дейтериевого эксцесса по глубине в снежном покрове 2003 г. (В)

Fig. 1. Isotopic composition of a snow-patch investigated in the Polar Urals in 1999 (А) and the 2003 snow cover (Б) in the vicinity of the Polyarny settlement; the vertical profile of the d-excess in the 2003 snow cover (В)

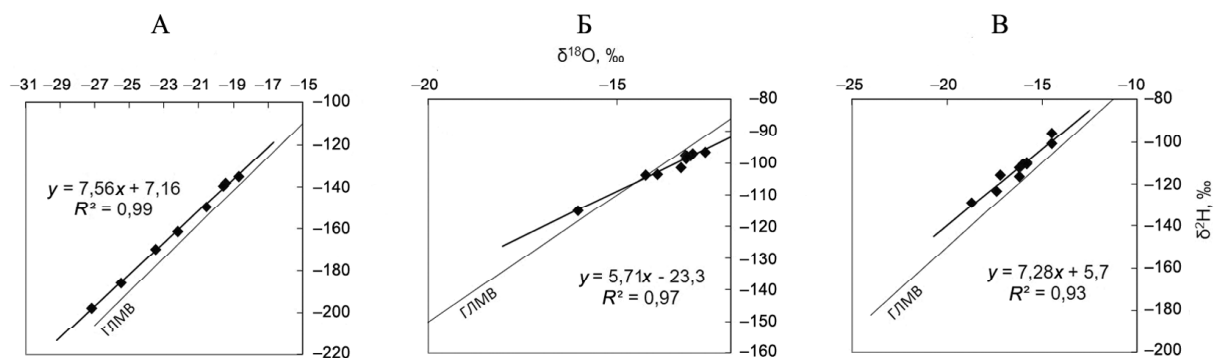


Рис. 2. Соотношение $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ для снежного покрова 2003 г. (А), ледника № 1 (Б) и ледника Романтиков (В)

Fig. 2. $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ ratios for the 2003 snow cover (A), small glacier № 1 (Б), and the Romantics glacier (В)

Средние значения рН в талом снеге 1999 г. варьируют от 4,9 до 6,6. Эти значения являются фоновыми для атмосферных вод в целом. Для первого снежника характерны однородные значения рН, во втором – диапазон значений рН достаточно велик – от 4,8 до 6,4, так же, как и в снежнике № 3 – от 4,7 до 6,6.

Содержание почти всех микроэлементов в зимнем снежном покрове, исследованном в 2003 г., ниже предела обнаружения. При этом значительные концентрации стронция, достигающие 0,2 мг/л (рис. 3, Г), отмечены в двух верхних горизонтах рыхлого мелкозернистого снега и в нижнем горизонте среднезернистого метаморфизованного снега. Подобные концентрации стронция, превышающие 0,1 мг/л, весьма необычны для снега.

Здесь также отмечено изменение значений $\delta^{18}\text{O}$ и $d\text{-excess}$ в противофазе (рис. 4). В этом случае значения $d\text{-excess}$, являясь исключениями, связаны с изменившимся соотношением $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ во льду, а не диагностируют процесс образования влаги в источнике пара или фракционирования при конденсации [Jouzel, Merlivat, 1984]. Относительно низкие значения дейтериевого эксцесса (по сравнению, например, со снежным покровом) отражают уменьшение наклона линии $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ для льда ледника 1 (см. рис. 2, Б). Наклон меньше 8 характерен для процессов замерзания свободной жидкой воды [Lacelle, 2011].

Ледники. Значения $\delta^{18}\text{O}$ во льду присклонового малого ледника № 1 варьируют от –12,6 до –16,03‰, $\delta^2\text{H}$ – от –96,7 до –115,1‰. Примечательно, что значения дейтериевого эксцесса достаточно низки, в среднем они составляют 6–7‰, самое высокое значение $d\text{-excess}$ – 13,1‰ – отмечено в горизонте темного льда у ручья, самое низкое – –4,7‰ – во льду на глубине 25–30 см. Здесь также отмечено изменение значений $\delta^{18}\text{O}$ и $d\text{-excess}$ в противофазе (рис. 4). В этом случае значения $d\text{-excess}$, являясь исключениями, связаны с изменившимся соотношением $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ во льду, а не диагностируют процесс образования влаги в источнике пара или фракционирования при конденсации [Jouzel, Merlivat, 1984]. Относительно низкие значения дейтериевого эксцесса (по сравнению, например, со снежным покровом) отражают уменьшение наклона линии $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ для льда ледника 1 (см. рис. 2, Б). Наклон меньше 8 характерен для процессов замерзания свободной жидкой воды [Lacelle, 2011].

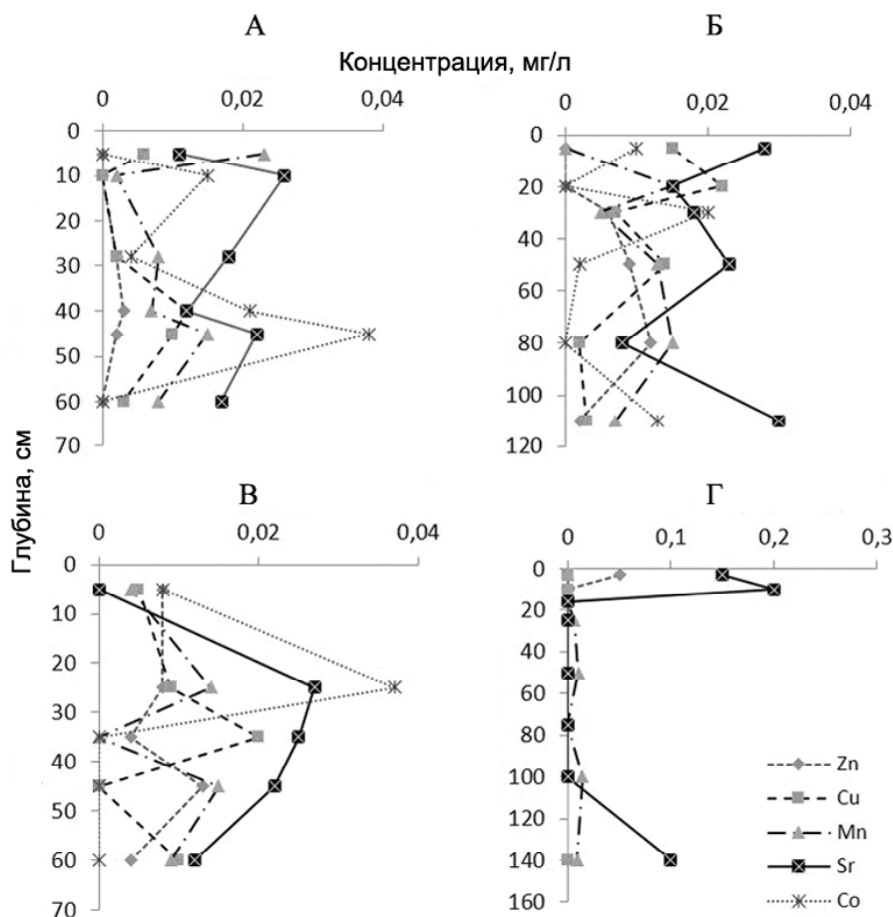


Рис. 3. Концентрации микроэлементов в снежниках и снежном покрове Полярного Урала: А – в снежнике 1999 г. у пос. Полярный, Б – на удалении 2,5 км от пос. Полярный, В – на удалении 5 км от пос. Полярный, Г – в снежном покрове 2003 г. у пос. Полярный

Fig. 3. Concentrations of trace elements in snow-patches and snow cover of the Polar Urals: А – in 1999 snow-patch near the Polyarny settlement, Б – at the distance of 2,5 km from the Polyarny settlement, В – at the distance of 5 km from the Polyarny settlement, Г – in 2003 snow cover – at the distance of 2,5 km from the Polyarny settlement

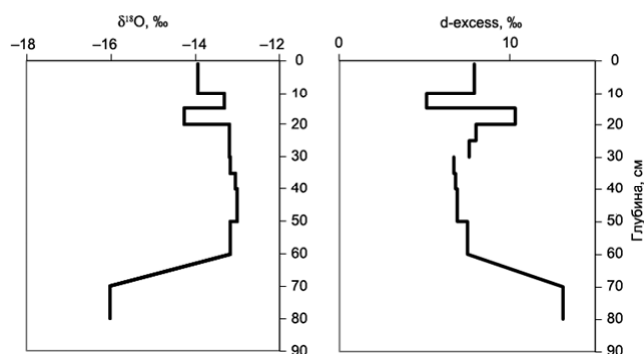


Рис. 4. Распределение по глубине значений $\delta^{18}\text{O}$ и дейтериевого эксцесса в ледниковом льду малого ледника № 1

Fig. 4. Vertical profile of $\delta^{18}\text{O}$ values and d-excess in the glacier ice of small glacier № 1

Такие присклоновые ледники представляют собой малые формы. На них невозможно выделить зоны льдообразования, так как все ледниковое тело сформировано путем заполнения пор режеляционного фирна талой водой с последующим ее замерзанием. В общем, малый ледник представляет собой фирново-ледяную зону с фрагментами наложенного льда. Замерзание этой воды формирует конжеляционный лед (то есть лед, возникший при замерзании жидкой воды), так как изотопные эффекты, связанные с процессами диффузии и миграции водяного пара, подавляются изотопными эффектами, возникающими при таянии и перемещении талой воды.

Концентрации микроэлементов малы, не превышают значений, полученных для снежного покрова: Zn – до 0,024 мг/л, Cu – до 0,006 мг/л, Mn – до 0,026 мг/л (рис. 4).

Изотопный состав присклоновых ледничков и ледника Романтиков на Полярном Урале

Полевой номер образца	Глубина отбора, см	$\delta^{18}\text{O}$, ‰	$\delta^2\text{H}$, ‰	d-excess, ‰
Малый ледник № 1				
381-YuV/1	1–10	–13,95	–103,7	7,9
381-YuV/2	10–15	–13,32	–101,5	5,1
381-YuV/3	15–20	–14,26	–103,8	10,3
381-YuV/4	20–25	–13,20	–97,6	8,0
381-YuV/5	25–30	–13,19	–97,9	7,6
381-YuV/6	25–30, ниже по склону	–12,67	–96,7	4,7
381-YuV/7	30–35	–13,18	–98,7	6,7
381-YuV/8	35–40	–13,06	–97,7	6,8
381-YuV/9	40–50	–13,00	–97,1	6,9
381-YuV/10	50–60	–13,17	–97,9	7,5
381-YuV/11	70–80	–16,03	–115,1	13,1
381-YuV/12	Вода на поверхности ледника 1	–12,12	–83,9	13,1
Малый ледник № 2				
381-YuV/13	0–10	–11,69	–88,2	5,3
381-YuV/14	10–15	–12,77	–91,3	10,9
381-YuV/15	Вода на поверхности ледника 2	–13,02	–92,4	11,8
Ледник Романтиков				
MB01	Снежник на склоне г. Черная	–15,8	–109,9	16,5
MB02	Вода из оз. у подножия г. Черная	–16,2	–112,3	17,3
LR01	Вода из приледникового озера	–16	–110,6	17,4
LR02	Лед из самой древней части ледника, с поверхности	–16,2	–116,7	12,9
LR03	Лед в 20 м от LR02, с поверхности	–15,8	–110,6	15,8
LR04	Лед в 40 м от LR03, с поверхности	–17,4	–123,5	15,7
LR05	Фирн прошлогдний	–13,4	–98,3	8,9
LR06	Снег 2012 г.	–14,5	–100,7	15,3
LR07	Лед из боковой стенки трещины (летний загрязненный слой)	–14,6	–106,9	9,9
LR08	Лед из боковой стенки трещины ледника (из чистого слоя)	–14,5	–96,0	20
LR09	Лед из боковой стенки трещины ледника (загрязненный слой)	–17,2	–115,7	21,9
LR10	Лед из боковой стенки трещины ледника (из чистого слоя)	–18,7	–129,0	20,6

Значения $\delta^{18}\text{O}$ во льду ледника Романтиков варьируют от $-13,4$ до $-18,7\text{‰}$, $\delta^2\text{H}$ – от $-96,0$ до $-129,0\text{‰}$. Обращают на себя внимание образцы RL05 и RL07 (табл.), в которых были отмечены относительно низкие значения дейтериевого эксцесса.

Соотношение $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ для образцов ледника Романтиков описывается уравнением $y=6,29x-11,09$, угол наклона находится между значениями для снежного покрова и конжеляционного льда (фирна) ледника № 1. Если рассчитать линию регрессии по леднику Романтиков без учета образцов RL05 и RL07, то она будет выражаться уравнением $y=7,28x+5,70$, что очень близко к соотношению по снежному покрову. Образцы RL05 и RL07 представляют собой прошлогодний фирн и поверхность таяния прошлого (относительно отбора) года с явными изотопными следами замерзания талой воды в порах фирна или на поверхности ледника при образовании наложенного льда. Также привлекает внимание отсутствие зимних, изотопно более отрицательных (легких) значений во льду. На леднике Обручева получен изотопный профиль по верхним 8 метрам ледникового керна, демонстрирующий вариации $\delta^{18}\text{O}$ от -15 до -27‰ при среднем значении по разрезу $\delta^{18}\text{O} = -20\text{‰}$, и только в одном случае значение $\delta^{18}\text{O}$ достигло -12‰ на глубине 7 м [Бажев с соавт., 1973]. Полученный нами диапазон величин $\delta^{18}\text{O}$ в сезонном снеге также составляет почти 10‰ (от $-17,4$ до $-27,2\text{‰}$); меньший диапазон и более высокие изотопные значения получены по леднику Романтиков, и значительно более высокие значения $\delta^{18}\text{O}$ – по льду ледника № 1 (до $-12,6\text{‰}$). Это указывает, по нашему мнению, на то, что на леднике Романтиков конжеляционное льдообразование, то есть замерзание жидкой воды, как на поверхности (наложенный лед), так в порах фирна играет заметную роль. Известно, что замерзание талой воды в порах нерастаявшего фирна приводит к изотопному утяжелению формирующегося льда [Котляков, Гордиенко, 1982]. Дополнительным параметром, позволяющим оценить условия льдообразования, служит соотношение $\delta^2\text{H}$ – $d\text{-excess}$ [Lacelle, 2011]. Эта связь основана на отличиях коэффициентов фракционирования для молекул $^1\text{H}^2\text{H O}$ и H_2^{18}O и показывает, образо-

вался ли лед из атмосферных осадков или при замерзании жидкой воды. Известно, что коэффициенты фракционирования при переходе пар–лед и вода–лед заметно отличаются, поэтому линия атмосферных вод и линия конжеляции также различаются наклоном в осях координат $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$. В глобальном масштабе изотопные значения атмосферных осадков соответствуют линии Х. Крейга, которая выражается уравнением $\delta^2\text{H}=8 \delta^{18}\text{O}+10$. Преобразовав это соотношение $d\text{-excess}=\delta^2\text{H}-8 \delta^{18}\text{O}$ В. Дансгор [Dansgaard, 1964] предложил использовать свободный член в качестве дополнительного показателя неравновесности процессов испарения в источнике пара.

При конжеляционном льдообразовании коэффициент $\delta^2\text{H}$ к $\delta^{18}\text{O}$ составляет 7,29 по данным [Lehmann, Siegenthaler, 1991], и от 5 до 7 по данным [Lacelle, 2011]. Если изотопные значения распределены вдоль линии конжеляционного льдообразования, расчет дейтериевого эксцесса проводится относительно линии Крейга и, следовательно, заметные изменения значений $d\text{-excess}$ будут отмечены при несколько меньших изменениях значений $\delta^2\text{H}$.

Д. Ласеллем эти соотношения использованы для установления образования подземного льда в условиях закрытой системы [Lacelle, 2011] и показано, что положительный наклон или отсутствие связи говорит об атмосферной природе льда, а отрицательный наклон (то есть обратная пропорциональность) $\delta^2\text{H}$ – $d\text{-excess}$ – о процессах формирования льда из свободной воды.

Ледник Романтиков по этому критерию также занимает промежуточное положение между атмосферными осадками (снежный покров) и льдом ледника № 1 (рис. 5). Для льда ледника № 1 с учетом изотопных вариаций мы полагаем преимущественное конжеляционное льдообразование, что выражается соотношением $\delta^{18}\text{O}$ – $\delta^2\text{H}$ и отрицательным наклоном $\delta^2\text{H}$ – $d\text{-excess}$. Таким образом, можно заключить, что чем больший вклад вносит конжеляционное льдообразование, тем, с одной стороны, тяжелее будет изотопный состав ледникового льда, а с другой стороны, тем больше будет выражена про-

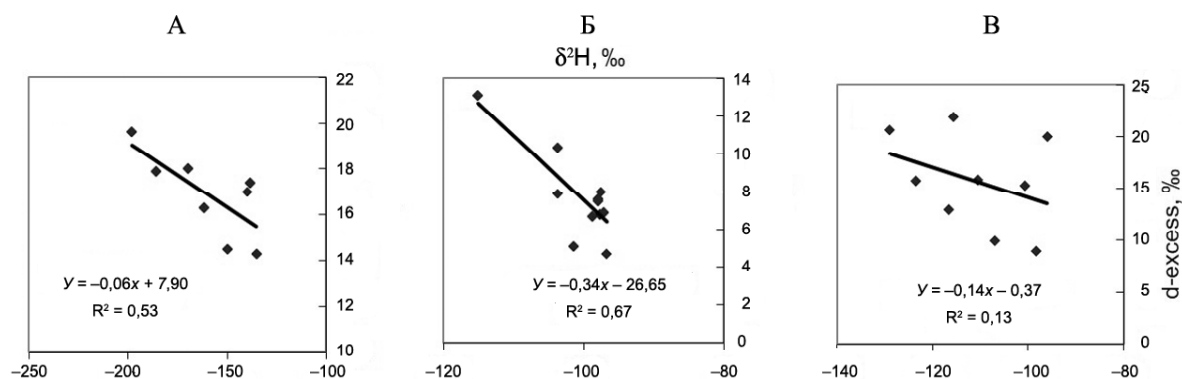


Рис. 5. Соотношение $\delta^2\text{H}$ – $d\text{-excess}$ для снежного покрова 2003 г. (А), малого ледника № 1 (Б) и ледника Романтиков (В)

Fig. 5. $\delta^2\text{H}$ – $d\text{-excess}$ ratios for the 2003 snow cover (A), small glacier № 1 (Б), and the Romantics glacier (B)

тивофазная динамика изменения значений дейтериевого эксцесса относительно значений $\delta^2\text{H}$.

На относительно крупных каровых ледниках Полярного Урала, четко дифференцированных на области аккумуляции и абляции, обычно существуют 3 зоны льдообразования: теплая фирновая, фирново-ледяная и ледяная. К концу периода абляции остаток от периода аккумуляции состоит из трех основных компонентов: режеляционного фирна, инфильтрационного и инфильтрационно-конжеляционного льда. Эти типы льда по мере их движения вглубь и вниз по леднику подвергаются воздействию различных факторов термо- и динамометаморфизма. Исследования макроструктурных особенностей льда в трех точках области абляции ледника ИГАН [Куинджи, 1970] показали, что верхняя часть области абляции сложена инфильтрационным льдом, образовавшимся в нижней части области питания (фирново-ледяная зона) путем заполнения пор режеляционного фирна талой водой с последующим ее замерзанием. Лед, отобранный в центральной части области абляции, образуется из режеляционного фирна в центральной части области аккумуляции (теплая фирновая зона) путем инфильтрационного уплотнения и паратектонической перекристаллизации. А формирование льда, выходящего на дневную поверхность в концевой части ледника, протекает в глубинных частях ледника, возможно, вблизи его ложа, с участием процессов режеляционного метаморфизма трения по зонам надвигов, путем плавления льда и последующего его быстрого замерзания, изменяющих первоначальную текстуру и структуру льда. На многих ледниках Полярного Урала четкого разделения на зоны льдообразования не наблюдается. На присклоновых ледниках бывают представлены лишь фирново-ледяная и ледяная зоны или на весь ледник распространяется область абляции. Таким образом, для ледников Полярного Урала относительно большее значение имеют размеры ледника, а не высотное расположение, то есть чем крупнее ледник, тем вероятнее наличие нескольких зон льдообразования и большего сохранения начального изотопного сигнала.

Также пока нет оснований предполагать существование высотного изотопного эффекта для ледников Полярного Урала во многом из-за того, что почти все ледники существуют за счет метелевого отложения и перевеивания снега. Несмотря на то, что довольно небольшой ледник Романтиков находится на больших абсолютных высотах по сравнению с областью абляции крупного ледника Обручева (ниже 530 м), в его льду меньше сохранились сезонные вариации и зафиксирован меньший диапазон значений $\delta^{18}\text{O}$. Как правило, для арктических

ледников, расположенных на высотах менее 1000 м, не характерно наличие высотной изотопной зональности. Так, например, для ледниковых плато Ломоносова и Фритьоф (Зап. Шпицберген) были получены одинаковые диапазоны вариаций значений $\delta^{18}\text{O}$ в ледяных кернах (от -8 до -16‰), при этом высота положения ледяных плато различается более чем на 500 м, а в керне ледника Академии Наук (Северная Земля), самая верхняя точка которого расположена на 200 м ниже абсолютных высот плато Ломоносова, получены заметно отрицательные значения $\delta^{18}\text{O}$ (до -23‰) [Котляков, Гордиенко, 1982; Kotlyakov et al., 2003]. Поэтому мы полагаем, что полученные изотопные вариации ледников Полярного Урала отражают степень сохранения первичных значений и связаны в большей степени с таянием в период абляции, чем с различиями в накоплении снега в период аккумуляции.

Выводы:

– для снежной толщи Полярного Урала характерны активные процессы метаморфизма снега, о чем можно судить по наличию горизонтов разрыхления и глубинной изморози в разрезе. В июне таяние наиболее активно и нижние горизонты снежной толщи промочены талой водой или полностью состоят из воды. Сезонный снежный покров характеризуется значениями $\delta^{18}\text{O}$ от $-17,4$ (в июне) до $-27,2\text{‰}$ (в декабре);

– полученные изотопные данные показали, что ледники Полярного Урала в зависимости от размеров и типа льдообразования имеют разную степень изменения первоначального изотопного состава твердых осадков. Изотопный состав льда на малых присклоновых ледниках имеет высокие значения (он наиболее тяжелый), а диапазон вариаций наименьший ($\delta^{18}\text{O} =$ от $-12,6$ до $-16,03\text{‰}$). На более крупном леднике Романтиков диапазон значений $\delta^{18}\text{O}$ увеличивается, а средний изотопный состав льда становится легче ($\delta^{18}\text{O} =$ от $-13,4$ до $-18,7\text{‰}$). Это связано с долей льда, формировавшегося при замерзании жидкой воды – чем большее значение имеет замерзание воды в порах фирна, тем более тяжелым будет состав льда. Это также фиксируется соотношением $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ во льду: уменьшение угла наклона линии регрессии $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$ указывает на увеличение доли конжеляционного льдообразования;

– абсолютная высота расположения ледников на Полярном Урале, видимо, играет не такую заметную роль в формировании изотопного состава, как размеры ледников. Для ледников Полярного Урала чем крупнее ледник, тем вероятнее наличие нескольких зон льдообразования и большего сохранения начального изотопного сигнала.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00083-П).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бажев А.Б., Гордиенко Ф.Г., Загороднов В.С. Предварительные результаты изотопных исследований с ледника Обручева (Полярный Урал) // Мат-лы гляциологических исследований. 1973. Вып. 21. С. 198–202.
- Васильчук Ю.К., Котляков В.М. Основы изотопной геокриологии и гляциологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 616 с.
- Иванов М.Н. Эволюция оледенения Полярного Урала за последнее тысячелетие. Автореф. дис. ... канд. геогр. н., М., 2012. 24 с.
- Котляков В.М., Гордиенко Ф.Г. Изотопная и геохимическая гляциология. М.: Гидрометеиздат, 1982. 287 с.
- Куинджи В.Б. Некоторые особенности структуры льда каровых ледников Полярного Урала // Мат-лы гляциологических исследований. 1970. Вып. 16. С. 272–278.
- Чижов О.П. Оледенение Северной полярной области. М.: Наука, 1976. 240 с.
- Чижова Ю.Н. Изотопно-геохимические особенности снежного покрова и ледникового льда в разных гляциологических условиях Приэльбрусья, Полярного Урала и Хибин. Дис. ... канд. геогр. н. М.: МГУ, 2006. 178 с.
- Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // Tellus. 1964. V. 16. № 4. P. 436–468.
- Friedman I., Benson C., Gleason J. Isotopic changes during snow metamorphism // Stable isotope Geochemistry: a tribute to Samuel Epstein. The Geochemical Society, Special Publication. 1991. № 3. P. 211–221.
- Jouzel J., Merlivat L. Deuterium and oxygen 18 in precipitation: modeling of the isotopic effects during snow formation // J. Geophysical Res. 1984. V. 89. № 7. P. 11 749–11 757.
- Lacelle D. On the $\delta^{18}\text{O}$, δD and d-excess relations in meteoric precipitation and during equilibrium freezing: Theoretical approach and field examples // Permafrost and Periglacial Processes. 2011. V. 22. № 1. P. 13–25.
- Lehmann M., Siegenthaler U. Equilibrium oxygen- and hydrogen-isotope fractionation between ice and water // J. Glaciology. 1991. V. 37. № 125. P. 23–26.
- Kotlyakov V.M., Arkhipov S.M., Henderson K.A., Nagornov O.V. Deep drilling of glaciers in Eurasian Arctic as a source of paleoclimatic records // Quaternary Science Reviews. 2004. V. 23. № 11–13. P. 1371–1390.
- Solomina O.N., Ivanov M., Bradwell T. Lichenometric studies on moraines in the Polar Urals // Geografiska Annaler, Series A, Physical Geography. 2010. V. 92. № 1. P. 81–99.
- Taylor S., Feng X., Kirchner J.W., Osterhuber R., Klaue B., Renshaw C.E. Isotopic evolution of a seasonal snowpack and its melt // Water Resource Research. 2001. V. 37. № 3. P. 759–776.

Поступила в редакцию 23.06.2016
Принята к публикации 13.09.2017

Yu.K. Vasil'chuk¹, Ju.N. Chizhova², N.A. Budantseva³,
A.C. Vasil'chuk⁴, G.E. Oblogov⁵

STABLE ISOTOPE COMPOSITION OF SNOW-PATCHES AND GLACIERS IN THE POLAR URALS

Modern glaciers of the Polar Urals are small and usually located 1000 m below the climatic snow line, rarely descending below 400–500 m above sea level. Glaciers are formed by blowing the snow from surrounding slopes and their internal accumulated cold, which contributes to the formation of superimposed ice. The isotope composition of snowfields and glaciers of the Polar Urals was studied (a small glacier on the Paipudynsky ridge and the Romantics glacier); changes in the initial isotopic characteristics during ice formation are discussed.

Key words: snow, glacier ice, stable isotopes of oxygen and hydrogen, *d-excess*.

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-27-00083-II).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Geology and Mineralogy; *e-mail*: vasilch_geo@mail.ru

² Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail*: eacentr@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Senior Scientific Researcher, PhD. in Geography; *e-mail*: nadin.budantseva@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of the Ecology of the North, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; *e-mail*: alla-vasilch@yandex.ru

⁵ Institute of the Earth Cryosphere, Siberian Branch of the RAS, Scientific Researcher, PhD. in Geology and Mineralogy; *e-mail*: oblogov@mail.ru

REFERENCES

- Bazhev A.B., Gordienko F.G., Zagorodnov V.S. Predvaritel'nye rezul'taty izotopnyh issledovanij s lednika Obrucheva (Polyarnyj Ural) [Preliminary results of isotopic investigations of the Obruchev Glacier (the Polar Urals)] // *Ma-ly glyaciologicheskikh issledovanij*. 1973. Vyp. 21. S. 198–202 (in Russian).
- Chizhov O.P. Oledenenie Severnoj polyarnoj oblasti [Glaciation of the Arctic region]. M.: Nauka, 1976. 240 s. (in Russian).
- Chizhova Ju.N. Izotopno-geohimicheskie osobennosti snezhnogo pokrova i lednikovogo l'da v raznyh glyaciologicheskikh usloviyah Priehl'brus'ya, Polyarnogo Urala i Hibin. [Isotopic-geochemical features of snow cover and glacier ice under different glaciological conditions of the Elbrus mountain region, the Polar Urals and the Khibiny mountains]. Dis. ... kand. geogr. n. M.: MGU, 2006. 178 s. (in Russian).
- Dansgaard W. Stable isotopes in precipitation // *Tellus*. 1964. V. 16. № 4. P. 436–468.
- Friedman I., Benson C., Gleason J. Isotopic changes during snow metamorphism. Stable isotope Geochemistry: a tribute to Samuel Epstein // *The Geochemical Society, Special Publication*. 1991. P. 211–221.
- Ivanov M.N. Evolyuciya oledeneniya Polyarnogo Urala za poslednee tysyacheletie [Evolution of glaciation of the Polar Urals during the recent millennia]. Avtoref. ... kand. geogr. n. M., 2012. 24 s. (in Russian).
- Jouzel J., Merlivat L. Deuterium and oxygen 18 in precipitation: modeling of the isotopic effects during snow formation // *J. Geophysical Res.* 1984. V. 89, № 7. P. 11 749–11 757.
- Kotlyakov V.M., Arkhipov S.M., Henderson K.A., Nagornov O.V. Deep drilling of glaciers in Eurasian Arctic as a source of paleoclimatic records // *Quaternary Science Reviews*. 2004. V. 23. № 11–13. P. 1371–1390.
- Kotlyakov V.M., Gordienko F.G. Izotopnaya i geohimicheskaya glyaciologiya [Isotope and geochemical glaciology]. M.: Gidrometeoizdat, 1982. 287 p. (in Russian).
- Kuindzhi V.B. Nekotorye osobennosti struktury l'da karovyh lednikov Polyarnogo Urala. [Specific features of ice structure in cirque glaciers of the Polar Urals] // *Mat-ly glyaciologicheskikh issledovanij*. 1970. № 16. P. 272–278 (in Russian).
- Lacelle D. On the $\delta^{18}\text{O}$, δD and d-excess relations in meteoric precipitation and during equilibrium freezing: Theoretical approach and field examples // *Permafrost and Periglacial Processes*. 2011. V. 2. № 1. P. 13–25.
- Lehmann M., Siegenthaler U. Equilibrium oxygen- and hydrogen-isotope fractionation between ice and water // *J. Glaciology*. 1991. V. 37. № 125. P. 23–26.
- Solomina O.N., Ivanov M., Bradwell T. Lichenometric studies on moraines in the Polar Urals // *Geografiska Annaler. Ser. A, Physical Geography*. 2010. V. 92. № 1. P. 81–99.
- Taylor S., Feng X., Kirchner J.W., Osterhuber R., Klaue B., Renshaw C.E. Isotopic evolution of a seasonal snowpack and its melt // *Water Resource Research*. 2001. V. 37. № 3. P. 759–776.
- Vasil'chuk Yu.K., Kotlyakov V.M. Osnovy izotopnoj geokriologii i glyaciologii [Principles of Isotope Geocryology and Glaciology]. Moscow University Press. 2000. 616 p.

Received 23.06.2016

Accepted 13.09.2017

УДК [551.583+556.16+556.535+556.18](282.247.42)

Д.В. Магрицкий¹, В.М. Евстигнеев², Н.М. Юмина³, П.А. Торопов⁴, А.Ж. Кенжебаева⁵, Г.С. Ермакова⁶**ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА В БАССЕЙНЕ р. УРАЛ**

Представлены результаты изучения аспектов и анализа причин пространственно-временных изменений стока р. Урал и его главных притоков. Основное внимание уделено выявлению закономерностей и тенденций в многолетних колебаниях годового стока и элементов водного режима рек, климатических и антропогенных причин этой изменчивости, выделению и анализу характерных гидрологических периодов. Оценены естественные и фактические водные ресурсы реки и ее сток в море. Изучена структура антропогенной нагрузки на водные ресурсы рек бассейна, приведены сведения об изменении ее размера в ближайшем будущем. Составлен прогноз изменения годового и весеннего стока р. Урал и его основных притоков на середину XXI в.

Ключевые слова: водный режим, многолетняя изменчивость, параметры распределения, водохозяйственная деятельность, климатические изменения, прогноз.

Введение. Река Урал – третья по протяженности водная артерия Европы, уступающая лишь Волге и Дунаю. Река протекает по территории Российской Федерации (РФ) и Республики Казахстан (РК) (рис. 1) и относится к категории трансграничных водных объектов, со всеми вытекающими из этого статуса проблемами при совместном использовании водных ресурсов. В РК река носит название Жайык. Длина реки 2428 км; площадь бассейна 237 тыс. км² (по некоторым источникам – 231 тыс. км²), а вместе с бессточным бассейном Урало-Эмбинского междуречья – около 380–400 тыс. км² [Ресурсы ..., 1970]. В бассейне проживает, по оценкам авторов и на уровень 2015 г., ~3,95 млн чел., размещены такие крупные промышленные центры, как Магнитогорск, Новоуральск, Орск, Оренбург, Уральск, Атырау и Актобе, много предприятий обрабатывающей и добывающей промышленности, масштабное сельскохозяйственное производство и 360 тыс. га орошаемых земель. Значительная часть бассейна относится к районам с недостаточным и крайне недостаточным увлажнением. Одновременно саму р. Урал отличает одна из самых высоких среди больших рек мира внутри- и межгодовая изменчивость стока. В результате в бассейне, особенно в его средней и южной частях, потребности населения и участников водохозяйственного комплекса в пресной и чистой воде нередко превышают водно-ресурсные возможности реки и ее притоков.

Несмотря на особенное положение бассейна р. Урал на территории России и Казахстана, чрезвычайно важную социально-экономическую и экологическую роль его водных объектов и ресурсов, существующий и усугубляющийся дефицит в воде,

комплексных исследований текущей гидрологической ситуации, факторов стока, их многолетней изменчивости в настоящее время и ожидаемых изменений в будущем и соответственно актуализированных и достоверных оценок характеристик стока неоправданно мало, отдельные вопросы не рассмотрены вовсе. Недавние исследования авторов в отношении всего спектра обозначенных проблем – от прошлой и текущей ситуации с речным стоком до изменений его в будущем, понимания причин этой изменчивости – позволили получить новые научно-прикладные результаты, относящиеся к бассейну в целом и к его части в пределах Казахстана.

Материалы и методы исследования. Для достижения задач исследования привлекались, в первую очередь, данные гидрометеорологического и водохозяйственного мониторинга. Сведения по средним суточным, месячным и годовым расходам воды, по характерным расходам и датам их наблюдения были отобраны за весь период наблюдений (вплоть до 2014 г.) по 13-ти гидрологическим постам (г/п), обустроенным как на самой р. Урал, так и на ее основных притоках (рис. 1). Главные из них – это посты в г. Верхнеуральск (с 1936 г.; № 8 на рис. 1), с. Кизильское (с 1926 г.; № 7), пос. Березовский (с 1948 г.; № 6), г. Оренбург (с 1927 г.; № 5), с. Кушум (с 1912 г.; № 4), пос. Тополи (с 1936 по 1972 г.; № 3), пос. Махамбет (с 1972 г.; № 2) и г. Атырау (с 1950 г.; № 1) на р. Урал, с. Истемес (с 1956 г.; № 11) на р. Ор, с. Каргала (с 1920 г.; № 10) на р. Сакмара, пос. Веселый № 1 (с 1951 г.; № 9) на р. Илек. Источником данных стали соответствующие справочные издания [Гидрологический ..., 1948–1982; Государственный ..., 1984–2016; Госу-

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор; e-mail: v-m.evstigneev@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. преподаватель, канд. геогр. н.; e-mail: yuminanm@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: tormet@inbox.ru

⁵ Филиал ТОО «Институт географии» (г. Астана, Республика Казахстан), мл науч. с.; e-mail: aiymgul_92@bk.ru

⁶ Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, науч. с.; e-mail: ermakova_gs@mail.ru

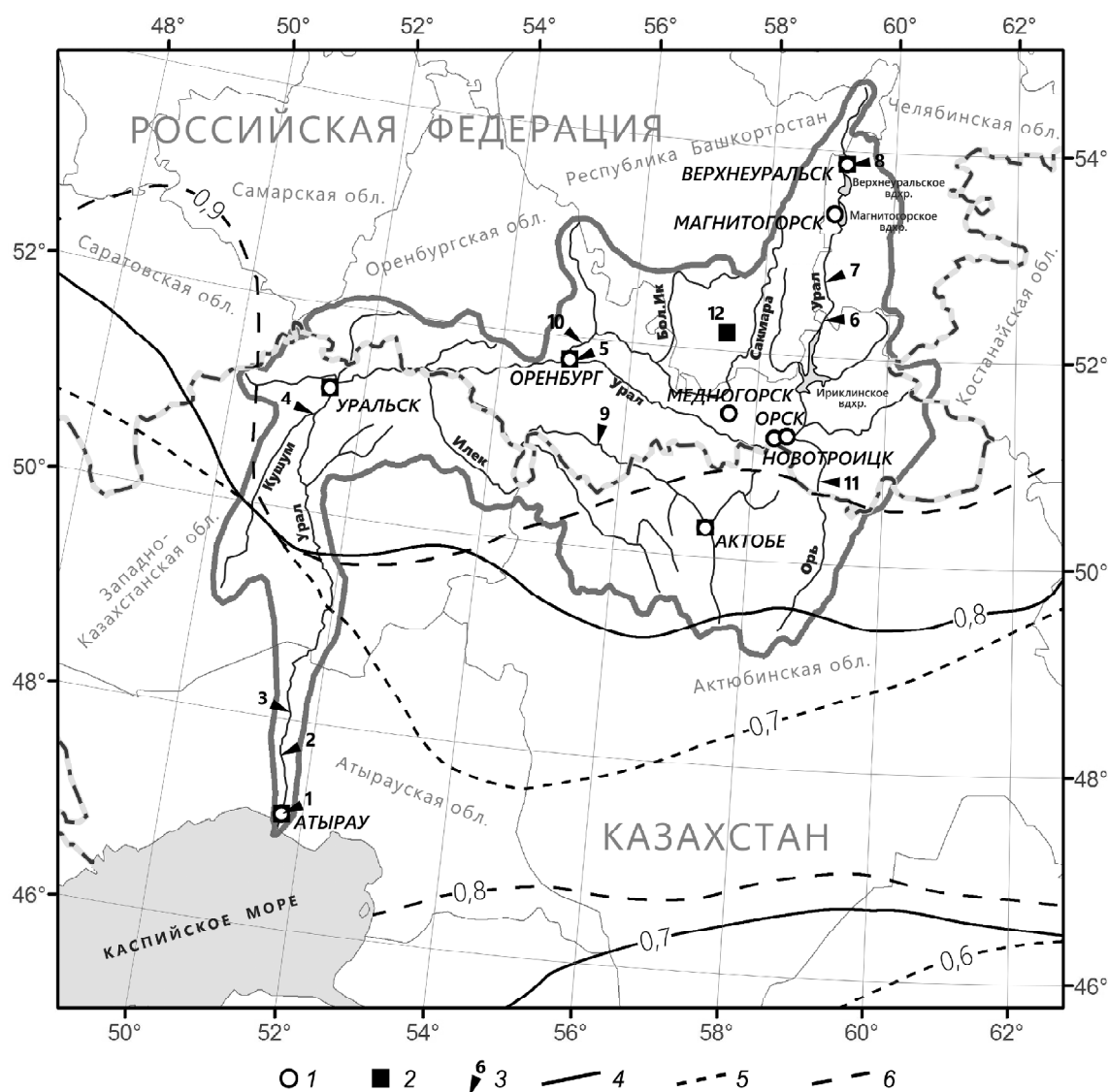


Рис. 1. Бассейн р. Урал и изменения годового стока рек к середине XXI в. Обозначения: 1 – крупные города и промышленные центры, 2 – метеорологические станции, 3 – гидрологические посты (нумерация постов разъяснена в тексте); изолинии величин слоя годового стока в 2046–2065 гг. по отношению к стоку за 1961–1989 гг., соответствующие: 4 – средним условиям, 5 – нижнему пределу доверительного интервала, 6 – верхнему пределу доверительного интервала

Fig. 1. The Ural River basin and the changes of annual river runoff by the middle of the 21st century. 1 – large cities and industrial centers, 2 – meteorological stations, 3 – hydrological stations (numeration of the stations is clarified in the text); isolines of the annual runoff depth in 2046–2065 in relation to the runoff depth over the period of 1961–1989, corresponding to: 4 – average conditions, 5 – lower limit of confidence interval, 6 – upper limit of confidence interval

дарственный ..., 1984–1997; Государственный ..., 2000–2016]. Ежегодные данные по искусственным заборам и сбросам речных и подземных вод, антропогенным изменениям речного стока и другим аспектам водохозяйственной деятельности получены из литературных источников [Государственный ..., 1984–2016; Государственный ..., 1984–1997; Государственный ..., 1981–2014; Демин, 2011].

Анализ многолетней изменчивости сезонных и годовых величин приземной температуры воздуха и сумм атмосферных осадков проводился с привлечением данных сетевых метеостанций Росгидромета, находящихся в прямом доступе на портале ВНИГМИИ МЦД [http://meteo.ru/data, 2016], а так-

же на основе результатов глобального объективного анализа данных NASA [http://data.giss.nasa.gov/gistemp, 2017]. Причем обрабатывались ряды с уже исправленными месячными суммами осадков, не содержащими главных систематических ошибок [Второй ..., 2014; http://meteo.ru/data, 2016]. Были отобраны 6 метеостанций (м/с): Верхнеуральск, Зилаир (№ 12 на рис. 1), Оренбург, Актобе, Уральск и Атырау. Метеостанции равномерно распределены по территории бассейна, включая зону формирования речного стока; расположены на высотах от –23 м (м/с Атырау) до 522 м (м/с Зилаир); среднее расстояние между ними составляет 70–100 км.

Основными методами обработки и анализа исходных гидрометеорологических данных стали, во-первых, стандартные гидрологические расчеты согласно рекомендациям [СП 33-101-2003]. Во-вторых, статистические методы анализа многолетних рядов с помощью критериев Фишера (F -test) и Стьюдента (t -test), критериев Андерсена ($t(A)$) и числа серий ($t(u)$), ранговой корреляции Спирмена ($Spearman$ RCC). В-третьих, использованы водно-балансовые, интегральные, статистические и др. методы проверки многолетних рядов на нарушение условий формирования и транзита речного стока хозяйственной деятельностью. Часть статистического анализа выполнена в программах Гидрорасчеты, MS Excel и Statistica. На основе непрерывного ряда среднесуточных расходов воды на постах Кушум и Махамбет для каждого года впервые определены даты начала и окончания половодья, летне-осенней и зимней межени, объемы стока за эти сезоны ($W_{пр}$, $W_{ло}$ и W_3).

Оценки изменений речного стока в бассейне р. Урал к середине XXI в. получены с использованием методики, разработанной авторами на базе метода водного баланса и успешно апробированной для средних рек Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Подробно о самой методике, ее расчетных схемах и достоверности получаемых оценок изложено в работе В.М. Евстигнеева с соавт. [2011a, 2011b]. Следует лишь пояснить, что среднемноголетний годовой слой стока (y) оценивался по эмпирической модели вида $y=f(P_r, T_0)$, где P_r – сумма осадков за год, T_0 – сумма среднемесячных положительных температур воздуха; слой стока половодья ($h_{п}$) – по $h_{п}=f(P_3)$, где P_3 – слой осадков за период с отрицательными температурами. Коэффициент вариации годового стока рассчитывался по другой модели: $C_v=f(C_v, J)$, в которой C_v – коэффициент вариации P_r , J – индекс сухости ($J=E_0/P_r$), E_0 – испаряемость; E – испарение. Данные для обоснования расчетных зависимостей взяты из фундаментальных работ [Атлас ..., 1974; Атлас ..., 1986; Научно-прикладной ..., 1989; Водные ..., 1987], а также получены по результатам обработки данных стационарных наблюдений [<http://meteo.ru/data>, 2016] и для территории 37 административных субъектов РФ и РК, в центре которой расположен бассейн р. Урал. Для составления прогноза использованы результаты климатического моделирования на базе 12 моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) проекта CMIP3 (по сценарию эмиссии парниковых газов и аэрозолей A2) [IPCC, 2007a]. Итоговые результаты расчетов представлены в виде отношений (K_y) слоя стока в 2046–2065 гг. к стоку за 1961–1989 гг. (для средних условий, верхней (10%) и нижней (90%) границ доверительного интервала), отнесенных к узлам регулярной сетки $2 \times 2^\circ$. На их основе выполнены соответствующие картографические (рис. 1) и численные обобщения.

Результаты исследований и их обсуждение.

Антропогенное воздействие на речной сток. Очень неравномерное распределение водного сто-

ка в бассейне Урала и во времени, значительная хозяйственная освоенность и заселенность территории потребовали реализации в течение XX в. целого комплекса водохозяйственных мероприятий. Меры включали создание многочисленных прудов и водохранилищ, позволявших регулировать речной сток, формировать запасы пресных вод и выполнять ряд других важных функций, сооружение большого числа водозаборов и водосбросных сооружений, каналов и обширной мелиоративной сети. Согласно [Каталог ..., 1988], к концу 1980-х гг. на р. Урал и его притоках функционировало свыше 90 малых, среднего размера и больших водохранилищ общей площадью и объемом 671 км² и 4,5 км³. К 2016 г., в соответствии с материалами бассейнового совета Уральского бассейнового округа, водохранилищ объемом более 1 млн м³ только в России 136. Существенно больше в бассейне прудов [Ресурсы ..., 1966, 1970]. По оценкам специалистов Института степи УрО РАН – их не менее 3100.

Самое крупное из водохранилищ – Ириклинское. Оно находится в 1810 км от моря, наполнялось с апреля 1958 г. по май 1966 г., осуществляет сезонно-многолетнее регулирование стока. Его площадь и полный объем 260 км² и 3,26 км³. Следующие по размеру водохранилища – Верхнеуральское (в 2324 км от моря, наполнялось в 1964–1966 г., сезонно-многолетнего регулирования; 75,5 км² и 601 млн м³) и Магнитогорское (в 2277 км; 1939 г.; суточного регулирования; 31,6 км² и 174–189 млн м³). Большими водохранилищами также считаются Актюбинское и Каргалинское в бассейне р. Илек. В постсоветский период новые водохранилища среднего размера построены в бассейне р. Сакмара, больших – пока ни одного. Согласно проекту «Схемы комплексного использования и охраны водных объектов в российской части бассейна р. Урал» (2010–2011 гг.), или СКИОВО, к 2020-м гг. планируется строительство новых водохранилищ, реконструкция существующих и рост объемов аккумулируемых в водохранилищах речных вод на 0,8–0,9 км³.

Создание водохранилищ сопровождалось, во-первых, разовым и безвозвратным изъятием речных вод на заполнение мертвого объема (~0,8 км³), водонасыщение берегов и дна – от ~0,02 км³ по [Вуглинский, 1991] до 0,4 км³ по [Шикломанов, Веретенникова, 1977]. Во-вторых, водохранилища ответственны за ежегодные потери речного стока на дополнительное испарение с водного зеркала и с подтопленной суши. Для Ириклинского водоема они оценены соответственно в 0,09 и 0,04 км³/год [Вуглинский, 1991]. Со всех же водохранилищ дополнительно испаряется от 0,12 до 0,2 км³ воды в год [Водные ..., 1987; Государственный ..., 1981–2014]. Общее испарение объективно выше: лишь для Ириклинского водохранилища оно равно 0,185 км³/год [Государственный ..., 1984–2016; Государственный ..., 1981–2014]; а со всех водохранилищ в бассейне – от ~0,26 км³/год на уровень 1975 г. [Шикломанов, Веретенникова, 1977] до ~0,45 км³/год, по приближенным оценкам авторов. В-третьих, регу-

лирование максимального стока водохранилищами способствует ежегодному сокращению водопотерь в нижнем бьефе в размере от 0,4 [Шикломанов, Веретенникова, 1977] до 0,14 км³/год [Пряхина, 2003]. Таким образом, негативное влияние водохранилищ на норму стока Урала в действительности не так велико, как принято думать.

Забор речных и подземных вод на нужды промышленности, теплоэнергетики, коммунального хозяйства, орошения и сельскохозяйственного водоснабжения напрямую влияет на сезонный и годовой сток рек, но к реальному его снижению приводит безвозвратное водопотребление. Заметный его рост произошел во второй половине 1950-х и в 1960-х гг. (рис. 2, Д). Он объясняется заполнением Ириклинского и Верхнеуральского водохранилищ; увеличением забора свежей воды промышленными узлами; освоением целинных земель и сопровождавшим его увеличением объемов лиманного и регулярного орошения, забора воды в Кушумский канал (начиная с 1956 г.), разрастанием существовавших и появлением новых населенных пунктов [Григорьев, 1981; Родионов, 1977]. В 1985–1990 гг. суммарный водозабор, водоотведение и безвозвратное водопотребление в бассейне Урала достигли максимальных показателей в 4,69, 2,31 и 2,38 км³/год [Государственный ..., 1981–2014]. В 1990-х гг. полное и безвозвратное водопотребление стало сокращаться и в 1999–2007 гг. составило 2,91 и 1,11 км³/год [Демин, 2011]. В российской части бассейна суммарный водозабор уменьшился с 2,8–2,9 до 2,0–2,1 км³/год, в казахской – с 1,7 до 0,7–0,9 км³/год [Государственный ..., 1981–2014; Демин, 2011]. В целом, весь комплекс антропогенных факторов, включая дополнительное испарение с водохранилищ, обеспечил уменьшение годового стока реки на 2,44 км³/год в 1985–1990 гг. (или ~20–21% условно-естественного стока ($W_{ус}$) в эти годы и на МКД) и на 1,43 км³/год в 1999–2013 гг. (~17%) (рис. 2, Д). По СКИОВО, объемы водопотребления к 2020 г. планируется увеличить в российской части примерно на 10%, по сравнению с уровнем 2010 г.

Мероприятия по преобразованию поверхности речных бассейнов – третья группа антропогенных факторов, оказывающих воздействие на речной сток, хотя и не напрямую. К ним относится вырубка лесов, мелиоративные и агротехнические мероприятия, урбанизация территории и др. Они способны как увеличивать, так и уменьшать сток рек [Шикломанов, 1979; Водные ..., 2008]. В отношении р. Урал данный вопрос исследован недостаточно; неизвестно начало периода со статистически значимой величиной этого воздействия, хотя некоторые специалисты относят его к началу – середине 1950-х гг. В [Родионов, 1977; Шикломанов, 1979] влияние агротехнических мероприятий на годовой сток Урала (его уменьшение в 1956–1972 гг.) оценено в створах с. Кушум и с. Тополи в 0,57 км³/год. В многоводные годы эта величина уменьшалась в 2 раза; к 2000 г. прогнозировалось ее удвоение.

Таким образом, хозяйственная деятельность начала заметно влиять на общий сток Урала примерно с середины 1950-х гг., на водный режим – с 1958 г. Антропогенное воздействие достигло максимальных показателей с 1973 г. по первую половину 1990-х гг. В последние 15–20 лет оно относительно установившееся, но меньшее по величине.

Многолетние изменения климатических факторов стока. Начало современного потепления в бассейне р. Урал датируется 1970-ми гг., а основное и статистически значимое приходится на окончание 1980-х – середину 1990-х гг. Раньше всего потепление проявилось в переходные календарные сезоны – весной (с 1972 г. и даже раньше) и осенью (с начала 1960-х гг.). Интенсивность потепления возрастает к средним и южным районам бассейна, испытывающим серьезный дефицит увлажнения. Сильнее всего потеплело зимой и весной. В начале XXI в. потепление сохранилось и даже усилилось в летний и осенний сезоны; лишь зимой с 2007 г. отмечена несколько противоположная тенденция. Последнюю связывают с ослаблением западного переноса воздушных масс и усилением азиатского антициклона. В летние сезоны эти процессы ведут к устойчивому росту средней сезонной температуры. В целом, на м/с Верхнеуральск сезонные температурные аномалии в 1978–1994 и 1995–2015 гг. – составили, в сравнении со стандартным базовым периодом (1961–1990 гг.), соответственно 0,2 и 0,7 °C (год), –0,4 и 0,5 °C (весна), 0,2 и 0,7 °C (лето), 0 и 1 °C (осень), 1 и 0,7 °C (зима); на м/с Оренбург – 0 и 1,1 °C, –0,6 и 1 °C, –0,2 и 1,1 °C, –0,1 и 1,1 °C, 0,9 и 1,2 °C; на м/с Уральск –0,1 и 1,1 °C, –0,4 и 1,1 °C, –0,2 и 1,2 °C, –0,1 и 0,9 °C, 1,1 и 1,2 °C. Другим подтверждением происходящих в бассейне Урала серьезных климатических изменений служит резкое увеличение с середины 1990-х гг. суммы положительных температур воздуха за холодный период (с 1 ноября по 31 марта), свидетельствующее об увеличении частоты и мощности зимних оттепелей. Данный период важен как в плане накопления снежных и водных ресурсов и последующего формирования весеннего половодья, так и пополнения запасов подземных вод, впоследствии питающих реку в летнюю межень, важен для годового стока р. Урал в целом с учетом типа его водного режима и вклада половодья в суммарный годовой объем. На м/с Оренбург отклонение суммы положительных температур в 1995–2015 гг. от условий базового периода составило +27 °C; на м/с Верхнеуральск +13,4 °C.

В отношении атмосферных осадков ситуация не такая однозначная. На рубеже 1970–1980-х гг., то есть в условиях уже фиксируемого в регионе потепления, на большинстве опорных метеостанций бассейна зафиксировано увеличение годового слоя осадков. Его определило увеличение количества осадков в летний, осенний и зимний календарные сезоны. Подобный процесс в бассейне р. Волга, обусловленный смещением к югу траекторий движения и

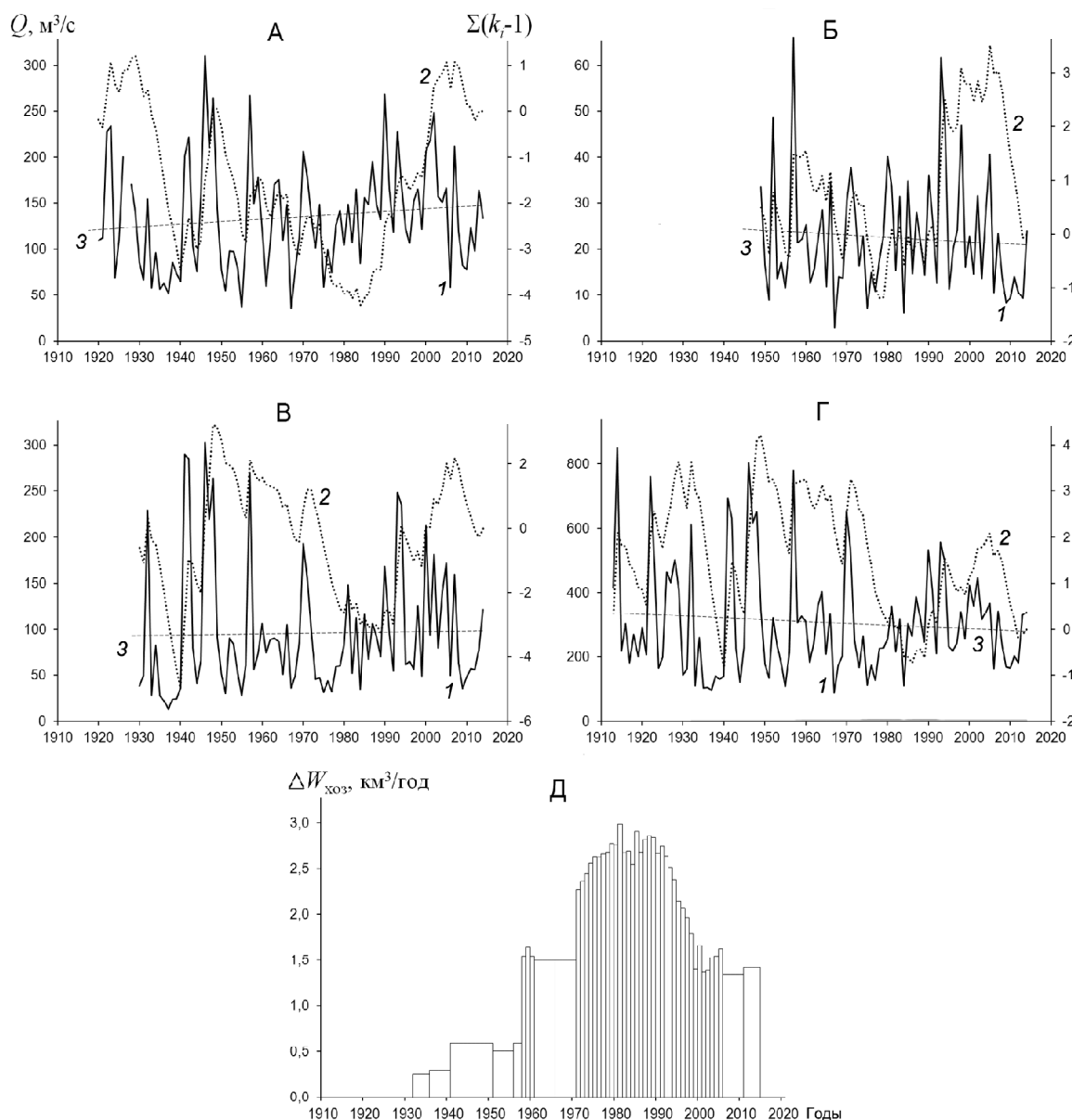


Рис. 2. Многолетние изменения годового стока рек Сакмара (А – г/п Каргала), Илек (Б – г/п Веселый № 1), Урала (В – г/п Оренбург; Г – г/п Кушум) и величины антропогенного сокращения стока р. Урал (Д – до 1970 г. из [Шикломанов, 1979]; с 1971 г. из [Демин, 2011; Государственный ..., 1984–2016] с добавлениями авторов); 1 – график среднегодовых расходов воды; 2 – разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды; 3 – линейный тренд

Fig. 2. Long-term changes of the annual runoff of the Sakmara River (A, Kargala), the Ilek River (B, Veselyi № 1), the Ural River (B, Orenburg and G, Kushum) and of the anthropogenic decrease of the Ural River runoff (D, after [Gosudarstvennyj ..., 1984–2016; Demin, 2011; Shiklomanov, 1979] with the authors' additions). 1 – graph of the average annual water discharge; 2 – difference integrated curve of the average annual water discharge; 3 – linear trend

увеличением объемов циклонических осадков атлантического происхождения [Водные ..., 2008], привел к значительному росту водности главной реки региона и последовавшему за ним (в 1978–1995 гг.) подъему уровня Каспия. В бассейне р. Урал его величина была меньше. В середине 1990-х гг. произошла смена тенденций в отношении летних и осенних сумм осадков, тогда как в зимний и весенний сезоны повышенное количество осадков сохранилось, а на отдельных метеостанциях слой осадков весеннего сезона испытал заметный рост. Сложение двух противоположных тенденций в колебаниях сезонных

сумм осадков в последние 20 лет обусловило некоторое уменьшение годового слоя осадков. На м/с Верхнеуральск аномалии слоя осадков в 1978–1994 и 1995–2010 гг. составили соответственно 8,9 и –33,3 мм (год), 0,1 и 15,3 мм (весна), 8,8 и –39,3 мм (лето), –1 и –6,3 мм (осень), 0,5 и 0,3 мм (зима); на м/с Оренбург – –0,5 и –8,3 мм, –5 и 17,7 мм, 5,4 и –10,5 мм, –4,1 и –25,7 мм, 2,5 и 11,4 мм; на м/с Зилаир – 22,9 и –88,3 мм, –3,6 и 24,2 мм, 11 и –55,5 мм, 0,5 и –68,3 мм, 12,2 и 4,8 мм. Другим следствием изменения характера колебаний слоя осадков стало уменьшение его коэффициента вариации.

Водные ресурсы р. Урал. Бассейн Урала можно разделить на области формирования и преимущественно потерь речного стока – на испарение, фильтрацию в берега, обводнение староречий, водоемов и просто степных земель. Условная граница между ними пересекает реку ниже впадения в нее р. Барбастау (775-й км). Ниже по течению Урал практически не имеет боковой приточности, и его сток постепенно уменьшается. Согласно оценкам авторов, фактический (W_{ϕ}) и условно-естественный ($W_{\text{е}}$) годовой сток воды р. Урал в начале бесприточного участка за более чем столетний период (1913–2014 гг.) равен 10,1 и ~11,1 км³/год (табл. 1). Из них ~95% поступает с территории РФ. В [Родинов, 1977] $W_{\text{е}} \approx 11,4$ км³/год, а в годы 95%-ной обеспеченности – 2,7 км³/год. В работе [Давлетгалиев, 2011] $W_{\text{е}}$ на г/п Кушум оценен в 11,23 км³/год (1940–2007 гг.), а при $p=95\%$ – $W_{\text{е}} \approx 3,72$ км³/год. Это согласуется с оценками авторов за аналогичный период. Полученные авторами W_{ϕ} и $W_{\text{е}}$ соответствуют модулю ($M_{\text{год}}$) и слою ($y_{\text{год}}$) годового стока в 1,69 и 1,86 л/с км², 53 и 59 мм. Существенно выше $M_{\text{год}}$ в горной части бассейна – в самом верхнем течении Урала (г/п Верхнеуральск – 2,88 л/с км² за 1930–2014 гг.), у правобережных полноводных притоков (г/п Каргала – 4,6 л/с км²). У небольших горных рек $M_{\text{год}}$ может превысить 6–8 л/с км² [Атлас ..., 1986; Вода ... 2000]. Минимальный сток у рек Прикаспийской низменности – порядка 0,1–0,15 л/с км². На г/п Истемес и Веселый № 1 $M_{\text{год}}$ равен 0,48 и 1,31 л/с км².

К опорному посту в с. Кушум фактический сток р. Урал уменьшается на 4%, главным образом за счет оттока части вод ($W_{\text{Куш.кан}}$) в Кушумский канал. В 1970–2014 гг., в период относительной стабилизации объемов забираемой в канал воды, $W_{\text{Куш.кан}} \approx 0,7$ км³/год. К г/п Тополи, Махамбет и Атырау W_{ϕ} уменьшается на 11,2, 15,6 и 19,5%, но

может сокращаться в отдельные годы соответственно на 20–30, 30–40 и 40–45%. В соответствие с русловым водным балансом за 1981–1985 гг. снижение W_{ϕ} на участке Кушум–Гурьев достигало ~0,59 км³/год. [Государственный ..., 1984–1997]. Из них ~0,16 км³/год приходилось на испарение (за вычетом осадков), ~0,41 км³/год – на искусственный безвозвратный забор и отток в староречья. Потери на обводнение каналов и староречий могут быть очень большими: по О.К. Тленбекову [1967], лишь на участке Тополи–Гурьев в сохранившиеся рукава (староречья) Новобагатинской дельты могло уходить около 0,47 км³/год.

Ниже г/п Атырау (ранее г. Гурьев) раскинулась современная дельта Урала, в которой, согласно водно-балансовому мониторингу и расчетам, расходуется от 0,54 [Георгиевский с соавт., 2003] до 0,40 км³ воды в год [Гидрометеорология ..., 1992]. Забор воды в дельте не превышает 0,1 км³/год. В итоге, на морском крае дельты $W_{\phi} \approx 7,79$ км³/год (или 77,1% первоначальной величины стока р. Урал), а $W_{\text{е}} \approx 9,02$ км³/год (81,3%). Рассчитанные объемы стока способствуют ежегодному приращению уровня Каспия на 2–2,5 см. В [Водные ..., 1987] W_{ϕ} и $W_{\text{е}}$ на г/п Гурьев оценены за 1915–1980 гг. в 7,8 и 10,1 км³/год, осадки в бассейне – 95 км³/год, коэффициент естественного стока – в 0,11, доля подземного питания реки – 19%. В источнике [Водные ..., 2008] $W_{\text{е}}$ уже пересчитано и принято равным 8,87 км³/год. В естественных условиях (1912–1957 гг.) потери фактического стока на участке Уральск–МКД были меньше, чем в период максимальной антропогенной нагрузки (1978–2014 гг.), и в абсолютных, и в относительных величинах.

Многолетняя изменчивость годового стока рек бассейна Урала. Годовой сток Урала и его притоков за период инструментальных измерений претерпел существенные климатически обусловленные

Таблица 1

Фактический и восстановленный годовой сток р. Урал в нижнем течении

Пост	Площадь бассейна, км ²	Расстояние от моря (вдоль русла), км		Объемы годового стока реки за характерные периоды*							
		по данным Гидрометслужбы	по космическому снимку 2016 г.	1913–2014 гг.		1930–2014 гг.		1913–1957 гг.		1978–2014 гг.	
				км ³	%	км ³	%	км ³	%	км ³	%
Выше канала Кушум	189 000	737	851	10,1	100	9,75	100	10,5	100	10,2	100
с. Кушум	190 000	732	846	9,71 (10,72±0,12)	96,1	9,30 (10,5±0,15)	95,4	10,4 (11,55±0,05)	99,0	9,50 (11,34±0,30)	93,1
пос. Тополи	229 000	200	227	8,97	88,8	8,62	88,4	9,45	90,0	9,04	88,6
пос. Махамбет	230 000	145	172	8,52	84,4	8,14	83,5	9,23	87,9	8,16	80,0
г. Атырау (Гурьев)	236 000	27	47	8,19	81,1	7,80	80,0	8,92	85,0	8,06	79,0
Морской край дельты	237 000	0	0	7,79 (9,02)	77,1	7,40 (8,85)	75,9	8,52 (8,87)	81,2	7,66 (9,65)	75,1

*В скобках – приведенные к условно-естественным условиям величины годового стока.

и антропогенные изменения, в которых прослеживается ряд важных особенностей и закономерностей (рис. 2; табл. 2). В 1930-х и особенно в конце 1950-х гг., во второй половине 1970-х – в 1980-х гг. наблюдалась заметная смена параметров и характера многолетних колебаний годового стока. Общими для рек бассейна «точками перелома» выбраны 1958 и 1978 гг., для уточнения параметров кривых обеспеченностей – только 1958 г.

С переходом от условно-естественного периода, завершившегося, по сути, в 1957 г., к периодам нарастания (1958–1977 гг.) и максимальной (с 1978 г.) водохозяйственной нагрузки произошло статистически значимое (по F -test) снижение межгодовой изменчивости характеристик стока. Оно отмечено повсеместно, включая притоки и верховья р. Урал с сохранившимся условно-естественным режимом, но в большей мере – именно на зарегулированных участках русел. Отличительная особенность колебаний стока Урала в сравнении с другими большими реками – их чрезвычайная межгодовая неравномерность. В естественных условиях коэффициент вариации (C_v) среднегодовых расходов воды ($Q_{\text{ср}}$) на постах Каргала, Кизильское, Оренбург и Кушум до-

стигал 0,57, 1,18, 1,07 и 0,69; превышение наибольшего $Q_{\text{ср}}$ над наименьшим (наиб. $Q_{\text{ср}}$ /наим. $Q_{\text{ср}}$) было 8,5, 22,2, 24 и 8,4 раз. В 1958–2014 гг. C_v уменьшился соответственно до 0,35, 0,62, 0,58 и 0,41, наиб. $Q_{\text{ср}}$ /наим. $Q_{\text{ср}}$ – до 7,6, 21, 7,8 и 7,4. К схожим выводам приходит и Н.И. Ивкина для г/п Кушум [Ивкина, 2016]. Что не совсем обычно, одновременно сократилась скоррелированность стока смежных лет, например на г/п Кизильское с 0,84 до 0,26, на г/п Каргала – с 0,51 до 0,24. Уменьшение C_v , за редким исключением, зафиксировано и у остальных характеристик стока – максимальных расходов воды ($Q_{\text{макс}}$) и объема стока половодья ($W_{\text{п}}$), минимальных расходов летне-осенней межени ($Q_{\text{минлО}}$) и минимальных расходов зимней межени ($Q_{\text{минз}}$).

Различия в изменениях объема речного стока с переходом от одного периода к следующему в немалой степени связаны с различиями в структуре и масштабах водопользования выше по течению. На зарегулированных участках Урала, на постах, замыкающих территории с масштабным водопотреблением, самым маловодным периодом был 1958–1977 гг. Но в 1978–2014 гг., несмотря на нарастание объемов водопотребления в бассейне (рис. 2, Д) и

Таблица 2

Параметры стока воды рек бассейна р. Урал в характерные периоды

Река, пост, площадь водосбора (км ²)	Период	Распределение годового стока по гидрологическим сезонам*, км ³ (%)			Объем стока за год, км ³	Отношение: наибольший $Q_{\text{сргод}}$ / наименьший $Q_{\text{сргод}}$	Средний максимальный за год $Q_{\text{м}^3/\text{с}}$	Средний минимальный зимний $Q_{\text{м}^3/\text{с}}$	Средний минимальный летне-осенний $Q_{\text{м}^3/\text{с}}$
		весна (IV–VI)	лето-осень (VII–XI)	зима (XII–III)					
р. Урал, с. Кизильское, 17 200	1931–1957	0,66 (78,8)	0,16 (18,8)	0,02 (2,4)	0,84	22,2	671	0,94	4,53
	1958–1977	0,53 (67,4)	0,20 (25,8)	0,05 (6,8)	0,79	16,4	332	2,29	5,78
	1978–2014	0,64 (65,5)	0,25 (25,4)	0,09 (9,1)	0,979	11,0	406	4,95	7,38
р. Урал, г. Оренбург, 82 300	1930–1957	2,69 (82,9)	0,42 (12,8)	0,14 (4,3)	3,25	24,0	2180	7,93	26,1
	1958–1977	1,53 (62,6)	0,51 (20,7)	0,41 (16,7)	2,45	6,1	696	19,8	28,6
	1978–2014	2,11 (66,6)	0,56 (17,7)	0,50 (15,7)	3,17	7,3	845	23,3	31,3
р. Урал, с. Кушум, 190 000	1930–1957	7,46 (78,3)	1,55 (16,2)	0,53 (5,5)	9,54	8,4	3170	34,9	82,9
	1958–1977	6,02 (70,45)	1,66 (19,4)	0,87 (10,2)	8,55	7,4	2080	60,8	95,6
	1978–2014	6,16 (64,8)	2,16 (22,7)	1,19 (12,5)	9,50	5,0	1530	86,0	117
р. Сакмара, с. Каргала, 29 600	1930–1957	2,98 (78,7)	0,54 (14,4)	0,26 (6,9)	3,78	8,5	1490	14,8	26,9
	1958–1977	2,85 (74,1)	0,65 (16,8)	0,35 (9,1)	3,85	5,8	1310	20,2	31,2
	1978–2014	3,47 (74,2)	0,75 (16,1)	0,45 (9,7)	4,70	4,6	1550	27,8	37,9
р. Ор, с. Истемес, 13 000	1958–1977	0,181 (85,7)	0,009 (4,3)	0,021 (10)	0,211	25,5	255	0,14	0,49
	1978–2014	0,164 (91,1)	0,004 (2,4)	0,012 (6,5)	0,180	142	153	0,15	0,21
р. Илек, п. Веселый 1, 17 200	1958–1977	0,50 (79,7)	0,05 (8,1)	0,08 (12,2)	0,63	12,4	543	0,24	2,56
	1978–2014	0,51 (70,4)	0,14 (18,8)	0,08 (10,8)	0,73	10,1	415	2,69	7,35

* С дискретностью в 1 месяц.

потерь на испарение, водность Урала вследствие увеличения осадков выросла. Рост обеспечили положительные тенденции в многолетнем ходе всех сезонных составляющих годового стока (табл. 2; рис. 3, А–В). Похожая ситуация наблюдалась на Сакмаре, за исключением 1958–1977 гг., водность которого, наоборот, была выше, чем в 1930–1957 гг. Кроме того, за 1930–1957 гг. многолетний ход $Q_{\text{ср}}$ р. Сакмара аппроксимируется не только положительным, как у других рек, но и статистически значимым линейным трендом. Причина отличий – отсутствие масштабной водохозяйственной деятельности на водосборе притока. На равнинных и степных реках левобережной части бассейна рост в третий период если и был, то совсем незначительный. Стационарность рядов по среднему (t -test) не нарушена, чего нельзя сказать о $Q_{\text{макс}}$ в среднем и нижнем течении Урала, о меженном стоке зимы на многих постах (табл. 2; рис. 3, А–В).

Колебания годового стока имеют циклический характер, что наглядно иллюстрируют сами графи-

ки многолетнего хода наблюдаемых расходов воды и их РИК (рис. 2, А–Г). Для фактических и восстановленных $Q_{\text{ср}}$ продолжительность значимых циклов на нижнем Урале варьирует (за 1913–2014 гг.) от 4,9 лет до 11,3 и 14,6 лет.

Водный режим и его многолетние изменения. По условиям водного режима реки бассейна р. Урал относятся к Казахстанскому типу [Ресурсы ..., 1966, 1970]. Исключение составляют лишь горные реки в северной лесной части бассейна, относящиеся к Восточно-Европейскому типу. Реки бассейна отличает крайняя неравномерность распределения стока в течение года. Основная фаза водного режима – весеннее половодье. Во время него в условно-естественный период проходило от 75 до 85% годового стока (табл. 2) и максимальные за год расходы воды. Поэтому неудивительно, что между параметрами половодья и годовым стоком в низовьях Урала обнаружены довольно тесные ($R^2 \approx 0,93$ – $0,99$ до 1958 г.) и надежные эмпирические связи вида $W_{\text{П}} = f(Q_{\text{макс}})$ и $W_{\text{год}} = f(W_{\text{П}})$, упрощавшие

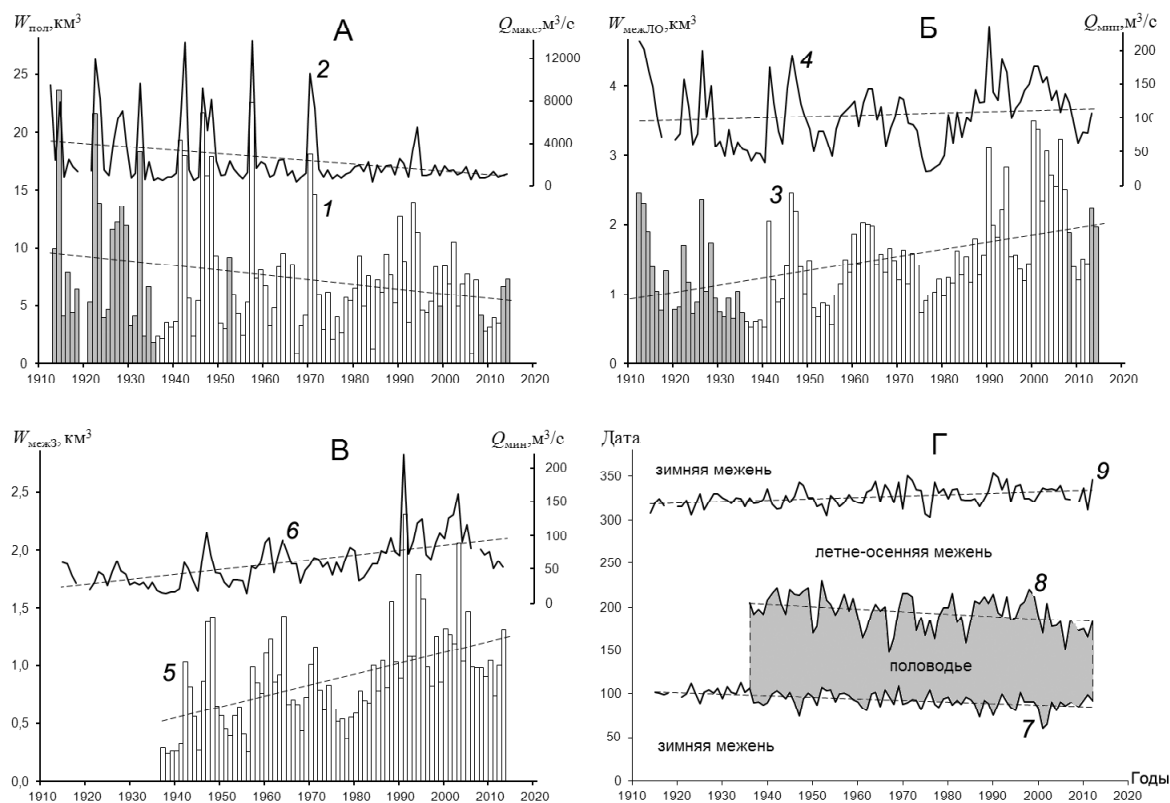


Рис. 3. Многолетние изменения элементов водного режима р. Урал (г/п Кушум) с линейными трендами. Обозначения: А – объем стока и максимальные расходы воды весеннего половодья, Б – объем стока и минимальные расходы воды летне-осенней межени, В – объем стока и минимальные расходы воды зимней межени, Г – даты начала и окончания ледовых явлений; 1 – объем стока за весеннее половодье (закрашенные столбики означают восстановленные значения), 2 – максимальные за год расходы воды, 3 – объем стока за летне-осеннюю межень, 4 – минимальные расходы воды периода открытого русла, 5 – объем стока за зимнюю межень, 6 – минимальные расходы воды зимы, 7 – дата начала половодья, 8 – дата окончания половодья, 9 – дата начала зимней межени

Fig. 3. Long-term changes of the Ural River (Kushum) water regime elements with the linear trends. А – runoff volume and maximal water discharge of spring floods, Б – runoff volume and minimal water discharge over the summer-autumn low water period, В – runoff volume and minimal water discharge over the winter low water period, Г – the dates of beginning and ending of ice phenomena; 1 – runoff volume over the spring flood (filled columns indicate reconstructed values), 2 – maximal water discharge over the year, 3 – runoff volume over the summer and autumn low water, 4 – minimal water discharge over the open riverbed period, 5 – runoff volume over the winter low water, 6 – minimal water discharge in winter, 7 – the date of flood beginning, 8 – the date of flood ending, 9 – the date of winter low water beginning

задачи их предвычисления. С завершением условно-естественного периода параметры весеннего половодья изменились (табл. 2; рис. 3, А, Г): снизилась его доля в годовом стоке – до 65–75% (за исключением р. Орь); на участках рек, испытывающих заметное антропогенное воздействие, особенно со стороны водохранилищ, уменьшились W_{Π} и $Q_{\max}$, а также высота половодья и опасность наводнений; начало и окончание половодья сместились на более ранние даты; изменились параметры кривых обеспеченностей W_{Π} и $Q_{\max}$, форма гидрографа половодья. Ниже плотины Ириклинского водохранилища волна половодья на р. Урал стала почти незаметной [Вода ..., 2000; Чибилев, 2008]. Но уже после впадения в р. Урал Сакмары влияние водохранилища на гидрограф становится менее заметным. Тем не менее, на г/п Кушум длительность подъема половодья увеличилась с 25 сут. в 1936–1957 гг. до 41 сут. в 1978–2012 гг., вершина половодья приобрела более сглаженный вид и меньшую высоту, длительность спада сократилась с 84 до 72 сут. Изменился характер связей между параметрами стока; уменьшилась их теснота. По сути, перестала существовать связь между W_{Π} и $W_{\text{ЛО}}$.

Вторая важная фаза водного режима на реках бассейна р. Урал – летне-осенняя межень с паводками, начинающаяся с окончанием половодья (в июне–июле) и завершающаяся с установлением ледостава на реках (в ноябре–декабре). На притоках Урала и в его верховьях она может прерываться значительными по высоте дождевыми паводками, которые к низовьям реки существенно расплываются и практически не нарушают гидрограф межени; а на небольших реках левобережной сухостепной части – периодами отсутствия стока. Антропогенные и климатические факторы благоприятно повлияли на параметры летне-осенней межени, увеличив $W_{\text{ЛО}}$ (в 1,3–1,6 раза и более, за исключением р. Орь), его долю в годовом стоке (варьировала от 5–20%, стала 15–25%) (табл. 2; рис. 3, Б, Г). Сама межень стала более продолжительной: на постах Кушум и Махамбет (Тополи) на 14–16 сут. Аналогичные по направленности изменения, но большие по величине, зафиксированы в отношении параметров зимней межени (третьей основной фазы водного режима), за исклю-

чением лишь одного – ее продолжительность уменьшилась на 9 сут.

Прогноз изменения речного стока на середину XXI в. Научно обоснованных прогнозов будущего изменения стока рек в бассейне р. Урал почти нет, за исключением, во-первых, прогнозных оценок на период 2006–2035 гг. в работе А.В. Линейцевой [2011], полученных по очень упрощенной и вызывающей много вопросов схеме, во-вторых, картографических обобщений на территорию России и Евразии результатов климатического и гидрологического моделирования [Водные ..., 2008; IPCC, 2007]. Согласно расчетам авторов, к середине XXI в. (2046–2065 гг.) следует ожидать общего сокращения стока рек в бассейне р. Урал, по отношению к его величине в 1961–1989 гг. (рис. 1; табл. 3). При среднем варианте развития большая часть бассейна попадает в область уменьшения стока на 10–20%, и только на южных окраинах, где рек практически нет, ожидается более серьезное его уменьшение. При наилучшем варианте годовой сток рек сократится на 5–10% в северной части бассейна и на 10–15% – в южной. При наихудшем варианте сток уменьшится более чем на 20–30% во всем бассейне. Коэффициент вариации при этом, возможно, возрастет на 5–10% у рек большей части бассейна. Но современные данные пока эту тенденцию не фиксируют. Лишь на крайнем юге, с минимальным числом рек и их отсутствием, ожидается уменьшение C_v на 10% и более. В результате, общее сокращение стока и увеличение межгодовой его изменчивости приведут к увеличению повторяемости маловодных лет, включая годы с экстремально низкой водностью.

В отличие от годового стока, картина распределения величины K_y для стока половодья более пестрая. На крайнем юге бассейна ожидается уменьшение стока половодья более чем на 50%, а на крайнем северо-востоке менее чем на 10%. В основной части бассейна $K_y=0,6–0,9$. При наилучшем варианте не отрицается даже увеличение стока весеннего половодья до 10% на северо-востоке. Вероятность прохождения высоких половодий ($p=1\%$) может вырасти в 2 раза. Результаты осреднения для бассейнов Урала и его основных притоков приведены в табл. 3.

Таблица 3

Величины относительного изменения параметров стока рек бассейна Урала на середину XXI в

Часть бассейна	Изменения нормы годового стока			Изменения C_v (mean)	Изменения годового стока $p=95\%$	Изменения слоя стока за половодье			Изменения $C_{v\text{пол}}$ (mean)	Изменения слоя стока половодья $p=1\%$
	K_y (mean)	K_y (min)	K_y (max)			K_y (mean)	K_y (min)	K_y (max)		
Урал (в целом)	0,83	0,75	0,91	1,07	0,67	0,74	0,60	0,89	1,52	1,34
Урал (российская часть бассейна)	0,83	0,75	0,91	1,09	0,64	0,84	0,69	0,99	1,77	1,50
Верховья р. Урал	0,84	0,76	0,92	1,07	0,67	0,85	0,69	1,01	1,54	1,42
р. Сакмара	0,85	0,77	0,93	1,08	0,72	0,72	0,56	0,88	2,10	1,76
р. Илек	0,82	0,75	0,90	1,10	0,63	0,76	0,60	0,93	1,48	1,04
р. Орь	0,81	0,74	0,89	1,09	0,60	0,90	0,76	1,05	1,02	0,77

Выводы:

– «водный стресс», который испытывает социально-хозяйственный комплекс бассейна р. Урал и уникальные экосистемы Урало-Каспийского региона, водохозяйственные трансграничные проблемы требуют достоверных данных по современной ситуации с речным стоком, особенностям, закономерностям и, главное, причинам изменчивости характеристик стока по территории и во времени, их актуализированных и прогнозных оценок. Несмотря на сложность многолетнего и годового режима р. Урал и его притоков, многообразие факторов, которые его регулируют, собранные данные, результаты их обработки и всестороннего анализа, инновационные методики позволили эти особенности и закономерности идентифицировать и получить необходимые гидрологические и водохозяйственные оценки;

– подтвержден тезис о значительном антропогенном воздействии на сток и режим рек бассейна Урала, особенно зарегулированных водохранилищами. На самом Урале, в отношении элементов гидрографа, – это участок между Ириклинским водохранилищем и г. Оренбург, в меньшей мере – между Верхнеуральским и Ириклинским водоемами; в отношении всего набора характеристик стока воды, включая его величину за год – это участок ниже г. Уральск, вдоль которого сток уменьшается на 20–25%. Кризисным был период с середины 1970-х по начало 1990-х гг., когда водопользование в бассейне было наиболее масштабным и охватывало от 30 до 34% речных водных ресурсов, а $\Delta W_{\text{хоз}} \sim 23\%$. ВМО это считает высокой нагрузкой на водные объекты (диапазон 20–40% [Водные ..., 2008]), тре-

бующей необходимости регулирования предложения и спроса на воду. В настоящее время антропогенная нагрузка меньше ($\Delta W_{\text{хоз}} \sim 17\%$), но по-прежнему критически высокая;

– от серьезного водного кризиса пока спасает сравнительно благоприятный климатический фон, а также уменьшение объемов водопотребления. Но к середине текущего столетия следует ожидать общего климатически обусловленного сокращения стока рек на 10–20% (в сравнении с 1961–1989 гг.) и на 20–30% при наихудшем сценарии;

– масштабные гидрологические последствия региональных климатических изменений отчетливо видны уже с конца 1970-х гг. Их маркерами выступают гидрологические процессы на реках, не охваченных масштабной водохозяйственной деятельностью; о них позволяют судить данные по условно-естественному стоку р. Урал. Помимо увеличения годового и сезонного стока воды в 1978–2014 гг., на этих реках фиксируется уменьшение межгодовой амплитуды колебаний стока и коэффициента вариации, преобразование других параметров кривых обеспеченностей;

– на участках рек, испытывающих влияние со стороны хозяйственной деятельности, воздействия климатического и антропогенных факторов, их последствия суммируются. В результате нарушается безопасность и эффективность уже действующих водохозяйственных установок и расположенных вблизи рек сооружений, поскольку она обеспечивалась решениями, заложенными с учетом тех гидрологических условий, которые существовали ранее. Стресс испытывают и природные системы.

Благодарности. Исследования выполнены за счет гранта РНФ № 14-17-00155 (водные ресурсы р. Урал, многолетняя изменчивость годового стока, водный режим и его многолетние изменения) и государственной темы кафедры гидрологии суши МГУ на 2016–2020 гг. «Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас мирового водного баланса. М. - Л.: Гидрометиздат, 1974. 65 л.
- Атлас расчетных гидрологических карт и номограмм. Л.: Гидрометиздат, 1986. 23 л.
- Вода России. Речные бассейны. Екатеринбург: АКВА-ПРЕСС, 2000. 536 с.
- Водные ресурсы России и их использование. СПб: ГГИ, 2008. 598 с.
- Водные ресурсы СССР и их использование. Л.: Гидрометиздат, 1987. 300 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1017 с.
- Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометиздат, 1991. 223 с.
- Георгиевский В.Ю., Цыценко К.В., Шалыгин А.Л. Оценка притока поверхностных вод в Каспийское море // Гидрометеорологические аспекты проблемы Каспийского моря и его бассейна. СПб.: Гидрометеороиздат, 2003. С. 217–229.
- Гидрологический ежегодник. Л.: Гидрометиздат, 1948–1982. Т. 4. Вып. 8–9.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометиздат, 1992. Т. VI. Вып. 1. 360 с.
- Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Обнинск–Самара, 1984–2016. Т. I. Вып. 24.
- Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Обнинск, Актюбинск, Алматы, 1984–1997. Т. V. Вып. 2.
- Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Алматы, 2000–2016. Ч. 1. Вып. 4.
- Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегодное издание. Л. СПб. М., 1981–2014.
- Григорьев О.М. Оценка влияния промышленно-коммунального водопотребления на сток р. Урал // Тр. ГГИ. 1981. Вып. 273. С. 45–61.
- Давлетгалиев С.К. Поверхностные водные ресурсы рек Жайык – Каспийского бассейна в границах Республики Казахстан // Гидрометеорология и экология. 2011. № 1. С. 56–65.

Демин А.П. Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки. Автореф. дис. ... докт. геогр. н. М., 2011. 51 с.

Евстигнеев В.М., Сидорова М.В., Ермакова Г.С. Водные и гидроэнергетические ресурсы в условиях глобального потепления // Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011 а. С. 243–294.

Евстигнеев В.М., Сидорова М.В., Ермакова Г.С., Кислов А.В. Изменение слоя стока весеннего половодья в условиях глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири. М.: МАКС Пресс, 2011 б. С. 295–341.

Ивкина Н.И. Изменение притока воды в Каспийское море в результате антропогенного воздействия и изменения климата на примере р. Жайык (Урал) // Гидрометеорология и экология. 2016. № 3. С. 50–55.

Каталог «Водохранилища СССР». М.: Союзводпроект, 1988. 276 с.

Линейцева А.В. Поступление стока в Республику Казахстан по реке Урал на перспективу до 2035 г. // Гидрометеорология и экология. 2011. № 2. С. 64–68.

Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Л.: Гидрометиздат, 1989. Вып. 9, 12, 13, 18, 29.

Пряхина Г.В. Оценка влияния крупных водохранилищ на сток рек в нижнем бьефе. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. СПб., 2003. 22 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометиздат, 1970. Т. 12. Вып. 2. 512 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Л.: Гидрометиздат, 1966. Т. 12. Вып. 3. 515 с.

Родионов В.З. Влияние хозяйственной деятельности на сток р. Урала // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 239. С. 109–122.

СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 74 с.

Тленбеков О.К. Гидрология устьевой области Урала. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. Алмата, 1967. 22 с.

Чибилев А.А. Бассейн Урала: история, география, экология. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 312 с.

Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометиздат, 1979. 302 с.

Шикломанов И.А., Веретенникова Г.М. Влияние водохранилищ на годовой сток рек СССР // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 237. С. 27–48.

IPCC, 2007. Climate change 2007: The physical science basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York. 996 p.

IPCC, 2007. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 104 p.

Поступила в редакцию 09.03.2017
Принята к публикации 13.09.2017

Magritsky D.V.¹, Evstigneev V.M.², Yumina N.M.³,
Tropov P.A.⁴, Kenzhebayeva A.Zh.⁵, Ermakova G.S.⁶

CHANGES OF RUNOFF IN THE URAL RIVER BASIN

The results of investigation of specific features and causes of the spatial and temporal changes of runoff of the Ural River and its main tributaries are presented. The focus is on finding the regularities and tendencies of the long-term fluctuations of annual and seasonal river runoff, climatic and anthropogenic causes of river runoff variability, as well as the determination and comprehensive analysis of characteristic hydrological periods. The natural and real water resources of the river and its discharge into the Caspian Sea are assessed. The structure of the anthropogenic load on river water resources is studied, and the information about its possible future transformation is given. The forecast of the changes in the annual and spring flood runoff parameters of the Ural River and its main tributaries by the middle of the 21st century is elaborated.

Key words: water regime, long-term variability, parameters of the distribution, water management, climatic changes, forecasting.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00155) and 2016-2020 state-financed research theme of the MSU Department of Land Hydrology (AAAA-A16-116032810054-3).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: magdima@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: v-m.evstigneev@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Senior Lecturer, PhD. in Geography; e-mail: yuminanm@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: tormet@inbox.ru

⁵ The Branch of the Institute of Geography, Astana, Kazakhstan, Junior Scientific Researcher; e-mail: aymgul_92@bk.ru

⁶ N.N. Zubov State Oceanographic Institute, Scientific Researcher; e-mail: ermakova_gs@mail.ru

REFERENCES

- Atlas mirovogo vognogo balansa [Atlas of Global Water Balance]. M. - L.: Gidrometizdat, 1974. 65 s. (in Russian).
- Atlas raschetnykh gidrologicheskikh kart i nomogramm [Atlas of rated hydrological maps and nomograms]. L.: Gidrometizdat, 1986. 23 s. (in Russian).
- Chibilev A.A. Bassejn Urala: istoriya, geografiya, ekologiya (The Ural River basin: history, geography, ecology). Ekaterinburg: UrO RAN, 2008. 312 p. (in Russian).
- Davletgaliev S.K. Poverhnostnye vodnye resursy rek Zhajyk – Kaspijskogo bassejna v granitsah Respubliki Kazahstan [Surface water resources of the Zhajyk – Caspian basin rivers within the boundaries of the Kazakhstan Republic] // Gidrometeorologiya i ekologiya. 2011. № 1. P. 56–65 (in Russian).
- Demin A.P. Ispolzovanie vodnykh resursov Rossii: sovremennoe sostoyanie i perspektivnye otsenki [Russia water resources usage: current state and perspective evaluation]. Avtoref. dis. ... dokt. geogr. n. M., 2011. 51 p. (in Russian).
- Evtigneev V.M., Sidorova M.V., Ermakova G.S. Vodnye i gidroenergeticheskie resursy v usloviyakh globalnogo potepeniya [Water and hydropower resources under the global warming] // Ekologo-geograficheskie posledstviya globalnogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri. Moskva: MAKSS Press, 2011 a. P. 243–294 (in Russian).
- Evtigneev V.M., Sidorova M.V., Ermakova G.S., Kislov A.V. Izmenenie sloya stoka vesennego polovod'ya v usloviyakh globalnogo potepeniya [The change of spring flood runoff depth under the global warming] // Ekologo-geograficheskie posledstviya globalnogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropejskoj ravnine i v Zapadnoj Sibiri. M.: MAKSS Press, 2011 b. P. 295–341 (in Russian).
- Georgievskij V.Yu., Tsytsenko K.V., Shalygin A.L. Otsenka pritoka poverhnostnykh vod v Kaspijskoe more [The assessment of surface water inflow to the Caspian Sea] // Gidrometeorologicheskie aspekty problemy Kaspijskogo morya i ego bassejna. Sankt-Peterburg: Gidrometeoizdat, 2003. P. 217–229 (in Russian).
- Gidrologicheskij ezhegodnik [The hydrology annual]. Leningrad: Gidrometizdat, 1948–1982. T. 4. Vyp. 8–9 (in Russian).
- Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas]. Gidrometeorologicheskie usloviya. Sankt-Peterburg: Gidrometizdat, 1992. T. VI. Vyp. 1. 360 p. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushi [The State Water Cadastre. The annual data about regime and resources of land surface water]. Almaty, 2000–2016. Chast 1. Vyp. 4. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushi [The State Water Cadastre. The annual data about regime and resources of land surface water]. Obninsk–Samara, 1984–2016. T. I. Vyp. 24. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Ezhegodnye dannye o rezhime i resursah poverhnostnykh vod sushi [The State Water Cadastre. The annual data about regime and resources of land surface water]. Obninsk, Aktyubinsk, Almaty, 1984–1997. T. V. Vyp. 2. (in Russian).
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Resursy poverhnostnykh i podzemnykh vod, ih ispolzovanie i kachestvo. Ezhegodnoe izdanie [The State water cadastre. The surface and ground water resources, their usage and quality. The annual edition]. L. - Sankt-Peterburg. M., 1981–2014 (in Russian).
- Grigorev O.M. Otsenka vliyaniya promyshlennokommunalnogo vodopotrebleniya na stok r. Ural [The assessment of influence of industrial and communal water consumption on the Ural River flow] // Tr. GGI. 1981. Vyp. 273. P. 45–61 (in Russian).
- IPCC, 2007 a: Climate change 2007: The physical science basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York. 996 p.
- IPCC, 2007 b. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. 104 p.
- Ivkina N.I. Izmenenie pritoka vody v Kaspijskoe more v rezul'tate antropogennogo vozdejstviya i izmeneniya klimata na primere r. Zhajyk (Ural) [Change of water inflow to the Caspian Sea as a result of anthropogenic influence and climate change (case study of the Zhayik (Ural) River)] // Gidrometeorologiya i ekologiya. 2016. № 3. P. 50–55 (in Russian).
- Katalog «Vodohranilisha SSSR» [USSR reservoirs catalogue]. M.: Soyuzvodproekt, 1988. 276 p. (in Russian).
- Lineitseva A.V. Postuplenie stoka v Respubliku Kazahstan po reke Ural na perspektivu do 2035 g [The flow income to the Kazakhstan Republic by the Ural River till 2035] // Gidrometeorologiya i ekologiya. 2011. № 2. Almaty. P. 64–68 (in Russian).
- Nauchno-prikladnoj spravochnik po klimatu SSSR [Scientifically applied reference book of the USSR climate]. L.: Gidrometizdat, 1989. Ser. 3. Mnogoletnie dannye. Vyp. 9, 12, 13, 18, 29. (in Russian).
- Pryahina G.V. Otsenka vliyaniya krupnykh vodohranilish na stok rek v nizhnem befe [The assessment of large reservoirs influence on the river flow in tail water]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. Sankt-Peterburg, 2003. 22 s. (in Russian).
- Resursy poverhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. L.: Gidrometizdat, 1970 a. T. 12. Vyp. 2. 512 p. (in Russian).
- Resursy poverhnostnykh vod SSSR [Surface water resources of the USSR]. L.: Gidrometizdat, 1966. T. 12. Vyp. 3. 515 p. (in Russian).
- Rodionov V.Z. Vliyanie hozyajstvennoj deyatel'nosti na stok r. Urala [The economic activity influence on the Ural River flow] // Tr. GGI. 1977. Vyp. 239. P. 109–122 (in Russian).
- SP 33–101–2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik [Sanitary rules 33–101–2003. The determination of the main estimated hydrological parameters]. M.: Gosstroy Rossii, 2004. 74 p. (in Russian).
- Tlenbekov O.K. Gidrologiya ust'evoy oblasti Urala [The hydrology of the Ural River mouth area]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. Almaty, 1967. 22 p. (in Russian).
- Shiklomanov I.A. Antropogennye izmeneniya vodnosti rek [The anthropogenic changes of water content of the rivers]. L.: Gidrometizdat, 1979. 302 p. (in Russian).
- Shiklomanov I.A., Veretennikov G.M. Vliyanie vodohranilish na godovoj stok rek SSSR [The influence of the reservoirs on the annual runoff of the USSR rivers] // Trudy GGI. 1977. Vyp. 237. P. 27–48 (in Russian).
- Voda Rossii. Rechnye bassejny [Water of Russia. River Basins]. Ekaterinburg: AKVA-PRESS, 2000. 536 p. (in Russian).
- Vodnye resursy SSSR i ih ispolzovanie [Water resources of USSR and their utilization]. L.: Gidrometizdat, 1987. 300 p. (in Russian).
- Vodnye resursy Rossii i ih ispolzovanie [Water resources of Russia and their utilization]. SPb.: GGI, 2008. 598 p. (in Russian).
- Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyakh na territorii Rossijskoj Federacii [The second assessment report of the Roshydromet about climate changes and their effects on the territory of the Russian Federation]. M.: Rosgidromet, 2014. 1017 p. (in Russian).
- Vuglinskij V.S. Vodnye resursy i vodnyj balans krupnykh vodohranilish SSSR [Water resources and water balance of the USSR large reservoirs]. L.: Gidrometizdat, 1991. 223 p. (in Russian).

Received 09.03.2017

Accepted 13.09.2017

УДК 332.132

Е.С. Путилова¹

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ США ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX ВЕКА

Рассмотрены особенности деиндустриализации экономики США со второй половины XX века, дана характеристика основных тенденций пространственных сдвигов индустриальной базы. Особое внимание уделено внутриагломерационным изменениям территориальной структуры промышленности. Изучено влияние изменения структуры экономики страны на социальное благосостояние деиндустриализованных районов и городов.

Показано, что в городских агломерациях наряду с деиндустриализацией в центральном городе происходит увеличение занятости в обрабатывающей промышленности в пригородных зонах. При этом агломерации, особенно наиболее крупные по своим размерам и численности населения, концентрируют наибольшую часть занятых в промышленности и почти всех занятых в высокотехнологичных отраслях, отражая преимущества, которые они представляют для промышленных предприятий и для предприятий высокотехнологичных отраслей.

Ключевые слова: деиндустриализация, децентрализация промышленности США, Ржавый пояс, социальные последствия деиндустриализации.

Введение. Переход к постиндустриальному обществу в США сопровождался значительными изменениями в структуре экономики и занятости. В середине XX века эпоха индустриальной экономики страны стала утрачивать свои характерные черты, производство услуг заняло доминирующее положение. Мощный деиндустриализационный тренд отразил сокращение обрабатывающей промышленности в ВВП страны с 28% в 1950-е годы до 12,1% в 2015 г. Одновременно стремительными темпами уменьшалась занятость в отраслях обрабатывающей промышленности. В 2015 г. в промышленном секторе США работало 12,3 млн человек, что составляло 8,6% всех занятых страны. В 1979 г. этот показатель составлял 40,7 % (19,4 млн чел) [Employee ..., 2016]. Сдвиг в сторону сферы услуг и технологический прогресс изменили долевое соотношение производственного и непроизводственного секторов в экономике Соединенных Штатов, сопровождались существенными пространственными сдвигами, наблюдаемыми как в международном и в региональном масштабах, так и на уровне отдельных городских агломераций.

Целью работы является изучение географических особенностей процесса деиндустриализации экономики в США. Процесс трансформации экономики США с середины XX века в научной литературе рассматривается, как правило, в контексте ее влияния на территориальную структуру промышленности на уровне отдельных регионов, оставляя вне поля зрения ее взаимосвязь с социально-экономическими процессами на более низком территориальном уровне, то есть внутри отдельных агломераций.

Под термином «деиндустриализация» в данной работе понимается структурная перестройка промышленности страны, сопровождающаяся террито-

риальными изменениями размещения производственных сил и значительным сокращением занятости в обрабатывающей промышленности. Особое внимание уделяется внутриагломерационным изменениям территориальной структуры промышленности в деиндустриализационную эпоху во взаимосвязи с их социальными последствиями.

Материалы и методы исследования. В работе использованы методы сопоставительного анализа, статистический, описательный и картографический. Теоретической и методологической основой послужили монографии, статьи из периодических изданий и другие публикации отечественных и зарубежных географов, экономистов и урбанистов. Важное значение имеет вклад российского географа А.П. Горкина в изучение территориальной организации и пространственных сдвигов промышленного производства США.

В качестве источников первичной статистической информации были использованы материалы различных баз данных, таких как Бюро занятости населения США. В работе используются данные Брукингского института (Вашингтон) – одной из крупнейших исследовательских организаций США, а также ведущего экспертно-аналитического центра, специализирующегося на общественных и экономических науках [Helper, 2012].

Результаты исследования и их обсуждение. Деиндустриализационные тренды развития экономики США имели очевидный пространственный резонанс на разных территориальных уровнях: международном, национальном и внутриагломерационном. Для «международного» уровня необходимо отметить прежде всего процесс массового перемещения промышленных предприятий в развивающиеся страны, где стоимость рабочей силы от 5 до 10 раз меньше.

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

Наблюдающаяся с 1970–80-х годов интернационализация автомобильной, сталелитейной, кораблестроительной, химической, текстильной и других отраслей промышленности к настоящему моменту хорошо изучена в работах отечественных и зарубежных исследователей. Деиндустриализация США и перемещение производственных площадок в страны с дешевой рабочей силой привело, например, к появлению в Мексике предприятий, называемых «макиладорас», ориентированных на производство товаров и услуг на экспорт на базе переработки зарубежных материалов, поступивших в режиме возвратного импорта, и сформировавших целую промышленную зону вдоль северной границы Мексики [Коротова, 2005].

На национальном уровне деиндустриализация американской экономики сопровождалась «выравниванием плотности» производственной базы. Изменилось соотношение в первую очередь промышленного пояса США, включающего территорию штатов от Новой Англии до Великих озер и традиционно являющегося ядром промышленного производства, Запада и Юга США. Вследствие деиндустриализации исторический индустриальный центр США на Среднем Западе и северо-востоке страны приобрел название Ржавый пояс (Rust belt). Развернувшаяся деиндустриализация региона, являющаяся одной из главных причин экономического упадка многих городов, сопровождалась значительной по своим масштабам субурбанизацией, в первую очередь белого населения (white flight), а также эмиграцией жителей в другие районы США, на Запад и Юг. Потеря населения и рабочих мест привела к сжатию многих городов и падению их экономики. В это время появился термин «сжимающиеся города» (shrinking cities), характеризующий длительные существенные потери населения и рабочих мест городом, в результате чего размеры городского пространства значительно превышают потребности его настоящего и будущего поколений.

По данным Бюро ценов США, к 2006 г. в 16 из 20 крупнейших городов США в 1950 г. численность населения сократилась [United States ..., 2016]. В таких городах, как Буффало, Кливленд, Детройт, Питтсбург и Сент-Луис численность населения уменьшилась более чем в 2 раза, в Балтиморе и Филадельфии почти на треть. Более того, по данным финансируемого правительством Германии проекта Shrinking Cities среди 450 «сжимающихся» городов мира с населением более 100 тыс. человек 59 находятся в США, и большая часть из них – на Среднем Западе, при этом особенно выделяется по численности подобных городов штат Огайо [Oswalt, 2007]. Большая часть из этих городов когда-то являлась крупными центрами по выплавке стали или производству автомобилей и их комплектующих, которые с усилением деиндустриализации и глобализации утратили свои конкурентные преимущества. В целом, с середины XX века к концу столетия доля индустриального Востока США в обрабатывающей промышленности сократилась с 67 до 17%. Одно-

временно существенно возросла доля Юга и Запада с 16% в 1950 г. до 52% к 2000 г. [Горкин, 2012].

Согласно Горкину [Горкин, 2012], одними из главных факторов изменения территориальной структуры промышленности страны стала богатая ресурсно-сырьевая база регионов Юга и Запада США, обусловившая размещение здесь многих сырьевых производств, а также технологический прогресс. Значительную роль сыграла сложившаяся система заключения военных контрактов между правительством и частными предприятиями, в результате чего для Юга США, особенно для таких штатов, как Калифорния, Юта, Колорадо и др. характерна высокая степень милитаризации экономики. Влияние на территориальные сдвиги размещения производственных сил также оказывали налоговые преференции для новых промышленных предприятий в ряде штатов.

Но в деиндустриализационную эру в США развивались и новые отрасли производства, для которых приоритетными стали другие факторы размещения. По данным Брукингского института [Helfer, 2012], в 2010 г. около 80% рабочих мест вторичного сектора экономики США, в том числе 95% рабочих мест высокотехнологичных отраслей промышленности, было расположено в агломерациях (метрополитенских статистических ареалах, МСА). Города, особенно наиболее крупные по своим размерам и численности населения, концентрируют наибольшую часть занятых в промышленности и почти всех занятых в высокотехнологичных отраслях, отражая преимущества, которые они представляют для промышленных предприятий и в особенности для предприятий высокотехнологичных отраслей. Преимущества для инновационных отраслей включают выгоды кластеризации с другими компаниями той же отрасли или смежных отраслей: доступ к широкому рынку квалифицированных рабочих с наличием необходимых знаний и навыков, а также к поставщикам и бизнес-клиентам, образовательным, научно-исследовательским, консалтинговым, инжиниринговым услугам, специализирующимся на потребностях той или иной отрасли или кластера. Значение также имеют «перетоки знания» – обмен неявной информацией или неформализованное взаимодействие между фирмами в области технологических разработок и внедрения инноваций.

Изменение территориальной структуры обрабатывающей промышленности наблюдается и относительно территории агломераций, где наряду с деиндустриализацией в центральном городе происходит увеличение занятости в обрабатывающей промышленности в пригородных зонах. Городское пространство крупнейших агломераций США перестало удовлетворять требованиям для размещения производственных площадок, особенно для таких отраслей, как тяжелое машиностроение, металлургия, нефтехимия и пр. в силу различных обстоятельств. Транспортные заторы, повышенные экологические требования, строгие меры контроля над уровнем шумового загрязнения, ограничивающие

правила землепользования, высокая арендная плата и недостаток земельных ресурсов ведут к постепенному сокращению промышленных зон и выводу предприятий в ближайшие пригороды.

На протяжении 80-х и 90-х годов темпы снижения численности занятых в отраслях обрабатывающей промышленности в метрополитенских ареалах США были быстрее относительно вне-агломерационного пространства, при этом в ста крупнейших агломерациях спад занятости был более выражен, чем в других городах (рис.). Между 2000 и 2010 г. занятость в обрабатывающей промышленности в центральных городах агломераций сократилась на 33,9% вследствие вытеснения производств из центральной части [Helper, 2012]. В среднем 28% занятых в обрабатывающей промышленности среди ста крупнейших по численности населения МСА США сконцентрировано в центральном городе. То есть для 72% занятых в обрабатывающей промышленности местом приложения труда являются пригородные зоны и промышленные субурбии.

Темпы деиндустриализации и децентрализации размещения промышленных предприятий не одинаковы для всех отраслей. Меньшая потеря занятости на производственных предприятиях свойственна высокотехнологичным отраслям промышленности,

в то время как сокращение занятости в традиционных отраслях производства было более интенсивным, чем для всей экономики США в целом.

Предприятия всех отраслей промышленности были значительно децентрализованы в 2010 г. относительно данных 1980 г. Тем не менее, для предприятий высокотехнологичных отраслей уровень децентрализации был выражен в меньшей степени. Кроме того, в то время как для традиционных отраслей промышленности свойственно перемещение за пределы метрополитенских ареалов, предприятия высокотехнологичных отраслей были в большей степени сконцентрированы в пределах городских агломераций в 2010 г., чем в 1980. За 30-летний промежуток времени доля метрополитенских ареалов по количеству занятых в высокотехнологичных отраслях промышленности выросла с 87,3 до 95%, при этом для предприятий традиционных отраслей этот показатель уменьшился на 3–5%. Этот факт подтверждает, что городские агломерации обеспечивают необходимые преимущества размещения высокотехнологичных отраслей. В 2010 г. 95% рабочих мест в таких отраслях, как компьютерная техника и электроника, фармацевтика и авиационная и ракетно-космическая промышленность располагались в МСА, из них 79,5% были расположены в ста круп-

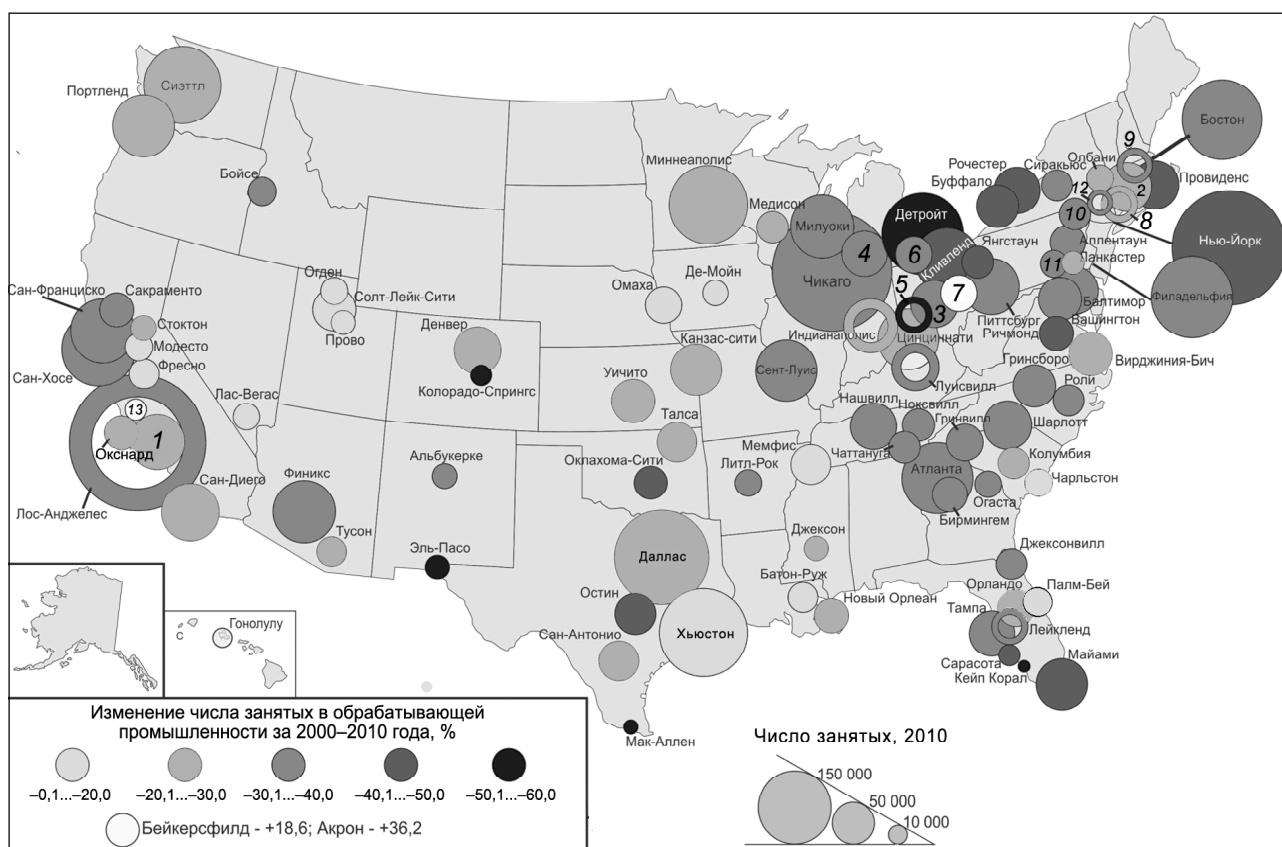


Рис. Численность и динамика занятых в обрабатывающей промышленности крупнейших МСА США, 2000–2010. 1 – Риверсайд, 2 – Хартфорд, 3 – Колумбус, 4 – Гранд-Рапидс, 5 – Дейтон, 6 – Толедо, 7 – Акрон, 8 – Бриджпорт, 9 – Вустер, 10 – Скрентон, 11 – Гаррисберг, 12 – Покипси, 13 – Бейкерсфилд

Fig. The number and dynamics of employment in the manufacturing industry of the USA largest MSA, 2000–2010. Fig. The number and dynamics of employment in the manufacturing industry of the USA largest MSA, 2000–2010. 1 – Riverside, 2 – Hartford, 3 – Columbus, 4 – Grand Rapids, 5 – Dayton, 6 – Toledo, 7 – Akron, 8 – Bridgeport, 9 – Worcester, 10 – Scranton, 11 – Harrisburg, 12 – Poughkeepsie, 13 – Bakersfield

нейших МСА и 94,3% в их центральных графствах [Helses, 2012].

Идея жизненного цикла продукта (product life-circle theory) помогает объяснить, почему высокотехнологичные отрасли, несмотря на национальный тренд деконцентрации и движения от центральных городов к периферии, остаются наиболее привязанными к метрополитенским ареалам и к их центральным частям. Согласно теории, представленной Р. Верноном [Vernon, 1972], новые промышленные продукты создаются на небольших предприятиях. Продукты, для производства которых необходимы новые технологии, должны производиться в непосредственной близости от научно-исследовательских центров. В их производственном процессе должны принимать участие ученые и инженеры, и, возможно, специализированные поставщики. Кооперация и взаимодействие между фирмами при производстве новых продуктов также приносит дополнительные бонусы. Соответственно специфические факторы размещения подобных производств влияют на выбор центральных городских районов.

Со временем, по мере установления технического порядка производственного процесса, выпуск нововведенной продукции становится более рутинным и преимущества географического расположения производственных площадок внутри центральных городских районов теряют свою силу. Стоимость издержек становится более значимым фактором, в результате менее технологичные отрасли перемещаются в субурбию или за пределы агломераций в сторону регионов с меньшими издержками производства.

Несмотря на общераспространенное мнение, что предприятия промышленности являются достаточно большими по своим размерам, среди агломераций США средний размер промышленных предприятий по количеству занятых составляет 57,4 сотрудников [Bureau..., 2016]. Разумеется, этот показатель в большой степени зависит от отрасли специализации предприятия, но в целом, именно малые и средние фирмы несут ответственность за разработку и производство большей части ассортимента промышленных товаров США. В то время как крупные промышленные предприятия могут позволить себе расположение в пригородной зоне, привлекая при этом сотрудников из ближайших городов, экономический успех небольших предприятий тесно связан с выгодами расположения внутри городских границ, такими, как плотность населения, разнообразие поставщиков и большой рынок сбыта.

Сохранение диверсифицированной экономической базы и развитие не только сферы услуг, но и промышленности, способствуют устойчивости города в периоды экономического спада. К примеру, после падения фондового рынка в 1987 г., тогда как экономика Нью-Йорка находилась в стадии рецессии, Чикаго был в более выгодном положении, так как в его экономике не доминировала занятость в сфере финансовых услуг. Только 9,2% занятых в частном секторе Нью-Йорка приходилось на промышлен-

ность, 17% занятых было в области финансов, страхования и недвижимости и 44% – в области сектора услуг. Даже в периоды наибольшего экономического спада безработица в Чикаго не превышала 9,6%, в то время как в Нью-Йорке она поднималась до 11% [Phillips-Fein, 1998].

С сокращением количества промышленных предприятий в центральном городе уменьшается объем налоговых поступлений с доходов физических лиц, прибыли и недвижимости предприятий. Вследствие снижения индустриальной активности заметно увеличивается местный уровень безработицы, а также повышается уровень бедности. Наибольший ущерб деиндустриализация приносит населению, занятому в промышленности, особенно это сказывается на людях старшего возраста, имеющих недостаточно компетенций и возможностей для реализации на рынке труда в других сферах. При этом растущий сектор услуг не способен компенсировать потери в уровне благосостояния для населения.

На первый взгляд при сравнении сектора услуг с промышленным сектором разница заработной платы одного занятого при одинаковом рабочем времени не велика. В 2012 г. средняя недельная заработная плата за полный рабочий день сотрудников сферы услуг (при 35-часовой рабочей неделе; включая торговлю, финансовые услуги, услуги здравоохранения и пр.) была примерно на 20% меньше, чем сотрудников производственной сферы: 916\$ по сравнению с 1111\$ в 2012 г. Но, так как работники сферы услуг работают в среднем 32 часа в неделю по сравнению с 42 часами недельной занятости работников промышленности, то разница заработной платы значительно возрастает. При сокращении занятости во вторичном секторе экономики, большинство рабочих с низкой квалификацией переходят в сектор услуг, где уровень заработной платы для неквалифицированных сотрудников еще меньше [Christopherson, 2009].

Сотрудники производственного сектора с большей вероятностью обладают медицинской страховкой: в 2011 г. среди занятых не имели медицинской страховки 19,5% в оптовой и розничной торговле, 23,4% в секторе услуг и только 15,7% в промышленном секторе (по данным Employee Benefit Research Institute). Работники производственного сектора имеют в среднем более высокие пенсионные выплаты. Производственный сектор также влияет на занятость в других отраслях. В 2011 г., кроме 11,7 млн занятых непосредственно в индустриальном секторе, 5,8 млн рабочих мест обеспечивалось в отраслях, связанных с обслуживанием промышленных предприятий (страхование, консалтинг, транспорт, торговля и др.) [Facts ..., 2012].

Выводы:

– Соединенные Штаты пережили активный процесс деиндустриализации, который сопровождался существенными сдвигами в географии индустриальной базы и ее «выравниванием». В результате действия многочисленных взаимосвязанных факторов, в том числе реструктуризации промышленности,

технологических изменений, мобильности промышленного капитала в индустриализующиеся страны, а также роста конкуренции со стороны развивающихся стран, значительно сократилась занятость населения во вторичном секторе экономики;

– промышленность США все больше специализируется на наукоемкой и высокотехнологичной продукции, вытесняя традиционные отрасли, основанные на механизированном и стандартизированном производстве, в развивающиеся страны. Для высокотехнологичных предприятий особое значение имеет размещение в крупных городских агломерациях, обеспечивающих доступ к квалифицированной рабочей силе, научно-исследовательским институтам и инвестиционным организациям;

– в эпоху постиндустриальной экономики промышленность все еще имеет большое значение для городских агломераций США. Предприятия производственного сектора вносят существенный вклад в объем налоговых сборов муниципалитетов, а также являются значимыми работодателями, обеспечивая занятость как для высококвалифицированных сотрудников, так и для рабочих без высшего образования при относительно высокой оплате

труда, способствуя решению ряда социальных проблем. Промышленность способствует формированию более стабильной и сбалансированной экономики городов;

– обрабатывающая промышленность имеет наибольший мультипликационный эффект среди других отраслей. Каждый затрачиваемый доллар в производственном секторе вызывает рост в размере 1,34\$ в других отраслях [Facts ..., 2012]. Обратная связь сказывается и на секторе розничной торговли, увеличивается количество обанкротившихся фирм, а также падает стоимость жилья на рынке недвижимости. Помимо безработицы, деиндустриализация может привести к таким социальным проблемам, как рост численности бездомных и уровня преступности, алкоголизму, а также неспособности выплачивать кредиты должниками. Часто деиндустриализованные районы становятся источниками эмиграции, поскольку экономически активное население вынуждено искать работу в других местах. Преодоление разрушающих социально-экономических последствий деиндустриализации является стратегической задачей для многих городов и отдельных регионов США.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Горкин А.П. География постиндустриальной промышленности (методология и результаты исследований, 1973–2012 годы). Смоленск: Ойкумена, 2012.

Коротова О., Рогачев С., Заяц Д. Макиладорас // Газета «География». 2005. № 11. URL: <http://geo.1september.ru/article.php?ID=200501112>; (дата обращения: 11.12.2015).

Christopherson S. Manufacturing: Up from the Ashes // Democracy J. 2009. № 14. P. 25–30.

Facts about Manufacturing. Manufacturing Institute, 2012. URL: http://www.themanufacturinginstitute.org/Research/Facts-About-Manufacturing/~/_media/A9EEE900EAF04B2892177207D9FF23C9.ashx (дата обращения: 07.12.2016).

Helper S., Krueger T., Wial H. Locating American Manufacturing. Trends in the Geography of production. Metropolitan Policy Program at Brookings, 2012.

Oswalt P., Rieniets T. Shrinking Cities. Global Context., 2007. URL: http://www.shrinkingcities.com/globaler_context.0.html?id=&L=2 (дата обращения: 11.12.2015).

Phillips-Fein K. The still-industrial city // The American Prospect. 1998. № 40. P. 28–37.

Vernon R. External Economies // Readings in Urban Economics. 1972. P. 37–49.

United States Census Bureau. URL: www.census.gov (дата обращения: 07.12.2016).

Bureau of Labor Statistics URL: www.bls.gov (дата обращения: 08.05.2016).

Employee Benefit Research Institute URL: <http://www.ebri.org/> (дата обращения: 07.12.2016).

Поступила в редакцию 24.12.2016
Принята к публикации 13.09.2017

E.S. Putilova¹

GEOGRAPHICAL FEATURES OF DEINDUSTRIALIZATION IN THE USA IN THE SECOND HALF OF THE 20TH CENTURY

Specific features of the de-industrialization in the US economy since the second half of the 20th century are discussed, and the main tendencies of spatial shifts in the manufacturing are described. Particular attention is paid to the changes inside the metropolitan statistical areas. The impact of changes in the structure of economy on the social welfare of deindustrializing districts and cities is also analyzed.

Along with deindustrialization in the central city there is an increase in the manufacturing sector employment in suburban areas. The agglomerations, especially the largest ones in size and population, concentrate the greater part of employment in industry and almost all workers in high-tech industries, reflecting the advantages of the metropolitan statistical areas for industry as a whole and particularly for the high-tech companies.

Key words: deindustrialization, decentralization of U.S. industry, rust belt, social consequences of deindustrialization.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Social-economic Geography of Foreign Countries, post-graduate student; e-mail: es_putilova@mail.ru

REFERENCES

- Bureau of Labor Statistics (URL: www.bls.gov, дата обращения: 08.05.2016).
- Christopherson S.* Manufacturing: Up from the Ashes // *Democracy J.* 2009. № 14. P. 25–30.
- Employee Benefit Research Institute (URL: <http://www.ebri.org/>; дата обращения: 07.12.2016)
- Facts about Manufacturing. Manufacturing Institute, 2012 (URL: <http://www.themanufacturinginstitute.org/Research/Facts-About-Manufacturing/~media/A9EEE900EAF04B2892177207D9FF23C9.ashx>; дата обращения: 07.12.2016)
- Gorkin A.P.* Geografiya postindustrial'noj promyshlennosti (metodologiya i rezul'taty issledovanij, 1973–2012 gody) [The geography of post-industrial industry (methodology and results of research, 1973–2012)]. Smolensk: Ojkumena, 2012 (in Russian).
- Helper S., Krueger T., Wial H.* Locating American Manufacturing. Trends in the Geography of production. Metropolitan Policy Program at Brookings, 2012.
- Korotova O., Rogachev S., Zayac D.* Makiladoras [Maquiladora Assembly plants] // *Gazeta «Geografiya»*. 2005. № 11 (in Russian) (URL: <http://geo.1september.ru/article.php?ID=200501112>, Accessed: 11.12.2015).
- Oswalt P., Rieniets T.* Shrinking Cities. Global Context., 2007. (URL: http://www.shrinkingcities.com/globaler_context.0.html?id=&L=2, дата обращения: 11.12.2015).
- Phillips-Fein K.* The still-industrial city // *The American Prospect*. 1998. № 40. P. 28–37.
- United States Census Bureau (URL: www.census.gov, дата обращения: 07.12.2016).
- Vernon R.* External Economies // *Readings in Urban Economics*. 1972. P. 37–49.

Received 24.12.2016

Accepted 13.09.2017

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 502.4 (911.52)

Е.С. Каширина¹, Е.И. Голубева²

ЛАНДШАФТНАЯ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОСТЬ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ СЕВАСТОПОЛЯ

Ландшафтная репрезентативность является одним из ключевых критериев территориальной охраны природы. Севастополь относится к регионам – лидерам по доле особо охраняемых природных территорий (ООПТ). С помощью ГИС-технологий актуализирована ландшафтная карта Севастополя, на основе которой выполнен расчет и анализ ландшафтной репрезентативности ООПТ. Определены особенности сети ООПТ, включающие акватории, ландшафтные, ботанические и комплексные объекты регионального статуса. Выявлено, что при очень высокой доле охраняемых территорий, они отличаются крайне неравномерным пространственным распространением. Очень высокой долей ООПТ характеризуются широколиственные и сосновые леса северного макросклона гор (67% от площади ландшафта), горные луга и горная лесостепь на закарстованном плато яйлы (87%) и леса Южного берега Крыма (52%) при экстремально низких показателях охраны ландшафтов разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов Предгорья (0,2%) и морской акватории (2,3%).

Ключевые слова: Севастополь, Крымский полуостров, особо охраняемые природные территории, ландшафт, экологическая сеть, биоразнообразие, ГИС-технологии.

Введение. Важнейшая задача создания особо охраняемых природных территорий региона – это сохранение уникальных природных объектов, биологического и ландшафтного разнообразия территории, обеспечение их устойчивого развития. В соответствии с рекомендациями международных организаций, к которым присоединилась и Россия, предусматривается обеспечение ООПТ не менее 17% площади региона и 10% акваторий [Strategic Plan ..., 2011]. Однако стоит отметить, что формальное соблюдение этих нормативов не может реально обеспечить охрану ценных природных комплексов, если ООПТ недостаточно репрезентативно отражают ландшафтное разнообразие территории.

Крымский полуостров является европейским центром ландшафтного и биологического разнообразия, его природная флора насчитывает более 2500 видов высших растений, из которых 74% встречаются в Севастополе [Ена, 2012; Seregin et al., 2015]. Ландшафтное разнообразие полуострова обусловлено сочетанием равнинных полупустынных, типичных степных, предгорных лесостепных и лесных, горных лесных ландшафтов. Максимальных значений показатели природного ландшафтного разнообразия достигают в юго-западной горной части Крыма, в районе г. Севастополь [Позаченюк, 2015]. Природные условия юго-западного Крыма определяют высокую ценность его ландшафтов для сохранения биологического разнообразия и природного наследия; Севастополь занимает лидирующее место по доле ООПТ, на которые приходится по разным оценкам до трети территории субъекта.

Региональная система ООПТ Севастополя начала формироваться с середины XX века: первая охраняемая территория «Роща Пицундской сосны и древовидного можжевельника на мысе Айя» была создана в 1947 г., позже вместе с прилегающей акваторией преобразованная в ландшафтный заказник общегосударственного значения «Мыс Айя». Созданные в 1970-е гг. заказник местного значения – «Орлиновский» и памятник природы «Каньон реки Черная» в Байдарской долине в 1990 г. вошли в состав ландшафтного заказника общегосударственного значения «Байдарский», охватившего большую часть водосбора реки Черная. Гидрологические памятники природы – прибрежные аквальные комплексы (ПАК) – «Мыс Фиолент», у мыса Лукулл, около мыса Сарыч и у Херсонесской бухты создавались в 1969–1979 гг. для охраны прибрежных экосистем. В 1996 г. в городе организован ландшафтный заказник местного значения «Мыс Фиолент», в 1997 г. – общезоологический заказник общегосударственного значения «Бухта Казачья» на западном побережье одноименной бухты (рис.). В 2013 г. создан региональный ландшафтный парк «Максимова дача» в Хомутовой балке.

Цель исследования – оценить ландшафтную репрезентативность сети ООПТ г. Севастополя – актуальна до сегодняшнего дня.

Материалы и методы исследований. Исследование системы ООПТ Севастопольского региона проведены в 2011–2016 гг. и включают полевые экспедиции, анализ картографического материала и литературных источников.

¹ Филиал МГУ имени М.В. Ломоносова в г. Севастополе, отделение географии, ст. преподаватель; e-mail: e_katerina.05@mail.ru

² МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, профессор, докт. биол. н.; e-mail: egolubeva@gmail.com

Для анализа территориальных особенностей современной системы ООПТ и их ландшафтной репрезентативности в районе Севастополя создана актуализированная электронная ландшафтная карта на основе ландшафтной карты Севастополя 1984 г. [Гришанков, Позаченюк, 1984], карт рельефа Генерального плана Севастополя 2004 г. с сечением 10 и 20 м, данных космических снимков (Landsat-8, Google-снимки, 2014–2016 гг.). Информационной базой для создания карты сети ООПТ г. Севастополя послужили межевые планы охраняемых объектов, схемы лесоустройства и топографические карты



Рис. Положение охраняемых природных территорий на ландшафтной схеме Севастополя: I – Предгорная зона разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов; Ia – пояс приморский ингрессионно-бухтовый, абразионно-гравитационный и оползневой; Ib – пояс шибляково-разнотравных степей и лесостепей на возвышенных аккумулятивных и денудационных равнинах и предгорья; II – пояс дубовых лесов с преобладанием пушистого дуба и шибляковых зарослей на возвышенных расчлененных денудационных равнинах предгорья; IIa – зона широколиственных и сосновых лесов северного макросклона гор; IIb – пояс дубовых и смешанных широколиственных лесов эрозионного среднегорья; IIc – пояс буковых и сосновых лесов эрозионного среднегорья; III – зона горных лугов и горной лесостепи на закарстованных плато яйлы; IIIa – пояс лесных и лугово-лесных плато; IV – зона полусубтропических лесов Южного берега Крыма; IVa – пояс фисташково-дубовых и можжевельно-сосновых лесов. Ландшафтные заказники: 1 – Байдарский – 24 295 га; 2 – Мыс Айя – 1340 га; 3 – Мыс Фиолент – 38 га; общезоологический заказник: 4 – Бухта Казачья – 22 га; памятники природы: 5 – Ушакова балка – 12 га; 6 – Мыс Фиолент – 6 га; заповедное урочище: 7 – Скалы Ласпи – 18 га; ПАК: 8 – «У мыса Лукулл» – 128 га; 9 – «У мыса Сарыч» – 62 га; 10 – «У мыса Фиолент» – 180 га; 11 – «У Херсонесской бухты» – 61 га; природный парк: 12 – Максимова дача – 84 га

Горного Крыма масштаба 1:500 000. Для создания карт использовались программные пакеты MapInfo Professional 11.0, SAS-Planet и QGIS.

Результаты исследований и их обсуждение.

Территория города Севастополя неоднородна в физико-географическом отношении и включает 3 области провинции Горного Крыма: Предгорную лесостепь, юго-западную часть Главной горно-лугово-лесной гряды Крымских гор и западную оконечность Крымского южного бережного субсредиземноморья. Географическое положение обусловило наличие общих черт с природой Предгорья, Главной горной гряды и Южного берега Крыма (ЮБК) [Подгородецкий, 1988].

Современные ландшафты Крыма представлены гидроморфным, плакорным, низкогорным, среднегорным ландшафтными уровнями. Ландшафтная структура территории города отнесена к четырем зонам: предгорной зоне разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов; зоне широколиственных и сосновых лесов северного макросклона гор; зоне горных лугов и горной лесостепи на закарстованном плато яйлы; зоне полусубтропических лесов ЮБК, а также представлена морской акваторией (аквальные ландшафты) [Позаченюк, Панкеева, 2008].

За более чем полувековую историю своего развития сеть ООПТ Севастополя выросла до 12 объектов разных категорий и направлений охраны. Она представлена четырьмя заказниками, шестью памятниками природы, включающими прибрежно-аквальные комплексы, природным парком и заповедным урочищем; из них по направленности: 4 – ландшафтных, 1 – общезоологический, 1 – ботанический, 1 – комплексный и 4 – гидрологических объекта общей площадью 26 217,11 га [Доклад о состоянии ..., 2015] и по состоянию на 2017 г. имеющие региональный статус (рис.).

Fig. Position of nature protection areas on the landscape scheme of Sevastopol: I – Piedmont zone of mixed grass steppes, shibliak, forest-steppe and oak forests; Ia – the seaside regression-bay, abrasion-gravitational and landslide belt; Ib – the belt of shibliak and mixed grass steppes and forest-steppes on the elevated accumulative and denudation plains and foothills; II – the belt of oak forests with predominance of oak and shibliak on the elevated dissected denudation plains of the foothills; IIa – the belt of oak and juniper-pine forests of intermontane depressions and erosion low mountains; IIb – the belt of oak and mixed broad-leaved forests of the erosion middle mountains; IIc – the belt of beech and pine forests of erosion middle mountains; III Zone of mountain meadows and mountain forest-steppe on karst plateaus (yayla); IIIa – the belt of forest and meadow-forest plateaus; IV Zone of semi-subtropical forests of the Southern coast of Crimea; IVa – the belt of pistachio-oak and juniper-pine forests. Landscape reserves: 1 – Baidarskij – 24 295 ha.; 2 – Cape Aya – 1340 ha.; 3 – Cape Fiolent – 38 ha.; zoological zakaznik: 4 – Cossack Bay – 22 ha.; nature monuments: 5 – Ushakova balka – 12 ha.; 6 – Cape Fiolent – 6 ha.; protected natural urochische: 7 – Rocks of Laspi – 18 ha.; marine protected areas: 8 – At Cape Lucullus – 128 ha.; 9 – At Cape Sarych – 62 ha.; 10 – At Cape Fiolent – 180 ha.; 11 – At the Chersonesus Bay – 61 ha.; The naturepark: 12 – Maksimova dacha – 84 ha

Наиболее высокая категория ООПТ в Севастопольском регионе представлена заказниками регионального значения «Байдарский», «Мыс Айя», «Мыс Фиолент» и «Бухта Казачья». ООПТ региона отличаются небольшими размерами: 8 из 12 объектов имеют площадь менее 100 га.

Особенностью системы ООПТ региона является наличие аквальных объектов и объектов, имеющих сопряженное положение на границе суши и моря. Однако, несмотря на наличие пяти объектов с акваторией, большая часть ООПТ Севастополя расположена на суше, и их площадь составляет 25 556,7 га (97,7% площади ООПТ региона). Аквальные ООПТ и аквальные части комплексных объектов (заказник «Мыс Айя», ПАК у мыса Лукулл, у мыса Сарыч, у мыса Фиолент и у Херсонесской бухты) составляют всего 599,6 га (2,3% площади ООПТ региона). При этом территориальной охраной охвачено 26,7 км побережья г. Севастополя, что составляет 18,8% от общей протяженности прибрежной зоны региона. Более того, аквальные ООПТ имеют низкий статус охраны.

Как видно, ООПТ созданы в разных ландшафтах Севастополя: на равнинной и горной частях, в морской акватории, но их размещение по территории города очень неравномерно и не всегда соответствует рекомендуемым значениям минимальной доли для поддержания ландшафтно-экологического равновесия [Позаченюк, Панкеева, 2008]. Эта особенность четко отражается в распределении ООПТ по ландшафтным зонам (табл.).

Как показал анализ, при беспрецедентно высоких значениях доли площади ООПТ для ландшафтных зон широколиственных и сосновых лесов северного макросклона гор (66,9%), горных лугов и горной лесостепи на закарстованном плато яйлы (87%) и лесов ЮБК (51,8%), аквальные ландшафты и Предгорье практически лишены ООПТ. В разнотравных степях, шибляковых зарослях, лесостепи и дубовых лесах Предгорья охраняется всего 0,2% территории, в аквальных ландшафтах – 2,3% акватории.

Несмотря на значительную общую площадь ООПТ Севастополя эффективность охраны ландшафтов снижается в связи с влиянием ряда факторов:

- большинство ООПТ города имеют небольшие размеры, не объединены экологическими коридорами в единый экологический каркас; отсутствие буферных зон при высоких антропогенных нагрузках уменьшают их средообразующую роль;

- низкий природоохранный статус объектов (заказников и памятников природы регионального значения) и отсутствие администраций приводят к нарушениям режима охраны;

- отмечается очень неравномерное расположение ООПТ по ландшафтным зонам и недостаток аквальных объектов.

Выводы

Анализ ландшафтной репрезентативности ООПТ Севастополя позволил выявить следующие особенности:

- высокую насыщенность ООПТ у Севастополя по сравнению с другими регионами – 12 объектов, занимающих более 22% территории города; и большое разнообразие ООПТ по направлениям охраны: 5 ландшафтных, 1 общезоологический, 1 ботанический, 1 комплексный и 4 гидрологических, а также наличие охраняемых акваторий у пяти объектов;

- в большей степени охраной охвачены горные лесные и луговые (67 и 87% от площади ландшафта соответственно) и лесные южнобережные ландшафты (52%);

- недостаток ООПТ в приморских (2,3% от площади ландшафта) и прибрежных ландшафтах (0,2%).

Создание новых и расширение существующих ООПТ в приморских и прибрежных ландшафтах позволит обеспечить их репрезентативность и устойчивое развитие. Необходимость увеличения доли ООПТ в ландшафтах предгорной зоны разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов обусловлена расположением на этих участках урбанизированных зон с максимальными антропогенными нагрузками.

Распределение ООПТ по ландшафтам Севастополя (по [Гришанков, Позаченюк, 1984])

Название ландшафта	Площадь, га		Количество ООПТ	Доля ООПТ, %	
	ландшафта	в том числе ООПТ		реальная	рекомендуемая
I. Предгорная зона разнотравных степей, шибляковых зарослей, лесостепи и дубовых лесов	52 336,53	107,72	7	0,2	16
II. Зона широколиственных и сосновых лесов северного макросклона гор	24 076,69	16115	1	66,9	12
III. Зона горных лугов и горной лесостепи на закарстованном плато яйлы	4910,11	4273,5	1	87	10
IV. Зона лесов Южного берега Крыма (ЮБК)	4108,60	2129,95	4	51,8	30
V. Аквальные ландшафты	21 600	599,55	5	2,8	10
Всего	107 032	23226*	—	—	—

*Часть территории заказника «Байдарский» (2931 га) расположена в административных границах Республики Крым.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Н. А. Анализ ландшафтной репрезентативности сети ООПТ Камчатского края с применением картографического метода исследования // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2015. № 2. С. 126–133.
- Гришанков Г.Е., Позаченюк Е.А. Ландшафтная карта Крыма. М., 1984. Деп. ВИНТИ 12.10.84. № 3389.
- Доклад о состоянии и об охране окружающей среды в городе федерального значения Севастополе за 2015 год. Главное управление природных ресурсов и экологии города Севастополя (Севприроднадзор) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ecosev.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya> (Дата обращения: 18.03.2017).
- Ена А.В. Природная флора Крымского полуострова: Монография. Симферополь: Н. Оріанда, 2012. 232 с.
- Подгородецкий П.Д. Крым: Природа. Симферополь: Таврия, 1988. 192 с.
- Позаченюк Е.А. Ландшафтное разнообразие Крыма // Уч. зап. Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География. Геология. 2015. Т. 1. № 4. С. 37–50.
- Позаченюк Е.А., Панкеева Т.В. Геоэкологическая экспертиза административных территорий. Большой Севастополь: Бизнес-Информ, 2008. 296 с.
- Соболев Н.А. Экологический каркас России. Индикативная схема / Ред. проф. А.А. Тишков. М.: Ин-т географии Российской академии наук, 2015. 16 с.
- Seregin A.P., Yevseyenkov P.E., Svirin S.A., Fateryga A.V. Second contribution to the vascular flora of the Sevastopol area (the Crimea) // Wulfenia. 2015. V. 22. P. 33–82.
- Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020, including Aichi Biodiversity Targets <https://www.cbd.int/sp/> (Дата обращения: 30.03.2017).

Поступила в редакцию 06.07.2017
Принята к публикации 13.09.2017

E.S. Kashirina¹, E.I. Golubeva²

THE LANDSCAPE REPRESENTATIVENESS OF NATURE PROTECTION AREAS IN SEVASTOPOL

Landscape representativeness is a key criterion for the territorial protection of nature. Sevastopol belongs to the regions leading in the share of nature protection areas (NPAs). The landscape map of Sevastopol was updated using the GIS technologies to become a basis for calculation and analysis of the landscape representativeness of NPAs. Specific features of the network of NPAs, which include water areas, landscape, botanical and complex protected objects of regional status, are discussed. The proportion of NPAs in the total area is very high, but they are distributed extremely unevenly. The following landscapes have the highest share of NPAs: broadleaf and pine forests of the northern macroslope of the mountains (67% of the landscape area), mountain meadows and mountain forest-steppe on the karst plateaus (87%) and forests of the Southern coast of Crimea (52%). At the same time some landscapes have very low share of NPAs: mixed grass steppes, shiblyak thickets, forest-steppe and oak forests of the foothills (0,2%) and the marine areas (2,3%).

Key words: Sevastopol, Crimean Peninsula, nature protection areas, landscape, Ecological Network, biodiversity, GIS technology.

REFERENCES

- Alekseenko N.A. Analiz landshaftnoj reprezentativnosti seti OOPT Kamchatskogo kraja s primeneniem kartograficheskogo metoda issledovaniya [Analysis of the landscape representativeness of the Nature Protection Areas network of Kamchatka Region using the cartographical method of research] // Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN. 2015. № 2. P. 126–133 (in Russian).
- Doklad o sostoyanii i ob ohrane okruzhayuschej sredy v gorode federalnogo znacheniya Sevastopole za 2015 god. Glavnoe upravlenie prirodnih resursov i ehkologii goroda Sevastopolya (Sevprirodnadzor) [The report on the state and protection of the environment in the city of federal significance Sevastopol in 2015. Main Department of Natural Resources and Ecology of the City of Sevastopol (Sevprirodnadzor)]. [Electronic resource]. Access: <http://ecosev.ru/ekologicheskoe-sostoyanie-sevastopolya> (18.03.2017) (in Russian).
- Eina A.V. Prirodnaya flora krymskogo poluostrova. Monografiya [Natural flora of the Crimean Peninsula. Monograph]. Simferopol: N. Oreanda, 2012. 232 p. (in Russian).
- Grishankov G.E. Pozachenjuk E.A. Landshaftnaya karta Kryma [Landscape map of Crimea]. M., 1984. Dep. VINITI 12.10.84, № 3389.
- Podgorodetskij P.D. Krym: Priroda [Crimea: nature]. Simferopol': Tavriya, 1988. 192 p. (in Russian).
- Pozachenjuk E.A. Landshaftnoe raznoobrazie Kryma [Landscape diversity of Crimea] // Uchenye zapiski Krymskogo federalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Nauchnyj zhurnal Seriya-Geografiya. 2015. T. 1. № 4. P. 37–50 (in Russian).
- Pozachenjuk E.A. Pankeeva T.V. Geoekologicheskaya ekspertiza administrativnyh territorij [Geoecological examination of administrative territories]. Sevastopol: Biznes-Inform, 2008. 296 p. (in Russian).
- Seregin A.P., Evseenkov P.E., Svirin S.A., Fateryga A.V. Second contribution to the vascular flora of the Sevastopol area (the Crimea) // Wulfenia. 2015. V. 22. P. 33–82.
- Sobolev N.A. Ekologicheskij karkas Rossii. Indikativnaya shema [Ecological framework of Russia. Indicative scheme] / Ed. Prof. A.A. Tishkov. M.: Institut geografii Rossijskoj akademii nauk, 2015. 16 p. (in Russian).
- Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020, including Aichi Biodiversity Targets [Electronic resource]. Access: <https://www.cbd.int/sp/> (30.03.2017).

Received 06.07.2017
Accepted 13.09.2017

¹ The Branch of the Lomonosov Moscow State University in Sevastopol, Department of Geography, Senior Lecturer; e-mail: e_katerina.05@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: egolubeva@gmail.com

ЮБИЛЕИ

80-летие ЕВГЕНИЯ ИВАНОВИЧА ИГНАТОВА

Воспитанник географического факультета МГУ Евгений Иванович Игнатов – профессор кафедры геоморфологии и палеогеографии, «Заслуженный профессор МГУ» – окончил географический факультет в 1964 г. по специальности географ-геоморфолог и посвятил себя решению проблем геоморфологии и экологии берегов и дна морей. Он начал свою научную деятельность с экспедиции в Антарктиду (1964–1966), где побывал еще совсем молодым специалистом. После длительного (1969–1970) пребывания на Кубе и преподавательской работы в Гаванском университете, он защитил в 1972 г. кандидатскую диссертацию на тему «Геоморфология побережья и дна залива Батабано (Куба)». Докторская диссертация Е.И. Игнатова «Береговые морфосистемы Приморья», которую он защитил в 2005 г., была посвящена проблемам развития берегов Дальнего Востока. Результаты его исследований практически на всех морях России опубликованы более чем в 200 печатных работах, включая 22 монографии и 11 учебно-методических пособий.

Общий стаж педагогической работы Е.И. Игнатова составляет 50 лет. В последние годы на географическом факультете он читает лекционные курсы «Физическая география океанов», «Методы геоморфологических исследований», «Береговые морфосистемы» и «Геоморфологический анализ цунамиопасных районов», «Природные риски и прогноз». В течение 17-ти лет он заведует кафедрой геоэкологии и природопользования в Черноморском филиале МГУ (Севастополь), где читает учебные курсы «Морская геология», «Геоэкология береговой зоны», «Экологический риск», «Береговые морфосистемы», «Методология современной географии», «География прибрежной зоны», «Физгеография мира (физгеография океана)». Е.И. Игнатов подготовил 8 кандидатов наук, руководит магистерскими, дип-

ломными и курсовыми работами, участвовал в работе ГАК географического факультета, является членом ГАК и ученого совета Черноморского филиала МГУ.

Научно-педагогическая деятельность Е.И. Игнатова высоко оценена научной общественностью: он лауреат премии имени Д.Н. Анучина (2005), неоднократный лауреат конкурса «Грант Москвы» в области наук и технологий в сфере образования. Он ведет большую научно-организационную работу в качестве действительного члена всероссийской рабочей группы «Морские берега» Совета РАН по проблемам Мирового океана, является членом-корреспондентом Международной академии информатизации, академиком Российской академии естественных наук и Российской экологической академии, он – член Географического общества (с 1977 г.). Е.И. Игнатов активно включается в решение практических проблем в береговых регионах страны: он был одним из руководителей при подготовке переданного в Правительство Технико-экономического доклада по влиянию современного колебания уровня Каспийского моря на состояние его берегов, участвовал в рассмотрении проблемы запрещения промышленной разработки песков в районе Анапы, на разных административных уровнях отстаивал правильность подходов к защите берегов Большого Сочи, занимается вопросами экологии берегов Сахалина в связи с нефтедобычей.

Е.И. Игнатов всегда готов прийти на помощь своим коллегам и студентам, которых он не только терпеливо обучает азам географии, но и всесторонне поддерживает, и они отвечают ему неизменной и большой симпатией.

Поздравляя Евгения Ивановича с юбилеем, его друзья и коллеги желают ему крепкого здоровья, преданных учеников и больших творческих успехов!

Редколлегия журнала

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. К публикации также принимаются краткие сообщения (объем до 4 стр. или 4000 знаков с пробелами, до 2 рисунков и до 10 позиций в списке литературы), информация о научных конференциях и событиях, рецензии на книги. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Комплектность. Представленные в редакцию материалы должны включать направление с места работы (учебы) автора; текст статьи, подписанный всеми авторами; аннотацию статьи и ключевые слова на русском и английском языках; таблицы, рисунки и подписи к ним. Материалы (за исключением направления) представляются в распечатанном виде в двух экземплярах и в электронном виде.

Структура и оформление статьи. На первой странице статьи необходимо указать УДК (печатается над заголовком статьи слева), инициалы и фамилию автора, название статьи. Внизу страницы в виде цифровых сносок для каждого автора указываются место работы, должность, ученая степень, адрес электронной почты. Информация о выполнении работы в рамках программы (проекта), о ее финансовой поддержке указывается в конце статьи. Изложение должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Текст набирается шрифтом Times New Roman 14 кеглем через 1,5 интервала, с отступом абзацев 1,25 см. Страницы А4 имеют верхнее и нижнее поля 2 см, 2,5 см слева и 1,5 см справа; с нумерацией вверху страницы. Объем статьи не должен превышать 14–16 страниц (включая список литературы и таблицы) и не более 3–4 рисунков. Статьи больше-

го объема могут быть опубликованы в исключительных случаях по решению редакционной коллегии.

Нумерация формул (сплошная по всей статье) указывается в скобках цифрами (1, 2 и т. д.) с правой стороны. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

Список литературы приводится в конце статьи: сначала в соответствии с русским алфавитом, затем – с английским, по тексту статьи даются ссылки в квадратных скобках [Иванов, 1985]. Библиографическое описание дается в следующем порядке: фамилии и инициалы авторов, полное название монографии, место издания, издательство, год издания, страницы; для периодических изданий – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год выпуска, том, номера страниц. Для списка References (рекомендуем пользоваться ресурсом <http://www.translit.ru>) для русскоязычных позиций сделать транслитерацию ФИО авторов и названия работы; в квадратных скобках дать перевод названия на английский язык, транслитерацию выходных данных, в скобках (in Russian). Ссылки на иностранных языках остаются в оригинальном варианте. Пример оформления первой страницы и списка литературы см. на сайте журнала.

Таблицы печатаются на отдельной странице каждая, кегль 14, через 1,5 интервала. Нумеруются по порядку упоминания их в тексте арабскими цифрами. После номера должно следовать название таблицы. Все графы в таблицах должны иметь заголовки и быть разделены вертикальными линиями.

Все рисунки желательно присылать в формате JPEG, отдельным файлом. На иллюстрациях следует избегать лишних деталей и надписей (надписи рекомендуется заменять цифрами или буквами, разъяснение которых дается в подписи или в тексте). Линии на рисунках должны быть четкими (5–6 pix). Ширина рисунков не должна превышать 180 мм, высота – 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунке Times New Roman (9–10-й кегль). Рисунки должны быть черно-белыми, рекомендуется применять разные типы штриховки (с размером шага, позволяющим дальнейшее уменьшение). Фото должны быть черно-белыми, контрастными.

Подписи рисунков представляются на отдельной странице, кегль 14, через 1,5 интервала.

Статьи принимаются на географическом факультете в комнате 2108а. Тел. 8-495-939-29-23.

Электронный адрес редколлегии:

<http://geogrmsu.epub.ru>

Плата за публикацию не взимается.