

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

- Чалов Р. С. Временная трансформация морфодинамических типов русел больших равнинных рек 3

География и экология

- Касимов Н. С., Власов Д. В. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах российских городов (по данным ежегодных докладов Росгидромета) 14
- Илларионова О. А., Климанова О. А. Трансформация «зеленой инфраструктуры» в крупных городах Южной Америки 23
- Виноградова В. В. Изменение природно-климатической дискомфортности в XX–XXI веках на территории России 30

Методы географических исследований

- Ковач Р. Г., Геннадиев А. Н., Пиковский Ю. И., Белик А. Д. Динамика углеводородных газов в почвах: новый подход к изучению и индикаторный потенциал 40
- Бодрова В. Н. Картографирование лесистости острова Сарпинский Волгоградской области 47

Региональные исследования

- Семиколенных Д. В., Арсланов Х. А., Игнатов Е. И., Лукша В. Л. Эволюция природной среды района Керченского пролива за последние 25 тысяч лет 55
- Хорошев А. В., Ткач К. А., Муртазина Д. У. Влияние ландшафтных условий на урожайность зерновых культур в степной зоне Северного Казахстана 62
- Люри Д. И., Некрич А. С., Карелин Д. В. Изменение пахотных площадей в России в 1990–2015 гг. и почвенная эмиссия диоксида углерода 70
- Курбанов Р. Н., Янина Т. А., Мюррей А. С., Борисова О. К. Гирканский этап в позднелейстоценовой истории Манычской депрессии 77

Краткие сообщения

- Тикунов В. С., Белозеров В. С., Антипов С. О., Супрунчук И. П. Социальные медиа как инструмент анализа посещаемости туристических объектов (на примере Ставропольского края) 89
- Белова Е. Д. Кинематографический туризм в России 96

C O N T E N T S

Theory and methodology

- Chalov R. S. Temporal transformation of morphodynamic types of channels of the large lowland rivers 3

Geography and ecology

- Kasimov N. S., Vlasov D. V. Heavy metals and metalloids in urban soils of Russian cities (according to the annual reports of Rosgidromet) 14
 Illarionova O. A., Klimanova O. A. Transformation of green infrastructure in large cities of South America 23
 Vinogradova V. V. Changes of natural-climatic discomfort within the territory of Russia in the 20th – the beginning of the 21st century 30

Methods of geographical studies

- Kovach R. G., Gennadiev A. N., Pikovskij Yu. I., Belik A. D. Dynamics of hydrocarbon gases in soils: new approach to the studies and the indication potential 40
 Bodrova V. N. Mapping of forest coverage of the Sarpinsky Island (Volgograd oblast) 47

Regional studies

- Semikolennykh D. V., Arslanov Kh. A., Ignatov E. I., Luksha V. L. Evolution of natural environment of the Kerch Strait area during recent 25 thousand years 55
 Khoroshev A. V., Tkach K. A., Murtazina D. U. Influence of landscape pattern on productivity of grain crops in the steppe zone of Northern Kazakhstan 62
 Lyuri D. I., Nekrich A. S., Karelin D. V. Cropland dynamics in Russia in 1990–2015 and soil emission of carbon dioxide 70
 Kurbanov R. N., Yanina T. A., Murrey A. S., Borisova O. K. Hyrkanian epoch in the Late Pleistocene history of the Manych depression 77

Short communications

- Tikunov V. S., Belozerov V. S., Antipov S. O., Suprunchuk I. P. Social media as a tool for the analysis of tourist objects (case study of the Stavropol Kraj) ... 89
 Belova E. D. Cinema-induced tourism in Russia 96

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 556.5:551.4.04

Р.С. Чалов¹**ВРЕМЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ МОРФОДИНАМИЧЕСКИХ ТИПОВ РУСЕЛ БОЛЬШИХ РАВНИННЫХ РЕК**

На основе ретроспективного анализа переформирования широкопойменных русел больших равнинных рек России рассмотрены основные направления трансформации их морфодинамических типов за историческое время (то есть за период, охваченный наблюдениями на гидрологических постах и составлением карт русел, зафиксировавших их состояние на разные временные срезы). Эти преобразования увязываются с естественными изменениями водности рек (ее возрастанием), увеличением стока наносов, чередованием в многолетнем плане многоводных и маловодных периодов, зарастанием прирусловых отмелей, активизирующимся с последней четверти XX в., и антропогенными воздействиями на факторы русловых процессов (при создании водохранилищ) и сами русла (при выполнении дноуглубительных и выправительных работ на судоходных реках), в наибольшей и все возрастающей степени проявляющимися с 1960-х гг. Показано, что чем больше река (ее водность, ширина и соотношение ширины и глубины русла), тем незначительнее реакция русловых процессов на эти изменения и воздействия: они не устанавливаются в нижнем течении таких рек, как Лена, Енисей, Обь. Определены на большом фактическом материале основные схемы трансформаций меандрирующих (извилистых), разветвленных и относительно прямолинейных русел.

Ключевые слова: русловые процессы, морфодинамические типы русел, излучины, прирусловые отмели, водность рек, сток наносов.

Введение. При изучении руслового режима рек обычно фиксируется современное состояние русел и дается оценка их переформирования в рамках существующего морфодинамического типа, хотя и с учетом саморазвития русловых форм, их эволюции, приводящих к изменению параметров излучин (степени развитости, радиусов кривизны, шагов, ширины русла на перегибах между ними) или разветвлений [Водные ..., 1995; Русловые ..., 1996, 2001, 2012; Назаров, Егоркина, 2004; Рысин, Петухова, 2006]. В таком же ключе рассматриваются древние излучины, точнее их морфологические следы в рельефе пойм, но в палеогидрологическом аспекте на протяжении верхнего плейстоцена–голоцена. Гидролого-морфологические зависимости позволяют связать различия параметров современных и древних излучин, восстановленных по рельефу пойм, с изменениями водности рек [Сидорчук с соавт., 2000]. Реже в литературе встречаются упоминания, что рельеф пойм не соответствует морфодинамическому типу русла современной реки. Так, на средней Лене, реке со сложно разветвленным руслом, обнаружены элементы сегментно-гравистой поймы, обязанной своим происхождением меандрированию реки [Чернов, 1975]; на верхней Оби, пойма которой сформировалась в процессе меандрирования реки, современное русло – разветвленное или относительно прямолинейное, неразветвленное [Чалов, 1966; Беркович с соавт., 1990]; на нижней Выгегде современное русло раз-

ветвленно-извилистое, формирующее сегментно-островную пойму, тогда как большая часть поймы – сегментно-гравистая [Чалов, 1974].

В приведенных примерах смена одного типа русла другим или изменение параметров и формы русловых образований в течение всего времени формирования поймы увязывается с крупными гидроклиматическими событиями в голоцене и даже в верхнем плейстоцене. Подобные трансформации русел, но в меньших масштабах и за короткие временные интервалы, чаще в рамках одного и того же основного морфодинамического типа, то есть на уровне его разновидностей, происходят за время, охваченное гидрологическими наблюдениями и составлением карт и планов русел, фиксирующих их состояние на определенные временные срезы. Это время в русловедении принято называть историческим [Чалов, 2008]. На это же время приходится все возрастающее антропогенное воздействие на сами русла и факторы русловых процессов. Создание водохранилищ или их каскадов, выправительные и дноуглубительные работы на судоходных реках, массовая разработка аллювиальных строительных материалов, возведение водозаборов, мостовых и подводных переходов коммуникаций, других гидротехнических сооружений, а также сведение лесов и распашка земель на водосборах создают предпосылки для изменений руслового режима рек, их морфологии и динамики. Однако внимание исследова-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор; научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева, гл. науч. с., докт. геогр. н., профессор; e-mail: rschalov@mail.ru

телей в основном акцентируется на направленных вертикальных деформациях (врезание/аккумуляция наносов), происходящих вследствие воздействий [Серебряков, 1970; Транспортное ..., 1972; Беркович, 2001, 2012], причем дается обстоятельный анализ глубинной эрозии и «посадки» уровней в нижних бьефах гидроузлов и лишь попутно говорится о наблюдаемых одновременно преобразованиях морфологии русел и их горизонтальных деформаций. Трансформации русел рек вследствие периодических и направленных естественных изменений водности остаются, как правило, вне сферы внимания, или только констатируется сам их факт без оценки причин. Лишь в последнее время появились работы, в которых по существу впервые на основе большого фактического материала рассматривается реакция русел на изменения природной среды и климата (водности рек и стока наносов) с учетом антропогенных воздействий [Каргаполова, 2006; Львовская, 2016].

Постановка проблемы. Смена морфодинамического типа русла или его трансформация на уровне разновидностей как следствие саморазвития (эволюции) русловых форм, естественных и антропогенно обусловленных изменений факторов русловых процессов (стока воды и наносов) или непосредственных техногенных воздействий на русла определяет необходимость разработки и применения иных методов и приемов (или их корректировки) управления русловыми процессами при решении задач, связанных с водохозяйственным и воднотранспортным освоением рек и водных ресурсов, строительством инженерных сооружений на берегах, прокладкой через реки коммуникаций и пр. Задачей настоящей статьи является определение основных путей естественных и антропогенных преобразований морфодинамических типов русел или их разновидностей за историческое время и их причин, оценка соотношений периодических трансформаций, связанных с циклическими колебаниями факторов, и направленными их изменениями с учетом эволюции русловых форм и характером антропогенных (техногенных) воздействий на русла и факторы русловых процессов.

Материалы и методы исследований. В основу статьи положены результаты многолетних исследований руслового режима средних и крупных рек России и сопредельных стран, в ряде случаев с неоднократной повторностью, включающие анализ сопоставленных карт (в прошлом лоцманских) русел разных лет издания, начиная со второй половины XVIII в. для одних и до 1920-х гг. для других рек (в зависимости от времени их освоения), космических снимков и планов перекатов, позволившие дать ретроспективную характеристику переформирования русла. Использование гидрологической информации и данных об антропогенной нагрузке на реки и ее формах дали возможность установить связи переформирования русел с колебаниями водности рек, направленными ее изменениями и антропогенными воздействиями.

Основными объектами исследований были реки или протяженные участки рек со слабоустойчивыми руслами, формирующимися в условиях свобод-

ного развития русловых деформаций, неограниченных геолого-геоморфологическим строением долин и, соответственно, чутко реагирующим на колебания или изменения водности, стока наносов и антропогенные воздействия: Северная Двина, Вычегда, Лена в среднем и нижнем течении, Вилой, верхняя и средняя Обь, низовья Катунь, нижняя Печора, Енисей ниже Майнского и Красноярского гидроузлов, Мезень (нижнее течение); были использованы также материалы по китайским рекам Хуанхэ и Янцзы, Висле (Польша), Днестру (Молдавия), Неману (Белоруссия, Литва), Амударье (Узбекистан).

Результаты исследований и их обсуждение.

Методологической основой для выявления причин трансформации морфодинамических типов русла являются зависимости параметров форм русла π (степени развитости, радиусов кривизны r и шагов L излучин; степени многорукавности, размеров островов, радиусов кривизны излучин рукавов у разветвленных русел) от водности рек (среднегодового $Q_{\text{ср}}$, средне максимального $Q_{\text{ср.макс}}$, руслоформирующего $Q_{\text{ф}}$ расходов воды) $\pi = f(Q)$, устойчивости русел, оцениваемой числом Лохтина (L) или коэффициентом стабильности русла Н.И. Маккавеева (K_c), $\pi = f(L)$, $\pi = f(K_c)$ и показателя распластанности (квазиоднородности) потока И.Ф. Карасева

[1975] $\Theta = \frac{b_p}{h} \sqrt{\lambda}$ (b_p – ширина, h – глубина русла,

$\lambda = \frac{g}{C^2}$ – коэффициент гидравлических сопротивле-

ний, $C = \frac{1}{n} h^{\frac{1}{6}}$ – коэффициент Шези, n – шерохова-

тость русла). При малых значениях Θ в потоке четко выражена динамическая ось, при увеличении Θ существует широкая стрежневая зона потока, при больших значениях Θ поток распадается на несколько стрежневых зон, между которыми находятся области замедления течения. В свою очередь b_p и h зависят от Q , причем b_p растет с увеличением водности быстрее и намного больше, чем h , вследствие

чего зависимость $\frac{h}{b_p} = f(N)$ (здесь N – порядок

водотока) экспоненциальная [Ржаницын, 1985]. На это накладывается влияние устойчивости русла: при прочих равных условиях b_p в устойчивом русле меньше, h больше по сравнению со слабоустойчивым и неустойчивым. Например, на верхней Оби рост L вниз по течению приводит к уменьшению b_p в несколько раз, несмотря на увеличение водности реки из-за впадения притоков (рис. 1).

В нижних бьефах гидроузлов регулирование стока приводит к уменьшению величин $Q_{\text{ср.макс}}$ и $Q_{\text{ф}}$ и соответственно к изменениям соотношений $\pi = f(Q)$. Перехват водохранилищем стока наносов создает новые условия формирования русла, сопровождаемые интенсивной глубинной эрозией, увеличением устойчивости русла, активизацией размывов берегов, увеличением ширины и глубины русла (полноты его поперечного сечения) [Транспортное ..., 1972; Беркович, 2012] и уменьшением значений показате-

ля И.Ф. Карасева Θ . К такому же или близкому эффекту (изменению морфометрических характеристик, увеличению устойчивости и уменьшению показателя Θ) приводят дноуглубительные работы на судоходных реках и сплошные карьерные разработки в руслах рек. Выправительные сооружения, перекрывая частично или полностью рукава, стесняя русло и вызывая рост его глубины, изменяют гидравлическую структуру потока.

Естественные трансформации русел, приводящие к смене морфодинамического типа русла или его разновидностей за историческое время без антропогенного вмешательства, обусловленные изменениями водности рек, не так многочисленны. Это связано с относительно невысокими значениями этих изменений за сравнительно короткие сроки, охваченные наблюдениями, и фиксацией состояния русел, а также консервативностью русел по отношению к изменениям активного фактора – стока воды: нужно большее или меньшее время, необходимое для релаксации русел, то есть их приспособления к новым условиям. Оно зависит от устойчивости, морфодинамического типа русла, размеров (водоносности реки). Оно сокращается на участках рек с неустойчивым руслом, многократно возрастает на реках с устойчивым руслом и практически не сказывается во врезанных руслах с галечно-валунным составом руслообразующих наносов. На крупнейших реках даже с неустойчивым руслом изменение водности не приводит к заметным изменениям в их морфодинамике из-за относительной незначительности этих изменений и максимально возможной сложности морфологии русел.

В этом отношении показательно широкопойменное русло средней и нижней Лены [Чалов с соавт., 2016]. В конце XX – начале XXI вв. сток воды на нижней Лене увеличился на 39 км³ (из них 43% приходится на с. Табага выше г. Якутска, то есть на среднюю Лену, остальное – на притоки, начиная от устья р. Алдана), что составляет 6,8% от среднегодовой величины [Магрицкий, 2015]. Это привело к неодинаковой реакции русловых процессов на разных участках реки в пределах Центрально-Якутской низменности. От г. Покровска до п. Жатая (рис. 2, А) в XIX – начале XX вв. русло было представлено сопряженными разветвлениями, образованными пятью группами островов, возле которых преимущественное развитие получили последовательно правый – левый – правый – левый (Городская протока у г. Якутска) – правый (о-в Пономарев) рукава. К 1930–40-м гг. произошло перераспределение стока и изменение значимости рукавов в каждом звене сопряженной системы (левый – правый – левый – правый – левый), произошло обмеление и превращение в пойменные ответвления во всех звеньях, кроме нижнего (у о. Пономарева), бывших в XIX в. основными рукавов и сосредоточение потока (более 90% общего расхода воды) во вновь развившихся рукавах (соответственно перемещалась

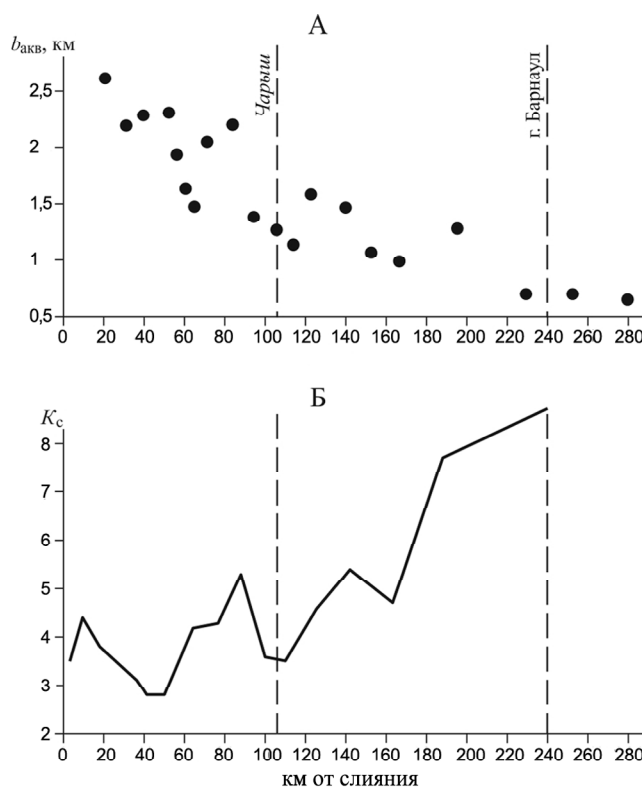


Рис. 1. Изменение ширины b_p (А) и устойчивости русла K_c (Б) на верхней Оби от слияния Бии и Катунь до г. Барнаула по длине реки

Fig. 1. Changes of channel width b_p (А) and stability K_c (Б) in the Upper Ob' River from the confluence of the Biya and Katun' rivers to Barnaul

трасса судового хода). При этом в правых рукавах второго («разбой»² Рассолода) и четвертого (Якутский «разбой») звеньев, отличающихся неустойчивым руслом ($K_c=2,8-4,5$, $L<9,5$ – по классификации для крупнейших рек [Чалов, 2008], Θ – самый большой, >40), образовалось по две ветви течения – вдоль правого (в Якутском «разбое» – коренного) берега и вдоль островов, примыкающих к левобережной пойме и раньше составлявших основу звеньев бывших сопряженных разветвлений. Между обоими ветвями течения сформировались небольшие острова и крупные осередки. В Якутском «разбое» правая ветвь течения стала направляться в правый рукав у о. Пономарева – Буорыларскую протоку, левая – в левый рукав – Адамовскую протоку, вместе с которыми эти ветви составили параллельно-рукавное разветвление (рис. 2, Б). Такое же параллельно-рукавное разветвление возникло и в правом рукаве бывшего сопряженного разветвления в «разбое» Рассолода.

Между г. Покровском и «разбоем» Рассолода бывшее здесь звено сопряженных разветвлений перестало существовать, а острова второго порядка на заходе в левый рукав теперь образовали сложное одиночное разветвление. Третье звено бывших сопряженных разветвлений (между Табагинским утесом и Якутским «разбоем») превратились в уча-

² Разбой – местное название сложноразветвленных участков русла на р. Лене.

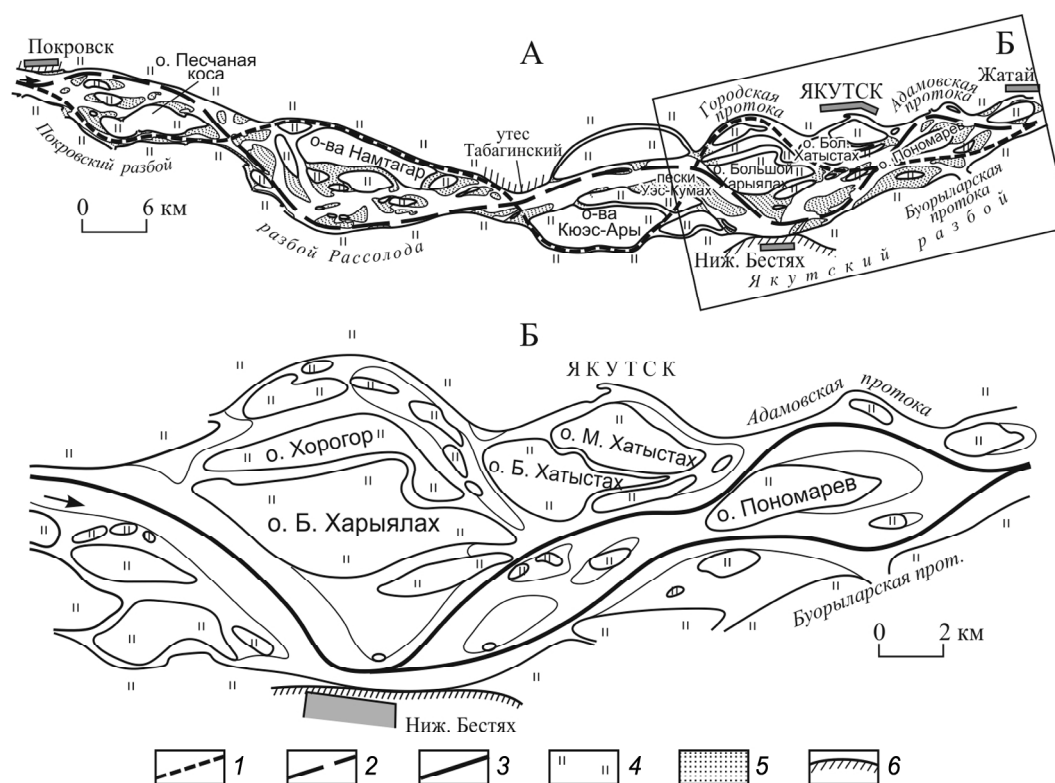


Рис. 2. Переформирования сопряженных разветвлений р. Лены на участке г. Покровск – п. Жатай в XIX – начале XX вв. (А) и образование параллельно-рукавного разветвления в Якутском «разбое» (Б). Оси основных рукавов и ветвей потока: 1 – XIX – начало XX вв.; 2 – середина XX в.; 3 – конец XX – начало XXI вв.; 4 – пойма; 5 – прирусловые отмели; 6 – коренные берега

Fig. 2. Braided channels of the Lena River on the reach from Pokrovsk to Zhataj in the 19th – beginning of the 21st century (A) and formation of a parallel branch channel reach near Yakutsk (B). Flow axis of main channel branches: 1 – the 19th – beginning of the 20th century; 2 – the middle of the 20th century; 3 – the end of the 20th century – the beginning of the 21st century; 4 – flood-plain; 5 – meander bars; 6 – valley sides

сток прямолинейного неразветвленного русла, соответствующего при Q_{ϕ} кривой спада уровней и размыву русла ниже сужения поймы в створе Табагинского утеса (максимальный подъем уровней воды на г. п. Табага почти на 2 м больше, чем на г. п. Якутск).

Ниже по течению русло относительно устойчивое и трансформация его морфодинамического типа не происходит; наблюдаются только присущие односторонним чередующимся разветвлениям переформирования (правда, еще в XVIII–XIX вв. здесь, по видимому, судя по рельефу и растительности островов, были сопряженные разветвления, но смена типа русла произошла до появления первой карты русла).

Трансформация сопряженных разветвлений в параллельно-рукавное в конце XX в. произошла также на приалданском участке длиной около 50 км. Ниже устья р. Алдана, увеличивающего водный сток Лены почти на 30%, русло изначально параллельно-рукавное, очень сложно разветвленное, суммарной шириной (вместе с островами) от 10 до 28 км, неустойчивое и, соответственно, постоянно интенсивно переформировывающееся. В этих условиях выявить возможные трансформации русла практически невозможно, причем не только обусловленные изменениями водности реки, но и техногенными воздействиями – эпизодическими дноуглубительными работами на отдельных перекатах (ширина прорезей – 100 м, длина – максимум 2–3 км).

Таким образом, повышение водности средней Лены сопровождалось трансформацией сопряженных разветвлений в параллельно-рукавное на участках неустойчивого русла и вне зон влияния других факторов (например, распространения кривой спада уровней ниже местного сужения дна долины, где, наоборот, произошло образование одиночного разветвления или формирование прямолинейного неразветвленного русла). Оно не сказалось на морфологии относительно устойчивого русла нижней Лены и ее части, характеризующейся неустойчивым, но морфологически самым сложным руслом с параллельно-рукавными разветвлениями.

Аналогичные трансформации русла (сопряженные разветвления → параллельно-рукавное разветвление) произошли во 2-й половине XX в. на р. Печоре в нижнем течении (рис. 3, А), где они соответствуют слабому повышению водности реки [Водные ..., 2008].

Формирование параллельно-рукавных разветвлений, заменивших прямолинейное неразветвленное русло и включивших в себя одиночные разветвления, произошло в XX в. на Северной Двине, в бассейне которой отмечалось только чередование многоводных и маловодных периодов, охватывающих иногда первые десятки лет, но направленные изменения водности не проявлялись [Водные ..., 2008]. Здесь эти трансформации произошли в связи с воз-

никновением местного мощного источника поступления наносов из-за начавшегося размыва уступа 30–40-метровой песчаной террасы – Толоконной горы, которая раньше была отделена от русла узкой поймой. Пойма была размыва по мере развития излучины, и поток стал контактировать непосредственно с уступом террасы. Скорость его отступления составила от 2 до 5,4 м в многоводные годы и от 8 до 14 м в маловодные, возрастая с увеличением степени развитости и крутизны излучины. При длине фронта размыва около 3 км и глубине плесовой ложины 8–10 м в русло ежегодно (причем в основном во время половодья) поступает до 1 млн м³ песка.

Аккумуляция избыточного количества поступающих в поток наносов явилась причиной появления уже к середине XX в. цепочки островов протяженностью около 25 км, образовавших Паечно-Ягрышское параллельно-рукавное разветвление. В конце XVIII в. русло здесь было прямолинейным неразветвленным и лишь в нижней части участка представляло собой сопряженные разветвления из двух звеньев, занимавших не более четверти длины участка и располагавшихся перед сужением днища долины, где русло становится врезанным.

Влияние этого дополнительного источника наносов прослеживается на протяжении более 200 км до устья Ваги: помимо Паечно-Ягрышского образовались к 70–80-м гг. XX в. Слудско-Липовецкое (рис. 3, Б) и Концгорское параллельно-рукавные разветвления (вместо ранее существовавших одиночного разветвления и прямолинейного неразветвленного русла с массивными побочными в первом случае и сопряженных разветвлений из двух звеньев во втором). При слиянии с р. Вагой это привело к трансформации дельтового разветвления. Если в конце XIX в. оно представляло собой «дельту выдвигания» Ваги, то уже в середине XX в. вследствие избыточного поступления сюда наносов Северной Двины и их аккумуляции в зоне подпора от притока здесь образовался крупный остров на месте обширных прирусловых отмелей – аналог «дельты выполнения» с некоторым смещением ниже стрелки в узле слияния (рис. 4). На р. Зее [Клавен с соавт., 2005] избыточное поступление наносов при размыве песчаной Белой горы привело к смене свободно меандрирующего русла разветвленным; на малой реке Поломети (Валдайская возвышенность) аккумуляция поступившего при размыве коренных берегов материала сопровождалась повышением уровней, усилением затоплений поймы во время половодья и, как следствие, массовым спрямлением излучин и их

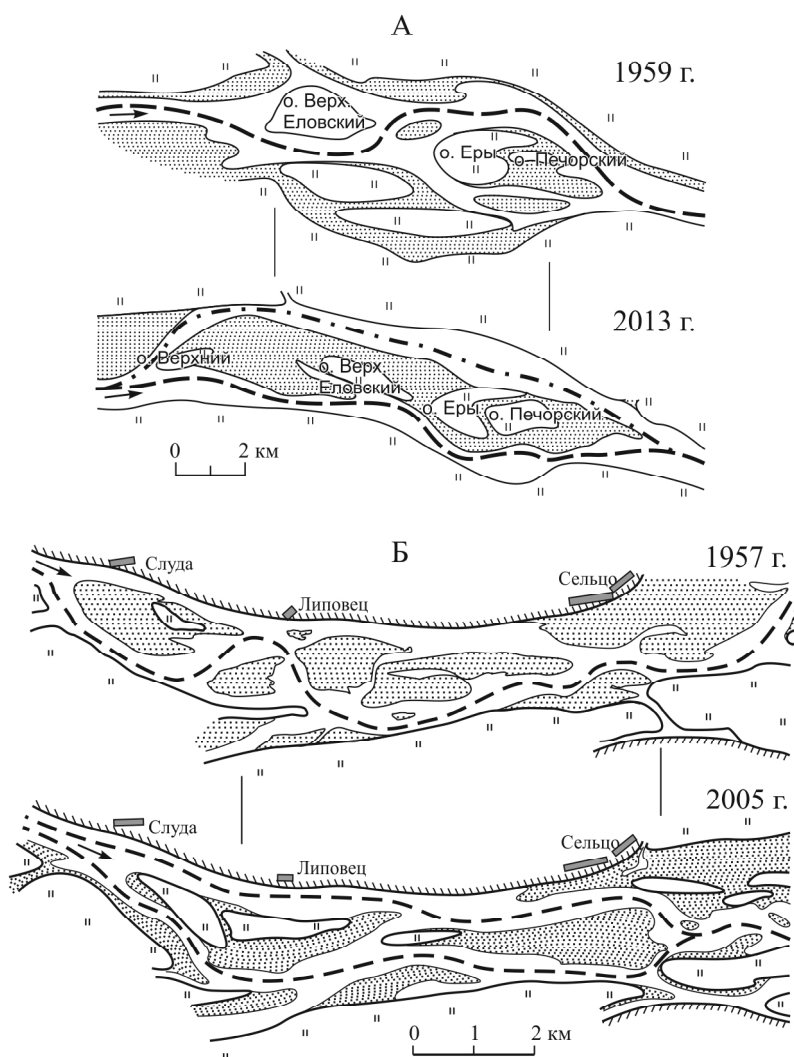


Рис. 3. Преобразование сопряженных разветвлений русла в нижнем течении р. Печоры (А) и одиночного разветвления и неразветвленного прямолинейного русла при зарастании прирусловых отмелей (осередков) на Северной Двине (Б) в параллельно-рукавное

Fig. 3. Transformation of conjugated braided channel reaches of the Lower Pechora River (A) and a single braided reach and straight channel reach into parallel branch braided channel under overgrowth of channel bars of the Severnaya Dvina River (B)

серий, то есть трансформацией крутых, часто петлеобразных излучин в относительно прямолинейное или полого-извилистое русло.

Трансформации русла способствовало наметившееся в XX в. и особенно активизировавшееся в его конце зарастание прирусловых отмелей как на Северной Двине (рис. 4, планы русла 1881 и 2005 гг.), так и на Вычегде, Мезени, Печоре, реках Сибири. На р. Мезени за 1938–2009 гг. 50–60% площади обсыхающих в межень отмелей превратилось в пойменные острова, причем возраст наиболее старых древовидных кустарников по данным дендрохронологических определений составил 30–40 лет [Чалов с соавт., 2010]. На Северной Двине (рис. 3, Б) прямолинейное неразветвленное русло с развитыми осередками превратилось в параллельно-рукавное разветвление. Причины зарастания отмелей разнообразны, хотя в основе лежит увеличение длитель-

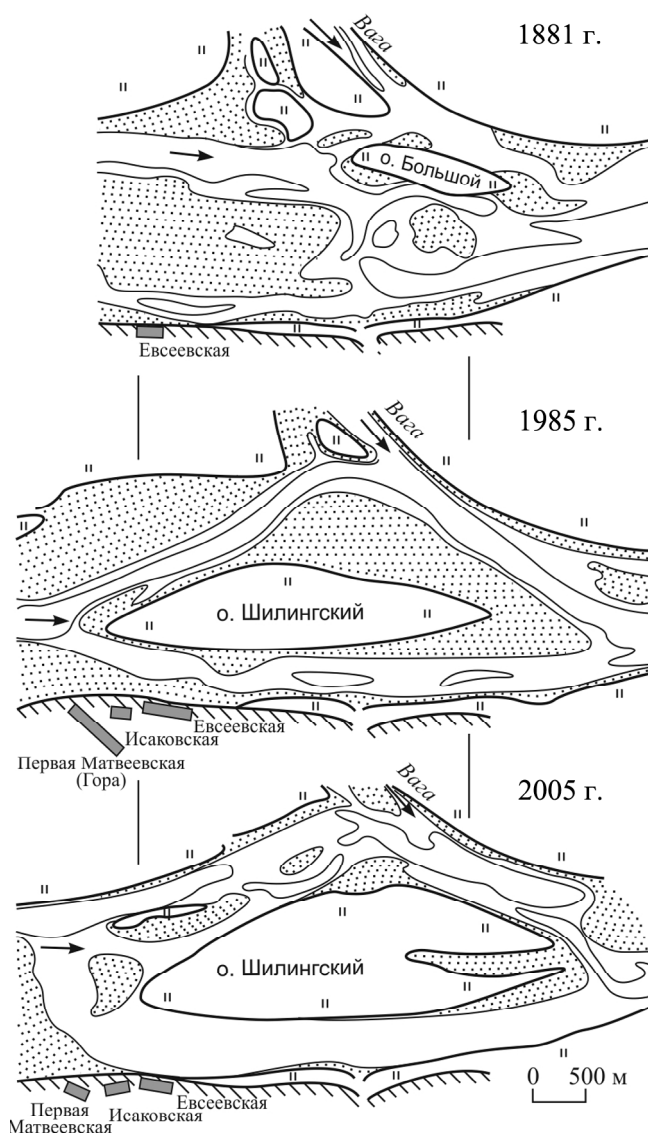


Рис. 4. Трансформация разветвления в узле слияния Северной Двины и Ваги

Fig. 4. Transformation of a braided channel reach at the confluence of the Severnaya Dvina and Vaga rivers

ности их обсыхания в межень [Чалов с соавт., 2016]. На верхней Оби, Лене, Вычегде оно связывается с естественным медленным врезанием реки и соответствующим снижением уровня воды. На Северной Двине, аккумулирующей наносы, В.В. Сурков [Русловые ..., 2012] связал зарастание отмелей с уменьшением стока в 1960–80-е гг. [Алабян с соавт., 2003]; последующий многоводный период, когда затопляемость отмелей возросла, наличие растительности на них способствовало накоплению наилка, росту отмелей в высоту, дальнейшему развитию почвенно-растительного покрова и превращению отмелей в молодую пойму.

Зарастание отмелей приводит к сужению зоны активного перемещения руслообразующих наносов во время половодья и, следовательно, к активизации русловых деформаций. На реках с разветвленным руслом из-за этого усиливается рассредоточе-

ние потока по рукавам, на меандрирующих происходит рост удельного (отнесенного к ширине русла в пойменных бровках) расхода воды и, соответственно, изменение параметров излучин, поскольку $\pi = f(Q)$.

Для рек с извилистым (меандрирующим) руслом повышение водности сопровождается увеличением длительности и глубины затопления пойм и, как следствие, повышение вероятности спрямления излучин по достижению ими стадии развитой или крутой ($l/L = 1,4 \div 1,7$; здесь l – длина, L – шаг излучины), то есть образования прорванных излучин (незавершенное меандрирование по ГГИ [Кондратьев с соавт., 1982]). Это, например, наблюдается на средней Оби (ниже устья р. Томи), где за последние 50–60 лет спрямилось таким образом 6 излучин, а доля прорванных составила 22% от суммарной длины всех излучин (15% от общего их количества).

На больших и крупнейших реках роль естественного повышения водности в трансформациях русел из-за ее относительной незначительности во многих случаях затушевывается влиянием на русловые преобразования чередования многоводных и маловодных циклов разной продолжительности и не проявляется в течение сравнительно короткого периода, охваченного наблюдениями. Это усугубляется тем, что происходящие перестройки русла иногда приобретают необратимый характер, так как сопровождаются изменением положения русла по отношению к пойме и коренным берегам и, как следствие, изменением гидравлической структуры потока при прохождении руслоформирующих расходов воды. Так, на Северной Двине на участке д. Телегово – с. Краснотборск до конца XIX в. русло, отклоняясь от левого коренного берега, меандрировало; в последующий многоводный период конца XIX – начала XX вв. [Каргаполова, 2006] произошла самая крупная трансформация русла из-за спрямления серии излучин вдоль маловодных пойменных проток в тыловой части левобережной поймы, перемещение реки к левому берегу и образование здесь неразветвленного прямолинейного русла и разветвлений разного типа. Старое извилистое русло превратилось в пойменные ответвления (полои), расчленяющие теперь уже правобережную пойму на отдельные массивы.

Более распространено при чередовании многоводных и маловодных лет периодическое преобразование одного типа русла в другой. Так, в маловодные циклы начинают отмирать рукава в прорванных излучинах и активизируется поперечное смещение развитых, их искривление вплоть до превращения в петлеобразные; в многоводные годы прорванные излучины восстанавливаются. В разветвленном русле в многоводные годы сопряженные разветвления трансформируются в параллельно-рукавные, в маловодные – параллельно-рукавные вновь превращаются в сопряженные [Чалов, Кирик, 2015].

Спрявление излучин или развитие рукавов вдоль ведущего коренного берега – фактор преобразования извилистого русла в относительно прямолинейное (верхняя Обь, Вычегда), одиночных и сопряженных разветвлений – в односторонние (Обь, Се-

верная Двина) или при полном отмирании рукава в пойменных берегах – также в прямолинейное неразветвленное (Обь, Малая Северная Двина).

Причиной преобразования русла иногда служат ледовые заторы. Обходя их, поток половодья разрабатывает бывшие маловодные пойменные протоки до состояния основного по водности рукава (Обь, Енисей).

Антропогенные воздействия на русла и факторы русловых процессов вносят существенные коррективы в развитие русел, причем они зачастую многократно превышают естественные трансформации и даже приводят к возникновению прямо противоположных им тенденций. Наиболее существенны для крупных рек регулирование стока воды и перехват наносов водохранилищами. В нижних бьефах гидроузлов разветвленные русла превращаются в прямолинейные неразветвленные, сопряженные разветвления – в пологие излучины, шпоры которых образованы бывшими островами, примкнувшими к береговой пойме (рис. 5). На меандрирующих реках происходит изменение параметров излучин, которые приспособляются к новым условиям прохождения руслоформирующих расходов воды и дефициту наносов [Серебряков, 1970; Babinski, 2002; Беркович, 2012].

Выше водохранилищ в зоне регрессивной аккумуляции наносов происходит спрямление излучин из-за повышения уровней воды и усиления затопляемости поймы, начинают функционировать ранее заиленные староречья, водность которых на Оби выше Новосибирского водохранилища иногда достигает 30% от общего расхода воды в реке [Беркович, 2012].

Выполнение выправительных и дноуглубительных работ приводит к смене типа русла из-за искусственного спрямления излучин (русло становится относительно прямолинейным, как на р. Вычегде выше г. Коряжмы и у г. Сольвычегодска [Русловые ..., 2012]) или перекрытия дамбами одних (несудоходных) рукавов и разработки капитальных прорезей в других. На верхней Оби это привело к расчленению протяженного (более 50 км) параллель-

но-рукавного разветвления на 4 части: в верхней, ограниченной снизу продольной направляющей дамбой, перекрывшей правые рукава, выделилось крупное одиночное разветвление; ниже, во второй части, русло осталось параллельно-рукавным, но сократилась ширина пояса разветвления, сместившегося под влиянием дамбы влево, а бывшая система правого рукава превратилась в обмелевшие и утрачивающие со временем свою водоносность протоки (рис. 6, А); третья часть вследствие возведения продольной направляющей дамбы, частично перекрывшей левый рукав, теперь представляет собой одностороннее разветвление; лишь ниже по течению, где не проводились капитальные выправительные работы (четвертая часть) тип русла остался прежним. На Северной Двине (рис. 6, Б) Телеговское разветвление в 1940 г. было сопряженным, состоящим из двух звеньев. Благодаря естественному развитию, поддержанному разработкой прорезей, оно сначала превратилось в крупное одиночное разветвление, а затем в результате перекрытия правого рукава дамбами – в одностороннее разветвление [Львовская, 2016]. На Вычегде несколько одиночных разветвлений превратились в односторонние после разработки прорезей в правых рукавах вдоль коренного берега и возведения полузапруд перед заходами в левые рукава, ставшие маловодными. Аналогичные преобразования произошли на р. Оби с Киреевским-Астраханцевским сопряженным разветвлением: разработка прорези, углубившей в верхнем его звене правый рукав, дно которого подстилается тяжелыми коренными грунтами, складирование отвалов извлеченного грунта на заход в левый рукав и систематическое выполнение дноуглубительных работ на перекатах в правом рукаве нижнего звена сделало его односторонним.

Существенные перестройки излучин русла произошли на р. Москве после переброски стока из Волги по каналу им. Москвы и увеличения ее водоносности более чем в 2 раза после 1937 г. Некоторые излучины для пропуска повышенных расходов воды были искусственно спрямлены (например, Марчуговские луки), и русло стало прямолинейным; на других участках произошло выполаживание излучин (снижение l/L) из-за размывов выпуклых берегов и общего расширения русла [Каргаполова, 2004].

Разработка русловых карьеров приводит к трансформациям русел, подобным происходящим в нижних бьефах гидроузлов, из-за посадки уровней, перехвата карьерами наносов и глубинной эрозии выше и ниже их. На разветвленных участках они располагаются в несудоходных рукавах, искусственное углубление которых обеспечивает сохранение их водности или даже приводит к ее увеличению, но тип разветвления остается неизменным. Таковы сопряженные разветвления на Оби в районе г. Новосибирска (о-ва Отдыха и Кораблик) и Почтовское, Гусиное, Белоглинское в 100 км ниже по течению.

На урбанизированных участках рек, многие из которых находятся в нижних бьефах гидроузлов, одновременно на русло воздействуют дноуглубле-

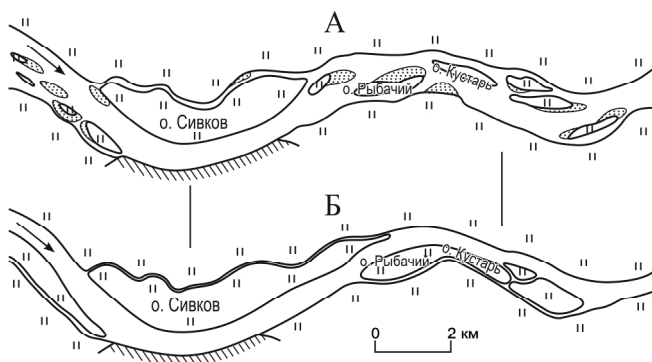


Рис. 5. Трансформация сопряженных разветвлений русла (А) в пологие излучины (Б) на р. Оби в нижнем бьефе Новосибирского гидроузла

Fig. 5. Transformation of conjugated channel branches (А) into flat meanders (Б) of the Ob' River downstream the Novosibirskaya dam

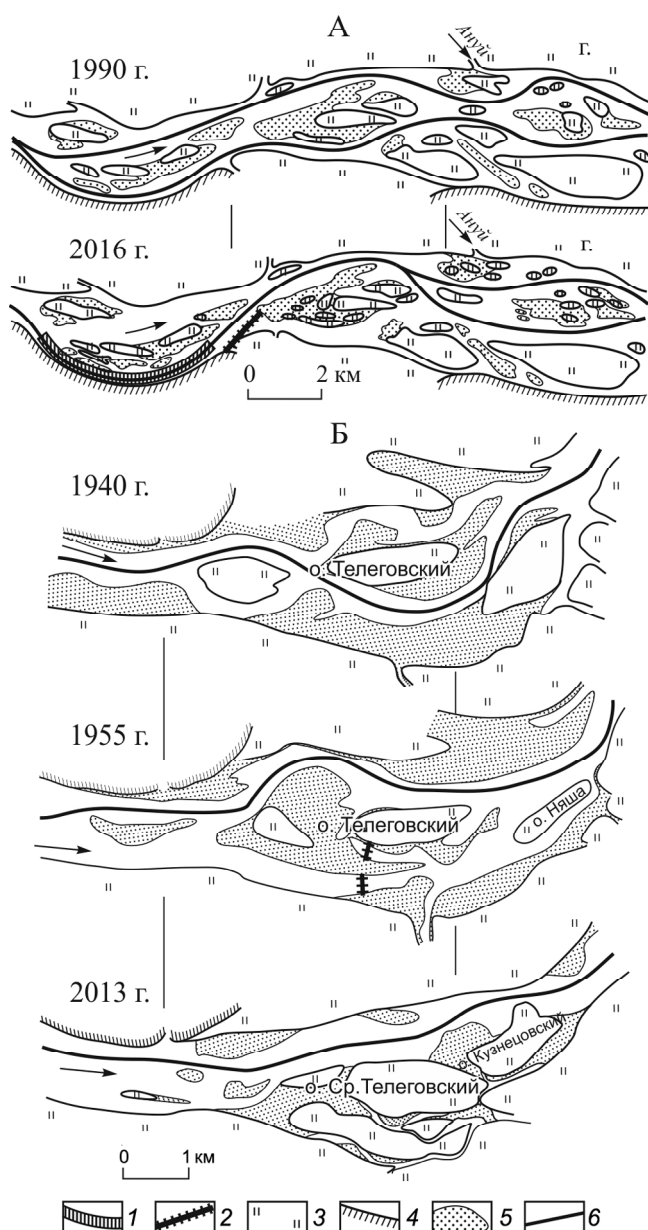


Рис. 6. Трансформация параллельно-рукавного русла верхней Оби – Фоминский – Усть-Ануйский узлы (А) и сопряженных разветвлений р. Северной Двины – Телеговский узел (Б) в результате дноуглубительных и выправительных работ: 1 – прорези; 2 – дамбы; 3 – пойма; 4 – коренной берег; 5 – прирусловые отмели; 6 – оси основных рукавов

Fig. 6. Transformation of parallel branch channel of the Upper Ob' River – Fominskij – Ust'-Anujskij reaches (A) and conjugated channel branches of the Severnaya Dvina River – Telegovskij reach (B) as a result of channel dredging operations: 1 – dredged channels; 2 – dams; 3 – flood-plain; 4 – valleg sides; 5 – meandtr dass; 6 – flow axes of main channel branches

ние по трассе судового хода или для обеспечения водных подходов к портам и объектам хозяйственной инфраструктуры, разрабатываемые карьеры, мосты, набережные, берегозащитные или противопаводковые дамбы и т. д. Все это приводит к тому, что русло становится антропогенно преобразованным, и его морфологический облик индивидуален для каждого города. Протяженность таких участ-

ков иногда охватывает первые десятки километров.

Наибольшее преобразование русел происходит при их канализировании. Оно широко распространено на реках Западной Европы, но для России не характерно. Реки практически полностью утратили естественный облик благодаря массовому спрямлению излучин, возведению двусторонних полузапруд, стесняющих поток и приводящих к образованию новой береговой линии, берегозащитных и противопаводковых сооружений по обоим берегам. Будучи выполненными для предотвращения наводнений и размывов берегов, эти мероприятия со временем привели к прямо противоположному эффекту: вследствие сокращения длины русла в результате спрямления излучин (на Рейне – на 35%) и уменьшения площади поперечного сечения (на 50%) из-за возведения ограждающих русло дамб произошло ускорение прохождения паводков при одновременном росте их пиков и снижение пропускной способности русла. Это стало причиной затоплений даже таких городов, как Кельн и Бонн, особенно при совпадении пиков паводков на Рейне и его притоках. В результате в Германии разработана программа ренатурализации (природоприближенного восстановления) рек [Dingethal et al., 1985; Lange, Lecher, 1993; Gebler, 1995; Румянцев с соавт., 2001].

Основные пути трансформации морфодинамических типов русла при естественных и антропогенных изменениях факторов русловых процессов и техногенных воздействиях на русла можно представить в виде следующих основных схем.

1. При увеличении водности: развитые или крутые излучины → прорванные излучины, выполаживание излучин, уменьшение степени их развитости l/L и увеличение параметров согласно $\pi = f(Q)$; сопряженные разветвления → параллельно-рукавные разветвления; прямолинейные неразветвленные русла → одиночные, сопряженные или параллельно-рукавные разветвления.

2. При снижении стока воды последовательность преобразований обратная.

3. Увеличение стока наносов и их аккумуляция: усложнение разветвлений или их образование в ранее неразветвленном русле; развитые и крутые излучины → прорванные излучины.

4. В нижних бьефах гидроузлов: разветвленные русла любого типа → прямолинейное неразветвленное русло; сопряженные разветвления → пологие сегментные излучины при отмирании рукавов; прорванные излучины → развитые и крутые излучины при отмирании старых русел.

5. Выше водохранилищ: развитые и крутые излучины → прорванные излучины; прямолинейное неразветвленное или слабоизвилистое русло → разветвления разного типа; восстановление стока в староречьях и образование прорванных излучин.

6. Дноуглубительные и выправительные работы: излучины и разветвления любого типа → прямолинейное неразветвленное русло; сопряженные

разветвления → одиночные или односторонние разветвления.

Выводы:

– русла больших широкопойменных равнинных рек в результате естественных колебаний или направленных изменений (увеличения) водности за историческое время, охваченное наблюдениями, а также антропогенных воздействий на сами русла или факторы русловых процессов (сток воды и наносов) постоянно трансформируются вплоть до смены их морфодинамического типа, усложнения морфологии разветвленных русел, образования прорванных излучин или изменения параметров меандрирующих русел;

– определены основные пути трансформации русла из одного типа в другой, в большинстве случаев на уровне разновидностей извилистых (меандрирующих) или разветвленных русел;

– реакция русел рек на изменения водности, ширины и соотношения ширины и глубины b_p/h проявляется в меньшей степени по мере увеличения размеров реки, а на таких крупнейших реках, как Лена, Енисей, Обь в нижнем течении вообще не сказывается;

– воздействия направленных изменений водности затушевываются ее колебаниями, обуславливающими чередование многолетних многоводных и маловодных циклов, причем в многоводные годы иногда происходят наиболее масштабные преобра-

зования русел, приводящие к усложнению их морфологии, в маловодные – упрощение и возвращение к исходному состоянию;

– закреплению происшедших трансформаций способствует изменение положения русла относительно коренных берегов реки, наличие которых создает гидравлические условия, обеспечивающие развитие прямолинейного неразветвленного русла или односторонних разветвлений;

– существенным фактором трансформации русел, заключающейся в смене их морфодинамического типа, является увеличение стока наносов (например, при появлении местного источника их поступления) и зарастание растительностью прирусловых отмелей (побочней, осередков);

– антропогенные воздействия на факторы русловых процессов приводят к тем же последствиям, что и естественные изменения водности, но в более короткие сроки и в более выраженной форме; при этом изменяются такие важные условия формирования русла, как его устойчивость, прохождение руслоформирующих расходов воды и направленность вертикальных деформаций;

– техногенные (механические) воздействия на русла рек обычно приводят к быстрой их трансформации (первые годы), особенно при искусственном спрямлении излучин, перекрытии дамбами рукавов, возведении направляющих выправительных сооружений.

Благодарности. Выполнено по планам НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева при частичной поддержке грантов РНФ (проект № 14-17-00155) и РФФИ (проект № 15-05-03752, 18-95-00487).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алабян А.М., Алексеевский Н.И., Евсеева Л.С., Жук В.А., Иванов В.В., Сурков В.В., Фролова Н.Л., Чалов Р.С. Генетический анализ причин весеннего затопления долины Малой Северной Двины в районе г. Великого Устюга // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. Вып. 14. С. 104–130.
- Беркович К.М. Географический анализ антропогенных изменений русловых процессов. М.: ГЕОС, 2001. 164 с.
- Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М.: Географ. ф-т МГУ, 2012. 163 с.
- Беркович К.М., Гаррисон Л.М., Рулёва С.Н., Чалов Р.С. Морфология русел и русловые деформации верхней Оби // Земельные и водные ресурсы. Противозерозионная защита и регулирование русел. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. С. 95–120.
- Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
- Водные ресурсы России и их использование. СПб.: ГГИ, 2008. 600 с.
- Карасев И.Ф. Русловые процессы при переброске стока. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 288 с.
- Каргаполова И.Н. Деформации русла реки Москвы XVIII–XX веков // Эрозионные, русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Географ. ф-т МГУ, 2004. С. 95–101.
- Каргаполова И.Н. Реакция русел рек на изменения водности и антропогенные воздействия за последние столетия. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М., 2006. 27 с.
- Клаев А.Б., Виноградов В.А., Костюченко А.А. Неравномерные процессы в формировании речных русел // Маккавеевские чтения – 2004. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. С. 8–25.
- Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сущенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 272 с.
- Львовская Е.А. Ретроспективный анализ, современное состояние и оценка возможных изменений русловых процессов на больших реках севера ЕТР. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М., 2016. 30 с.
- Магницкий Д.В. Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты нижней Лены и Вилюя // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 6. С. 85–95.
- Назаров Н.Н., Егоркина С.С. Реки Пермского края: горизонтальные русловые деформации. Пермь: Звезда, 2004. 156 с.
- Ржаницын Н.А. Руслоформирующие процессы рек. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 264 с.
- Румянцев И.С., Чалов Р.С., Кромер Р., Нестманн Ф. Природоприближенное восстановление и эксплуатация водных объектов. М.: МГУП, 2001. 286 с.
- Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Географ. ф-т МГУ, 1994. 336 с.
- Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
- Русловые процессы на реках Алтайского региона. М., 1996. 244 с.
- Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО «Журнал “РТ”», 2012. 492 с.

Рысин И.И., Петухова Л.Н. Руслые процессы на реках Удмуртии. Ижевск: Научная книга, 2006. 176 с.

Серебряков А.В. Руслые процессы на судоходных реках с зарегулированным стоком. М.: Транспорт, 1970. 128 с.

Сидорчук А.Ю., Панин А.В., Чернов А.В., Борисова О.К., Ковалюх Н.Н. Сток воды и морфология русел рек Русской равнины в поздневалдайское время и в голоцене (по данным палеоруслыевого анализа) // Эрозия почв и руслые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. Вып. 12. С. 35–46.

Транспортное использование водохранилищ. М.: Транспорт, 1972. 223 с.

Чалов Р.С. Географические исследования руслых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 232 с.

Чалов Р.С. Излучины р. Вычегды // Эрозия почв и руслые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. Вып. 4. С. 128–142.

Чалов Р.С. К типологии пойм равнинных рек // Изв. ВГО. 1966. Т. 98. Вып. 1. С. 54–57.

Чалов Р.С. Руслыеведение: теория, география, практика. Т. 1. Руслые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования русел. М.: ЛКИ, 2008. 608 с.

Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Кирик О.М., Проконьев В.П., Андросов И.М., Сахаров А.И. Морфология, деформации, временные изменения русла р. Лена и их влияние на хозяйственную инфраструктуру г. Якутска // Геоморфология. 2016. № 6. С. 22–35.

Чалов Р.С., Кирик О.М. Ленские «разбои»: ретроспективный анализ переформирования, прогнозные оценки и регулирование русла // Эрозия почв и руслые процессы. М.: Географ. ф-т МГУ, 2015. Вып. 19. С. 294–338.

Чернов А.В. Особенности морфологии поймы Средней Лены, возникшие в результате врезания реки и увеличения ее водности. М.: ВИНТИ, 1975. Деп. № 236–В75. 7 с.

Babicki Z. Wpływ zapór procesy korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Wyd. Arad. Bydgoskiej im. K. Wielkiego, 2002. 185 s.

Dingethal F.J., Jürging P., Kaule G., Winzler W. Kistsgrube und Landschaft. Handbuch über den Abbau von Sand und Kies, über Gestaltung, Rekultivierung und Renaturierung. Hamburg-Berlin: Vrlag Paul Parey. 1985. 250 p.

Gebler R. Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer // Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe. Heft 181. 1995. P. 25–57.

Lange G., Lecher K. Gewässerregulierung, Gewässerpflege. Nfturfher Fusbau und Unterhaltung von Flügewässern. Hamdurg – Berlin: Vrlag Pful Parey, 1993. 125 p.

Поступила в редакцию 03.07.2017

Принята к публикации 28.12.2017

R.S. Chalov¹

TEMPORAL TRANSFORMATION OF MORPHODYNAMIC TYPES OF CHANNELS OF THE LARGE LOWLAND RIVERS

Retrospective analysis of channels development of Russian large lowland rivers was a basis for discussing the principal lines of their morphodynamic types transformation through the historical time (i.e. during the period of observations on hydrological stations and channel mapping which recorded their configuration at different times). The transformations are related to natural changes of river flow (its increase), sediment flow increase, interchanges of high-water and low-water periods, overgrowth of vegetation on channel bars since the last quarter of the 20th century and human impact both on the causes of channel processes (water reservoirs construction) and on channels themselves (in-channel dredging on the navigable rivers) becoming more intensive and increasing since 1960s. It is demonstrated that the larger is a river (its water flow, width and the width-depth ratio), the lower is the response of channel processes to these changes and impacts: they are absent in the lower reaches of Lena, Enisej and Ob' rivers. The principal schemes of meandering, braided and relatively straight channels development are revealed on the basis of voluminous factual data.

Key words: channel processes, morphological types of channels, meanders, meander bars, water content of rivers, sediment flow.

Acknowledgements. The study was performed in line with research plans of the Department of Land Hydrology and the Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes and partly financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00155) and the Russian Foundation for Basic Research (project № 15-05-03752, 18-95-00487).

REFERENCES

Alabyan A.M., Alekseevskij N.I., Evseeva L.S., Zhuk V.A., Ivanov V.V., Surkov V.V., Frolova N.L., Chalov R.S. Geneticheskij analiz prichin vesennego zatopeniya doliny Maloj Severnoj Dviny v rajone g. Velikij Ustyug // Eroziya pochv i ruslovyje processy [Genetic analysis of the causes of spring flooding of the Malaya Severnaya Dvina River valley near Velikij Ustyug // Soil erosion and channel processes]. M.: MGU, 2003. V. 14. P. 104–130 (in Russian).

Babicki Z. Wpływ zapór procesy korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Wyd. Arad. Bydgoskiej im. K. Wielkiego, 2002. 185 s.

Berkovich K.M. Geograficheskij analiz antropogennyh izmenenij ruslovyh processov [Geographical analysis of anthropogenic changes in channel processes]. M.: GEOS, 2001. 164 p. (in Russian).

Berkovich K.M. Ruslovyje processy v sfere vliyanija vodohranilishh [Channel processes under the influence of water reservoirs]. M.: Geograf. fak. MGU, 2012. 163 p. (in Russian).

Berkovich K.M., Garrison L.M., Ruleva S.N., Chalov R.S. Morfologiya rusel i ruslovyje deformacii verhnjej Obi // Zemelnye i vodnye resursy. Protivoerzionnaya zashhita i regulirovanie rusel

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

[Channel morphology and channel changes of the Upper Ob' River // Land and water resources. Erosion control and channel regulation]. M.: MGU, 1990. P. 95–120 (in Russian).

Chalov R.S. Geograficheskie issledovaniya ruslovyh processov [Geographic research of channel processes]. M.: MGU, 1979. 232 p. (in Russian).

Chalov R.S. Izluchiny r. Vychegdy // Eroziya pochv i ruslovye processy [Meanders of the Vichegda River // Soil erosion and channel processes]. M.: MGU, 1974. V. 4. P. 128–142 (in Russian).

Chalov R.S. K tipologii pojm ravninnyh rek [Typology of flood-plains of lowland rivers] // Izv. VGO, 1966. T. 98. V. 1. P. 54–57 (in Russian).

Chalov R.S. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. T. 1. Ruslovye processy: factory, mehanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rusel. [Riverbed science: theory, geography, practice. V. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and channel-forming conditions]. M.: LKI, 2008. 608 p. (in Russian).

Chalov R.S., Kirik O.M. Lenskie «razboi»: retrospektivnyy analiz pereformirovaniy, prognozyne ocenki i regulirovanie rusla // Eroziya pochv i ruslovye processy [The Lena River braided reaches: retrospective analysis of channel changes, prognostic evaluation and channel regulation // Soil erosion and channel processes]. M.: Geograf. fak. MGU, 2015. V. 19. P. 294–338 (in Russian).

Chalov R.S., Zavadskij A.S., Ruleva S.N., Kirik O.M., Prokopev V.P., Androsov I.M., Saharov A.I. Morfologiya, deformacii, vremennye izmeneniya rusla r. Lena i ih vliyanie na hozyaistvennuyu infrastrukturu g. Yakutska [Morphology, deformations and temporary modifications of the Lena River channel and their influence on the Yakutsk economic infrastructure] // Geomorfologiya. 2016. № 6. P. 22–35 (in Russian).

Chernov A.V. Osobennosti morfologii pojmy Srednej Leny, vznikshie v rezultate vrezaniya reki i uvelicheniya eyo vodnosti [Morphology features of the Middle Lena River flood-plain resulting from the incision of the river and its water content augmentation]. M.: VINITI, 1975. Dep. № 236–V75. 7 p. (in Russian).

Dingethal F.J., Jürging P., Kaule G., Witzler W. Kitsgrube und Landschaft. Handbuch über den Abbau vjn Sand und Kies, über Gestaltung, Rekultivierung und Renaturierung. Hamburg-Berlin: Vrlag Paul Parey. 1985. 250 p.

Gebler R. Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer // Institut für Wasserbau und Kulturtechnik dtr Universität Karlsruhe. Heft 181. 1995. P. 25–57.

Karasev I.F. Ruslovye processy pri perebroske stoka [Channel processes at water diversion]. L.: Gidrometeoizdat, 1975. 288 p. (in Russian).

Kargapolova I.N. Deformacii rusla reki Moskvy XVIII–XIX vekov // Eroziionnye, ruslovye processy i problemy gidroekologii [Channel changes of the Moskva River during XVIII–XX century // Erosion, channel processes and hydro ecology problems]. M.: MGU, 2004. P. 95–101 (in Russian).

Kargapolova I.N. Reakciya rusel rek na izmeneniya vodnosti i antropogennye vozdeistviya za poslednie stoletiya [Response of river channels to water content changes and anthropogenic impact during last centuries]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. M.: MGU, 2006. 27 p. (in Russian).

Klaven A.B., Vinogradov V.A., Kostyuchenko A.A. Neravnovesnye processy v formirovanii rechnykh rusel [Non-equilibrium in channel processes] // Makkaveevskie chteniya – 2004. M.: MGU, 2005. P. 8–25 (in Russian).

Kondrat'ev N.E., Popov I.V., Snishhenko B.F. Osnovy gidromorfologicheskoy teorii ruslovogo processa [Basics of the hydromorphological theory of channel processes]. L.: Gidrometeoizdat, 1982. 272 p. (in Russian).

L'vovskaya E.A. Retrospektivnyy analiz, sovremennoe sostoyanie i ocenka vozmozhnykh izmeneniy ruslovyh processov na bolshih rekah severa ETR [Retrospective analysis, present-day state and evaluation of possible changes of channel processes on large rivers of the North of the European territory of Russia]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. M.: MGU, 2016. 30 p. (in Russian).

Lange G., Lecher K. Gewässerregulung, Gewässerpflege. Nfturnfher Fusbau und Unterhaltung von Fließgewässern. Hamdurg – Berlin: Vrlag Pful Parey, 1993. 125 p.

Magrickij D.V. Faktory i zakonomernosti mnogoletnih izmeneniy stoka vody, vzveshennykh nanosov i teploty nizhnej Leny i Vilyuya [Factors and regularities of long-term changes of water flow, sediment flow and heat flow of the Lower Lena and Vilyuy rivers] // Vest. MGU. Ser. 5. Geografiya. 2015. № 6. P. 85–95 (in Russian).

Nazarov N.N., Egorkina S.S. Reki Permskogo kraja: gorizontálne ruslovye deformacii [Rivers of the Perm Kraj: lateral channel changes]. Perm: Zvezda, 2004. 156 p. (in Russian).

Rumyantsev I.S., Chalov R.S., Kromer R., Nestmann F. Prirodopriblizhennoe vosstanovlenie i ekspluatatsiya vodnykh ob2 ektov [Close-to-nature restoration and maintenance of water bodies]. M.: MGUP, 2001. 286 p. (in Russian).

Ruslovoj rezhim rek Severnoj Evrazii [Channel regime of the North Eurasian rivers]. M.: Geograf. fak. MGU, 1994. 336 p. (in Russian).

Ruslovye processy i vodnye puti na rekah bassejna Severnoj Dviny [Channel processes and waterways in the Severnaya Dvina River basin]. OOO «Zhurnal “RT”». M., 2012. 492 p. (in Russian).

Ruslovye processy i vodnye puti na rekah Obskogo bassejna [Channel processes and waterways in the Ob2 River basin]. Novosibirsk: RIPEL pljus, 2001. 300 p. (in Russian).

Ruslovye processy na rekah Altajskogo regiona [Channel processes of the Altay territory rivers]. M., 1996. 244 p. (in Russian).

Rysin I.I., Petuhova L.N. Ruslovye processy na rekah Udmurtii [Channel processes of the Udmurtiya rivers]. Izhevsk: Nauchnaja kniga, 2006. 176 p. (in Russian).

Rzhanicyn N.A. Rusloformiruyushhie processy rek [Channel-forming river processes]. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 264 p. (in Russian).

Serebryakov A.V. Ruslovye processy na sudohodnykh rekah s zaregulirovannym stokom [Channel processes on the navigable rivers with regulated run-off]. M.: Transport. 1970. 128 p. (in Russian).

Sidorchuk A.Ju., Panin A.V., Chernov A.V., Borisova O.K., Kovalchuh N.N. Stok vody i morfologiya rusel rek Russkoj ravniny v pozdnevaldajskoe vremya i v golocene (po dannym paleoruslovogo analiza) // Eroziya pochv i ruslovye processy [Water flow and channel morphology of the Russian Plain rivers during the Last Valday Age and the Holocene (according to the data of paleochannel analysis). Soil erosion and channel processes]. M.: MGU, 2000. V. 12. P. 35–46 (in Russian).

Transportnoe ispolzovanie vodohranilishh [Transport use of water reservoirs]. M.: Transport. 1972. 223 p. (in Russian).

Vodnye puti bassejna Leny [Waterways of the Lena River basin]. M.: MIKIS, 1995. 600 p. (in Russian).

Vodnye resursy Rossii i ih ispolzovfnie [Water resources of Russia and their utilization] SPb.: GGI, 2008. 600 p. (in Russian).

Received 03.07.2017

Accepted 28.12.2017

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054; 631.416.9; 911.375

Н.С. Касимов¹, Д.В. Власов²**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ПОЧВАХ РОССИЙСКИХ ГОРОДОВ
(ПО ДАННЫМ ЕЖЕГОДНЫХ ДОКЛАДОВ РОСГИДРОМЕТА)**

На основе анализа созданной авторами базы данных по ежегодным докладом о загрязнении почв России токсикантами промышленного происхождения оценена интенсивность и динамика загрязнения почв 98 городов России Cd, Pb, Cu, Zn, As, Sn, Hg, Sb, Mo, Cr, Co, Ni, V, Ti, Mn, Sr и Fe. В почвах российских городов за последнюю четверть века из-за сокращения количества выбросов промышленности и автотранспорта уменьшились в 3–5 раз средние концентрации Hg, Zn, Sn, Mn и в 1,5–3 раза остальных тяжелых металлов и металлоидов (ТММ) при одновременном росте в 2–5 раз аномальности Pb, Cu, Mo, As, Co и Cd из-за увеличения контрастности техногенных геохимических аномалий рядом с промышленными предприятиями, автомобильными и железными дорогами. Прямой связи между людностью, площадью или плотностью населения городов и загрязнением почв ТММ не установлено. Чрезвычайно опасная экологическая ситуация характерна для Ревды, Режа, Кировграда (Свердловская обл.) и Владикавказа. Очень опасная ситуация сформировалась в Рудной Пристани (Приморский край) и Белебее (Башкортостан). Опасная экологическая ситуация характерна для городов Первоуральск, Полевской, Верхняя Пышма, Сухой Лог, Алапаевск, Нижние Серги, Невьянск (Свердловской обл.), Баймак, Сибай, Давлеканово (Башкортостан). В почвах большинства городов формируются преимущественно полиэлементные геохимические аномалии с доминированием Cd и высоким содержанием Pb, Zn, Cu. Для почв городов с неопасной экологической ситуацией характерны малоконтрастные моно-, двух- и реже трехэлементные геохимические аномалии. Для более полной характеристики загрязнения почв городов России ТММ необходимо расширить перечень контролируемых поллютантов, включив Sb, As и другие элементы, а также увеличить число изучаемых населенных пунктов, особенно за счет крупных городов и промышленных центров, информация о которых в ежегодных докладах отсутствует.

Ключевые слова: городские почвы, геохимические аномалии, загрязнение, тяжелые металлы и металлоиды.

Введение. Высокая интенсивность техногенного воздействия на окружающую среду характерна для 135 городов России с общим населением 43 млн человек, к числу которых относятся миллионники, крупные региональные и малые промышленные центры, представляющие собой так называемые ареалы «промышленной бедности» с плохим состоянием инфраструктуры, большими транспортными издержками и отсутствием рынка квалифицированных кадров [Касимов с соавт., 2014].

Одним из удобных индикаторов техногенного воздействия, пространственного распределения формируемых им геохимических аномалий и надежным источником данных о возможном долговременном загрязнении атмосферного воздуха и других компонентов ландшафтов является почвенный покров. В городах многолетний эколого-геохимический мониторинг чаще всего направлен на установление уровней загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами (ТММ), полициклическими ароматическими углеводородами, соединениями фтора, нитратами, сульфатами и другими поллютантами.

Ежегодные наблюдения за загрязнением городских почв ведутся организациями сети Росгидромета с публикацией результатов в «Ежегодниках загрязнения почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения» [Ежегодник ..., 2008–2016] и региональными природоохранными учреждениями: например, в Москве – ГПБУ «Мосэкомониторинг» с подготовкой ежегодных докладов «О состоянии окружающей среды в городе Москве» [Доклад о состоянии окружающей среды ..., 2009–2016].

Как правило, загрязнение почв ТММ ежегодно исследуется в 30–50 населенных пунктах, причем перечень городов частично меняется. За последние 10 лет имеются данные о среднем валовом содержании ТММ в почвах почти 100 городов России [Ежегодник ..., 2008–2016]. Информация о динамике концентраций имеется лишь для некоторых городов за отдельные годы, что затрудняет оценку элементного и суммарного загрязнения почв городов России ТММ, а также их геохимической специализации.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, зав. кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв, академик РАН; *e-mail:* secretary@geogr.msu.ru.

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

Цель работы – на основе статистической информации оценить интенсивность и динамику загрязнения городских почв России ТММ за последнюю четверть века путем анализа их геохимической специализации.

Методы и материалы. Использовалась созданная авторами база данных о среднем и максимальном валовом содержании ТММ в поверхностном (0–5 см) горизонте почв 98 городов России в 2006–2015 гг. по [Ежегодник ..., 2007–2016; Доклад о состоянии окружающей среды ..., 2008–2016].

При оценке загрязнения использовались кларки концентрации (KK) – отношения содержания элемента в городских почвах к его кларку верхней части континентальной земной коры. Ранее нами показана [Касимов, Власов, 2015] целесообразность использования для Sb, Ni, Cr, Hg, As, Zn, Pb, Mn, Fe, Sr, Ti в качестве эталонов сравнения кларков по [Григорьев, 2009], V, Co, Cu – [Hu, Gao, 2008], Mo, Cd – [Rudnick, Gao, 2003], Sn – [Wedepohl, 1995]. Кларки химических элементов в континентальной земной коре широко используются для сравнения различных геохимических систем, оценки степени концентрации вовлекаемых в процесс техногенеза химических элементов, выявления региональной геохимической специализации фоновых ландшафтов и техногенной трансформации состава природных сред. Так, сравнение концентраций многих ТММ в почвах сельскохозяйственных угодий Европы с их

кларками [Rudnick, Gao, 2003; Hu, Gao, 2008] показало, что относительно земной коры в агропочвах Европы накапливаются С, Se, S, Cd, околоскларковые значения характерны для Pb, As, P, Cs, Ti, Cr, Zn, Mn, La, Te, Bi, Ag, Mo, существенно ниже кларков – V, Fe, Au, Ba, Co, Hg, Ni, Cu, Sn, Sr, Sb, U, Be, Tl, W, B, Ge [Chemistry ..., 2014].

Для интегральной оценки загрязнения почв ТММ рассчитывался суммарный показатель загрязнения $Zc = \sum KK - (n-1)$, где n – число ТММ с $KK > 1,5$. Степень экологической опасности определялась в зависимости от величины Zc : <16 – неопасная, $16-32$ – умеренно-опасная, $32-64$ – опасная, $64-128$ – очень опасная, >128 – чрезвычайно опасная экологическая ситуация [Методические рекомендации ..., 2006; Касимов с соавт., 2016].

Результаты исследований и их обсуждение.
Накопление потенциально токсичных элементов в почвах городов. Для городов России рассчитаны средние концентрации ТММ в почвах в 2006–2015 гг. (табл. 1). Данные о валовом содержании Zn в почвах имеются для 83 городов, Ni – 82, Pb – 81, Cu – 79, Cd – 71, Mn – 63, Co – 52, Cr – 34, Fe – 33, Hg – 30, V – 22, Mo – 14, As – 12, Sn – 8, Ti – 5, Sr – 4 городов, Sb – только 1 города. Это свидетельствует о неучете информации о многих ТММ, которые в последнее время становятся приоритетными поллютантами урбанизированных территорий, что указывает на необходимость более подробного изучения

Таблица 1

Содержание и накопление ТММ в почвах городов России в 2006–2015 гг.

ТММ	Среднее содержание в почвах городов России, мг/кг	Кларки ТММ верхней части континентальной земной коры, мг/кг	KK
Cd	2,2	0,09	25,0
Pb	99	17	5,8
Cu	113	27	4,2
Mo	3,5	1,1	3,2
Zn	221	75	2,9
Hg	0,1	0,065	2,2
As	9,8	5,6	1,8
Co	24	15	1,6
Ni	78	50	1,6
Sn	3,8	2,5	1,5
Ti	5077	3900	1,3
Cr	117	92	1,3
Mn	758	770	1,0
V	91	106	0,9
Sr	188	270	0,7
Fe	20 097	40 600	0,5

Примечания. Данные о валовом содержании Cd в почвах рассчитаны для 71 города (~3300 элементопределений, далее в скобках приводится число элементопределений), Pb – 81 (~6700), Cu – 79 (~6000), Mo – 14 (~900), Zn – в 83 (~6500), Hg – 30 (~3500), As – 12 (~2000), Co – 52 (~2300), Ni – 82 (~6500), Sn – 8 (~450), Ti – 5 (~200), Cr – 34 (~2300), V – 22 (~1200), Mn – 63 (~4300), Sr – 4 (~170), Fe – 33 (~1100) городов. Данные о Sb представлены в «Ежегодниках ...» [2008–2016] только для Владикавказа. Среднее содержание Sb в почвах этого города составляет 33,8 мг/кг, что в 41,7 раза выше кларка верхней части континентальной земной коры [Григорьев, 2009]. Для расчета KK использовались кларки Sb, Ni, Cr, Hg, As, Zn, Pb, Mn, Fe, Sr, Ti [Григорьев, 2009] V, Co, Cu [Hu, Gao, 2008], Mo, Cd [Rudnick, Gao 2003], Sn [Wedepohl, 1995].

распределения тяжелых металлоидов – Sb, As и других элементов.

В почвах российских городов по величине KK (цифры) ТММ образуют ряд: $Sb_{42} > Cd_{25} > Pb_{5,8} > Cu_{4,2} > Mo_{3,2} > Zn_{2,9} > Hg_{2,2} > (As, Co, Ni, Sn)_{1,5-2} > (Ti, Cr, Mn)_{1,0-1,3}$; рассеиваются V, Sr, Fe. Супертоксикантами являются Sb и Cd, KK которых в городских почвах больше 10. Данные о концентрации Sb имеются только во Владикавказе, поэтому ее распределение в почвах российских городов требует более детальных исследований. В других городах мира Sb и Cd также являются приоритетными загрязнителями. Так, в Палермо (Италия) уровни Sb в дорожной пыли достигают нескольких сотен, Cd – десяти кларков [Varrica et al., 2003]. В почвах Лондона и Берлина содержание Cd в некоторых районах составляет десятки кларков [Birke et al., 2011; Chemistry ..., 2014], в почвах Праги средняя концентрация Sb – 13 мг/кг, что в 16 раз выше кларка верхней части континентальной коры [Duriš, 2011]. В Восточной Москве Sb и Cd образуют контрастные аномалии в снеге, почвах, дорожной пыли, древесных и травянистых растениях [Касимов с соавт., 2016].

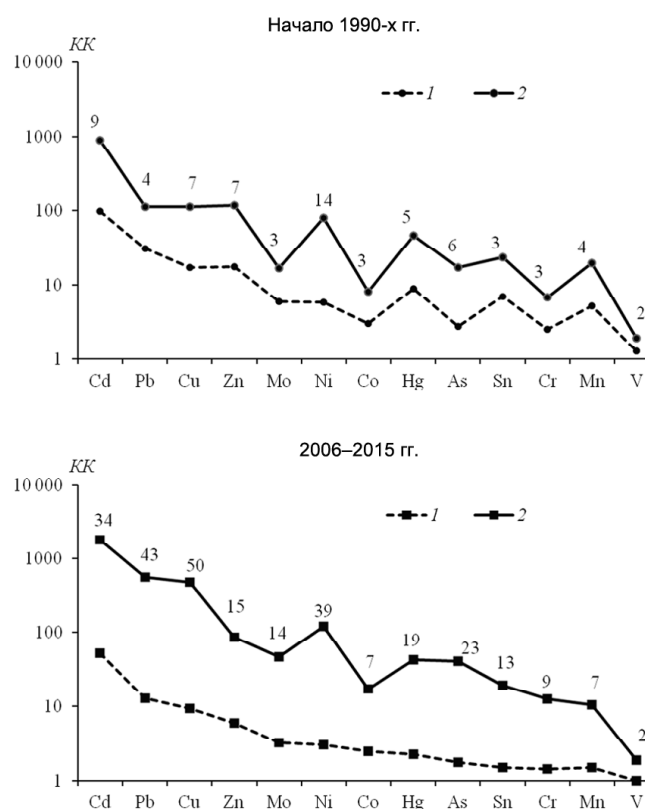


Рис. 1. Содержание ТММ в почвах наиболее загрязненных каждым элементом городов России в начале 1990-х гг. и в 2006–2015 гг.: 1 – средние KK в городах, 2 – максимальные KK , цифры – аномальность эпицентров городских техногенных аномалий (превышение максимальных над средними, раз)

Fig. 1. The HMM content in soils of the most polluted cities of Russia in the early 1990s and in 2006–2015: 1 – average KK in cities, 2 – maximum KK , numbers – anomaly in the centers of urban technogenic anomalies (the maximum values over the averages, times)

Тенденции изменения загрязнения городских почв за последние 25 лет определены путем расчета KK средних и аномальных валовых содержаний Cd, Pb, Cu, Zn, Hg, Cr, Co, Ni и Mn в почвах 30 наиболее загрязненных каждым элементом городов России в 2006–2015 гг. (рис. 1) в сравнении с началом 1990-х гг. [Экогеохимия ..., 1995]. В 2006–2015 гг. в почвах таких городов загрязнители образовали ряд (цифра – величина KK): $Cd_{53} > Pb_{13} > Cu_9 > Zn_6 > Mo_{3,2} > Ni_{3,0} > Co_{2,4} > Hg_{2,2} > (Sn, Cr, Mn, As, V)_{1,5-2}$. С начала 1990-х гг. произошли заметные изменения в характере и интенсивности загрязнения почв ТММ. В 3–5 раз уменьшились средние концентрации Hg, Zn, Sn, Mn и в 1,5–3 раза – остальных загрязнителей.

Одной из главных причин уменьшения среднего загрязнения городских почв за последнюю четверть века явилось резкое падение промышленного производства к 1998 г. и затем его очень медленный рост; лишь в 2008–2012 гг. производство почти вернулось на уровень 1990 г., что наряду с модернизацией многих предприятий привело к сокращению промышленных выбросов за последние 25 лет почти в 2 раза [Касимов с соавт., 2014]. Одним из важных факторов явилось уменьшение выбросов автотранспорта примерно в 1,6 раза из-за использования новых более экологически чистых марок бензина и повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания. Так, выбросы твердых частиц от легковых автомобилей с дизельным двигателем, работающих на топливе Евро-5 и Евро-6, в 28–36 раз меньше по сравнению с Евро-1 и в 5 раз – по сравнению с Евро-4 [Wesselink et al., 2006; Emission standards ..., 2017], что повлияло на интенсивность выпадения ТММ из атмосферы и, следовательно, уменьшение загрязнения городских почв.

В ряде городов локальным фактором снижения уровней ТММ в почвах стала замена верхнего загрязненного горизонта городских почв на рекультивационный материал, в котором, например, в западной части Москвы, концентрации V, Cr, Co, Zn, Cd, Sn в 1,8–2,7 раза меньше, чем в фоновых почвах [Битюков с соавт., 2016].

На территории городов загрязнители, как правило, распределены крайне неравномерно: выделяются как сильно загрязненные районы с центрами техногенных геохимических аномалий, формирующимися в промышленных и транспортных функциональных зонах, так и районы слабого загрязнения в рекреационных, реже селитебных зонах [Касимов с соавт., 2016]. Поэтому чувствительным индикатором интенсивности накопления ТММ в городских почвах является аномальность – отношение максимальных KK в городских аномалиях к средним KK на территории города. В 2006–2015 гг. по сравнению с началом 1990-х гг. [Экогеохимия ..., 1995] в 2–5 раз увеличилось максимальное содержание Pb, Cu, Mo, As, Co и Cd из-за локального прогрессирующего загрязнения почв рядом с очагами воздействия (промышленными предприятиями).

ми, автомобильными и железными дорогами). Поэтому локальные контрастные геохимические аномалии в городах образуют многие ТММ (цифра – аномальность): $Cu_{50} > Pb_{43} > Ni_{39} > Cd_{34} > As_{23} > Hg_{19} > Zn_{15} > Mo_{14} > Sn_{13}$ (рис. 1), а также $Cr_{8,9} > Co_{7,0} > Mn_{6,9} > V_{2,2}$.

Геохимическая специализация и экологическая опасность загрязнения городских почв. Оценка экологической опасности загрязнения почв городов ТММ в 2006–2015 гг. для 98 городов России проведена путем расчета широко применяемого в России суммарного показателя Z_c , по величине которого выделено 5 групп городов.

Максимальный уровень загрязнения, чрезвычайно опасная экологическая ситуация ($Z_c > 128$). Наибольшее загрязнение почв ТММ ($Z_c = 271$) характерно для Владикавказа [Ежегодник ..., 2016], где техногенное воздействие предприятий цветной металлургии формирует высококонтрастные полиэлементные Pb-Cd-Sb-Zn-Mo-Cu-As-Hg геохимические аномалии в почвах (табл. 2). К этой группе относятся и центры цветной металлургии Свердловской области с малой численностью населения: Рева с полиэлементной Cd-Cu-Pb-Zn-Co специализацией ($Z_c = 224$), Реж с Cd-Co-Ni-Cu-Cr-Zn-Hg (209) и Кировград с Cd-Cu-Hg-Pb-Zn-Co-Mn специализацией (190).

Очень высокий уровень загрязнения, очень опасная экологическая ситуация ($64 < Z_c < 128$) характерны для г. Рудная Пристань (Приморский край) – центра цветной металлургии с достаточно контрастными триэлементными Cd-Pb-Zn аномалиями ($Z_c = 80$) и г. Белебей (Башкортостан) с предприятиями машиностроения и металлообработки, воздействие которых приводит к сильному накоплению в почвах Cd и Pb.

Высокий уровень загрязнения, опасная экологическая ситуация ($32 < Z_c < 64$). Эта группа включает 7 городов Свердловской области и 3 города Башкортостана (табл. 2). Среди них наиболее загрязнен ($Z_c = 60$) Первоуральск, где в результате техногенного воздействия предприятий черной и цветной металлургии в почвах формируются полиэлементные Cd-Cu-Pb-Zn геохимические аномалии.

В центрах машиностроения и металлообработки с небольшой численностью населения почвы менее загрязнены ТММ ($Z_c = 33–44$). В них формируются полиэлементные Cd-Cu-Pb-Zn (Баймак, Башкортостан), Cd-Cu-Zn-Mn и Cd-Pb-Zn-Ni-Mn (Сухой Лог и Нижние Серги, Свердловская обл.) и трехэлементные Cd-Pb-Zn аномалии в почвах (Невьянск, Свердловская обл.). Cd-Ni-Pb аномалии характерны также для почв Давлеканово (Башкортостан), в котором развиты сельское хозяйство, пищевая промышленность и машиностроение.

Таблица 2

Уровни загрязнения почв некоторых городов России ТММ (2006–2015 гг.)

Город, регион	Ведущие отрасли	Геохимическая специализация почв, КК	Z_c
<i>Максимальный уровень загрязнения, чрезвычайно опасная экологическая ситуация ($Z_c > 128$)</i>			
Владикавказ, Северная Осетия	ЦМ	$Pb_{120}Cd_{57}Sb_{42}Zn_{22}Mo_{12}Cu_{11}As_9Hg_3$	271
Рева, Свердловская обл.	ЦМ	$Cd_{133}Cu_{64}Pb_{22}Zn_6Co_3$	224
Реж, Свердловская обл.	ЦМ	$Cd_{167}Co_{17}Ni_{16}Cu_5Cr_4Zn_3Hg_2$	209
Кировград, Свердловская обл.	ЦМ	$Cd_{79}Cu_{46}Hg_{27}Pb_{19}Zn_{16}Co_4Mn_3$	190
<i>Очень высокий уровень загрязнения, очень опасная экологическая ситуация ($64 < Z_c < 128$)</i>			
Рудная пристань, Приморский край	ЦМ	$Cd_{43}Pb_{32}Zn_7$	80
Белебей, Башкортостан	ММ	$Cd_{68}Pb_4$	71
<i>Высокий уровень загрязнения, опасная экологическая ситуация ($32 < Z_c < 64$)</i>			
Первоуральск, Свердловская обл.	ЧМ и ЦМ	$Cd_{36}Cu_{15}Pb_8Zn_5$	60
Баймак, Башкортостан	ММ	$Cd_{27}Cu_{12}Pb_8Zn_5$	44
Полевской, Свердловская обл.	ЧМ	$Cd_{22}Cu_6Co_5Zn_4Ni_3Hg_3Cr_3Mn_3$	43
Сибай, Башкортостан	ЦМ	$Cd_{26}Cu_9Zn_4Pb_3$	40
Верхняя Пышма, Свердловская обл.	ЦМ	$Cd_{24}Cu_{12}Pb_3Ni_3$	39
Сухой Лог, Свердловская обл.	ММ	$Cd_{18}Cu_{16}Zn_3Mn_2$	38
Давлеканово, Башкортостан	СХ и ММ	$Cd_{37}Ni_3Pb_2$	38
Алапаевск, Свердловская обл.	ЧМ	$Cd_{29}Pb_3Mn_3Ni_3$	35
Нижние Серги, Свердловская обл.	ММ	$Cd_{27}Pb_4Zn_3Ni_2Mn_2$	34
Невьянск, Свердловская обл.	ММ	$Cd_{27}Pb_4Zn_4$	33

Примечание. Отрасли: ЦМ – цветная металлургия, ЧМ – черная металлургия, ММ – машиностроение и металлообработка, СХ – сельское хозяйство и пищевая промышленность.

Широкий спектр ТММ накапливается в почвах Полевского с аномалиями Cd, Cu, Co, Zn, Ni, Hg, Cr и Mn, Алапаевска – Cd, Pb, Mn и Ni, Верхней Пышмы (все – Свердловская обл.) – Cd, Cu, Pb и Ni, Сибая (Башкортостан) – Cd, Cu, Zn и Pb.

Средний уровень загрязнения, умеренно-опасная экологическая ситуация ($16 < Z_c < 32$) характерны для 15 российских городов, в почвах которых формируются полиэлементные техногенные геохимические аномалии: Нижний Тагил (Свердловская обл.) и Ульяновск – Cd-Cu-Pb-Zn; Свирск (Иркутская обл.) – Cd-Pb-Sn-Cu-Mo-Zn-Hg; Усть-Илимск (Иркутская обл.) – Cu-Co-Mo-Hg-Mn; Нижний Новгород – Zn-Cd-Sn-Pb-Mo-Cu. Медногорск (Оренбургская обл.), Дальнегорск (Приморский край), Учалы (Башкортостан), Черемхово (Иркутская обл.) и Пенза имеют трехэлементные Cd-Pb-Zn аномалии в почвах. В остальных городах формируются двухэлементные (Cd-Pb в Йошкар-Оле и Cd-Cu в Отрадном Самарской обл.) или моноэлементные кадмиевые аномалии (Каменск-Уральский в Свердловской и Коломна в Московской обл., Туймазы в Башкортостане).

Низкий уровень загрязнения, неопасная экологическая ситуация ($Z_c < 16$) выявлены в 67 российских городах – крупных региональных центрах и относительно небольших населенных пунктах с развитой промышленностью. Для большинства из них характерны моно- и двухэлементные, реже – полиэлементные слабоконтрастные аномалии ТММ в почвах.

Таким образом, практически во всех городах с умеренно-опасной, опасной, очень опасной и чрезвычайно опасной экологической ситуацией приоритетным элементом-загрязнителем является Cd с $KK = 18\text{--}133$. Лишь во Владикавказе и Нижнем Новгороде он занимает второе место по интенсивности накопления, уступая Pb и Zn. В качестве эталона сравнения использовался кларк элемента (0,09 мг/кг) по оценке [Rudnick, Gao, 2003]. Во многих других работах кларки Cd имеют близкие значения (0,06–0,16 мг/кг) [Виноградов, 1962; Беус с соавт., 1976; Taylor, McLennan, 1985; Shaw et al., 1986; Wedepohl, 1995; Gao et al., 1998; Hu, Gao, 2008], что слабо влияет на величину KK . При использовании для оценки загрязнения почв ТММ кларка Cd (0,64 мг/кг) по данным Н.А. Григорьева [2009], KK этого элемента в почвах городов России снизится почти в 7 раз. Однако даже в этом случае во многих городах KK Cd составит более 10, что указывает на сильное загрязнение почв этим элементом.

Во многих промышленных городах приоритетны также Pb, Zn, Cu, реже – Co, Ni, Hg, Mn. Опасные металлоиды Sb и As являются одними из ведущих поллютантов только во Владикавказе.

Рассчитанные нами показатели загрязнения частично согласуются с информацией, представленной в «Ежегоднике ...» [2016]. Так, к опасной и очень опасной категории загрязнения почв ТММ ($Z_c = 32\text{--}128$) относятся 2,5% обследованных за период 2006–2015 гг. населенных пунктов, их отдельных районов, одно- и пятикилометровых зон вокруг источников

загрязнения. В их число входят Кировград, Ревда, Реж, Рудная Пристань, Свирск и Слюдянка, в то время как согласно нашим расчетам, к ним относятся еще 12 городов (табл. 2). Такие различия объясняются несовпадением эталонов сравнения: в «Ежегодниках ...» для некоторых городов применяются фоновые концентрации поллютантов, а для остальных – кларки почв по А.П. Виноградову [1957], что затрудняет сравнение городов между собой. Нами для всех населенных пунктов применяется один эталон – приведенные выше кларки почв верхней части континентальной земной коры. Кроме того, в «Ежегодниках ...» для некоторых городов также учитываются концентрации подвижных, кислоторастворимых и водорастворимых форм ТММ; для корректности сравнения мы анализировали только валовое содержание поллютантов. Так, при учете кислоторастворимых форм ТММ почвы Слюдянки обладают сильной степенью загрязнения ($Z_c = 33$), если только валового содержания ТММ – низкой ($Z_c = 9$).

Интенсивное суммарное загрязнение почв ТММ характерно для городов с населением до 100 тыс. человек (рис. 2), хотя прямой зависимости между людностью и уровнем Z_c почв не установлено. В городах с населением свыше 800 тыс. человек Z_c не превышает 16–20 с преимущественно неопасной экологической ситуацией. Между величиной Z_c почв и площадью или плотностью населения городов прямые связи также отсутствуют.

Исследования в Австралии показали прямую зависимость между количеством выбрасываемых и вторично образующихся взвешенных частиц в атмосферном воздухе и численностью населения [Ayers et al., 1982]. Однако это может нарушаться в небольших городах с развитой промышленностью: в Норильске в расчете на каждого жителя приходится примерно 11 т выбросов в год, в Асбесте – почти 6 т, в то время как в большинстве городов России показатель не превышает 1 т/чел. в год [Регионы и города России ..., 2014]. Во многих городах европейской части России ведущую роль в выбросах играют предприятия энергетики, работающие на природном газе, продукты сгорания которого практически не содержат взвешенных частиц, поэтому такие источники слабо влияют на загрязнение почв, но образующиеся при этом газообразные соединения оказывают негативное воздействие на качество атмосферного воздуха. В азиатской части России в структуре топлива преобладает уголь, что, наоборот, способствует усиленному выбросу твердых частиц и сажи и формированию иной геохимической специализации почв [Касимов с соавт., 2014]. Поэтому представление о наличии связи между численностью населения города и загрязнением почв достаточно условно. В связи с этим дискуссионна корректность применения людности в качестве критерия геохимической систематики городов в работе [Алексеев, Алексеев, 2013].

Выбросы в атмосферу являются начальным звеном векторной системы *воздействие* → *изме-*

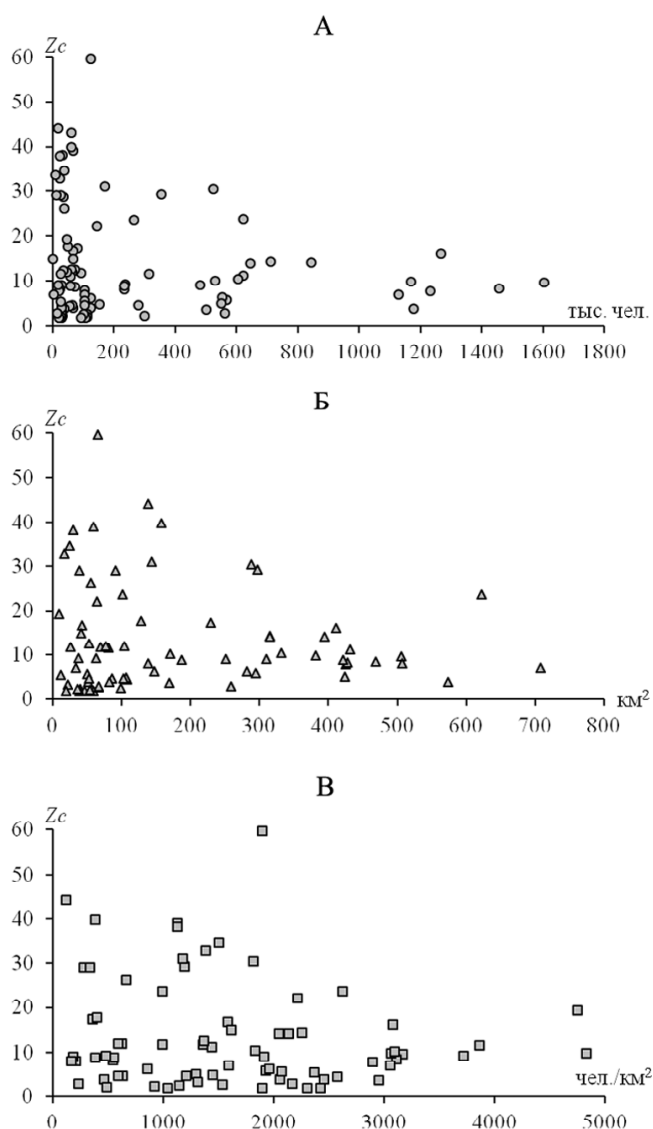


Рис. 2. Связь суммарного загрязнения почв ТММ в 2006–2015 гг. с численностью населения (А), площадью (Б) и плотностью населения (В) городов России. Не показана Москва из-за высокой численности населения и площади, и города с $Z_c > 60$ (Владикавказ, Ревда, Реж, Кировград, Рудная Пристань, Белебей)

Fig. 2. Relationship of the total soil contamination with HMM in 2006–2015 with population numbers (A), area (Б) and population density (В) of Russian cities. Moscow with high population numbers and large area is not shown, as well as the cities with $Z_c > 60$ (Vladikavkaz, Revda, Rezh, Kirovgrad, Rudnaya Pristan, Belebey)

нение → устойчивость → последствия, а загрязнение почв – конечным [Битюкова с соавт., 2011]. Поэтому установленная ранее [Касимов с соавт., 2014] связь между численностью населения и масштабом антропогенного воздействия на окружающую среду городов (атмосферу, водные и земельные ресурсы, тепловое и радиационное воздействие) не сохраняется между загрязнением почв и людностью.

Все это дает лишь приблизительную оценку интенсивности загрязнения городских почв России, так как во многих крупных городах мониторинг содержания ТММ в почвах не ведется. Например, в

«Докладах об экологической ситуации в Санкт-Петербурге» [2011–2015] или в «Докладах о состоянии и охране окружающей среды города федерального значения Севастополя» [2015, 2016] такие данные отсутствуют.

Приведенные данные представляют собой неполный и достаточно общий экологический «портрет» загрязнения почв ТММ, поскольку в некоторых городах помимо государственного мониторинга для более полной характеристики экологической ситуации периодически проводятся эколого-геохимические исследования научными организациями в рамках различных проектов. Так, согласно [Доклад о состоянии окружающей среды ..., 2009–2016], загрязнение почв Москвы низкое, в то время как исследования в отдельных округах позволили выделить районы с очень высоким уровнем экологической опасности [Касимов с соавт., 2016]. Аналогичная ситуация характерна для г. Томска, в котором по [Ежегодник ..., 2008–2016] загрязнение почв незначительное, а по оценкам Е.Г. Язикова с соавт. [2010] – высокое. Эти различия объясняются меньшим числом ТММ при государственном мониторинге, что не соответствует современным представлениям о приоритетных поллютантах урбанизированных территорий.

Для более полной картины необходимо регулярно проводить дополнительные исследования в городах с критическим уровнем антропогенного воздействия [Касимов с соавт., 2016]: Санкт-Петербурге, Брянске, Липецке, Туле, Краснодаре, Ярославле, Хабаровске, Белгороде, Астрахани, Магнитогорске, Череповце, Обнинске и др., а также в других крупных городах и промышленных центрах, информация о которых в ежегодных докладах о загрязнении почв России токсикантами промышленного происхождения отсутствует.

Выводы:

– получен экологический «портрет» загрязнения городских почв России ТММ. За последнюю четверть века в результате снижения выбросов промышленности и автотранспорта в почвах российских городов уменьшились в 3–5 раз средние концентрации Hg, Zn, Sn, Mn и в 1,5–3 раза – остальных ТММ. Одновременно в 2–5 раз увеличилась аномальность Pb, Cu, Mo, As, Co и Cd из-за роста контрастности техногенных геохимических аномалий рядом с промышленными предприятиями, автомобильными и железными дорогами. Во многих городах приоритетным загрязнителем является Cd;

– чрезвычайно опасная экологическая ситуация характерна для Владикавказа, Ревды, Режа, Кировграда, очень опасная – для Рудной Пристани и Белебея, опасная – для Первоуральска, Баймака, Полевского, Сибая, Верхней Пышмы, Сухого Лога, Давлеканово, Алапаевска, Нижних Серг, Невьянска. В почвах этих городов формируются преимущественно полиэлементные геохимические аномалии с доминированием Cd и высоким содержанием Pb,

Zn, Cu; для почв городов с неопасной экологической ситуацией характерны малоконтрастные моно-, двух- и реже трехэлементные геохимические аномалии; прямой связи между людностью, площадью или плотностью населения городов и загрязнением почв ТММ не установлено;

– для более полной характеристики загрязнения почв городов России ТММ необходимо включить в перечень контролируемых поллютантов Sb, As и др., а также увеличить число изучаемых населенных пунктов, особенно за счет крупных городов и промышленных центров.

Благодарности. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 14-27-00083), геохимическая специализация российских городов – Российского фонда фундаментальных исследований и Русского географического общества (договор № 03/2017 РГО-РФФИ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А., Алексеев А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2013. 388 с.
- Беус А.А., Грабовская Л.И., Тихонова Н.В. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1976. 248 с.
- Битюкова В.Р., Дорохова М.Ф., Власов Д.В., Касимов Н.С., Кислякова Н.Ю., Кириллов П.Л., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М., Петухова Н.В., Рыжов А.В., Савоскул М.С., Саульская Т.Д., Шартова Н.В. Восток – Запад Москвы: пространственный анализ социально-экологических проблем. М.: Географический факультет МГУ, 2016. 70 с.
- Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.В. Экологический портрет российских городов // Экология и промышленность России. 2011. № 4. С. 6–18.
- Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 235 с.
- Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555–571.
- Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- Доклад о состоянии и охране окружающей среды города федерального значения Севастополя. Севастополь: Севприроднадзор, 2015, 40 с.; 2016, 147 с.
- Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве. М.: Формула Цвета, 2009, 209 с.; 2010, 238 с.; М.: Спецкнига, 2011, 135 с.; 2012, 150 с.; 2013, 178 с.; М.: ЛАРК ЛТД, 2014, 222 с.; М.: ДПиООС; НИА-Природа, 2015, 384 с.; 2016, 269 с.
- Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге. СПб., 2011, 144 с.; СПб.: Сезам-Принт, 2012, 190 с.; 2013, 168 с.; СПб.: Единый строительный портал, 2014, 173 с.; СПб.: Дитон, 2015, 180 с.
- Ежегодник загрязнения почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения. Обнинск: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008, 97 с.; 2009, 120 с.; 2010, 139 с.; 2011, 142 с.; 2012, 146 с.; 2013, 138 с.; 2014, 114 с.; 2015, 105 с.; 2016, 111 с.
- Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Малхазова С.М., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М., Шартова Н.В., Власов Д.В., Тимошин С.А., Крайнов В.Н. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.
- Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. М.: ИМГРЭ, 2006. 7 с.
- Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.
- Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. Томск: Изд-во Томского политехнического ун-та, 2010. 264 с.
- Ayers G.P., Bigg E.K., Turvey D.E., Manton M.J. Urban influences on condensation nuclei over a continent // Atmospheric Environment. 1982. V. 16. P. 951–954.
- Birke M., Rauch U., Stummeyer J. Urban geochemistry of Berlin, Germany // Mapping the chemical environment of urban areas. Oxford: John Wiley & Sons, 2011. P. 245–268.
- Chemistry of Europe's agricultural soils. Part A: Methodology and interpretation of the GEMAS data set / Ed. by C. Reimann, M. Birke, A. Demetriades, P. Filzmozer, P. O'Connor. Hannover: Schweizerbart Sci. Publ., 2014. 528 p.
- Đuriš M. Geochemical and ecological survey of the Prague city area, Czech Republic // Mapping the chemical environment of urban areas. Oxford: John Wiley & Sons, 2011. P. 364–374.
- Emission standards. EU: cars and light trucks. DieselNet, 2017 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php> (дата обращения: 04.05.2017).
- Gao S., Luo T.-C., Zhang B.-R., Zhang H.-F., Han Y.-W., Hu Y.-K., Zhao Z.-D., Hu Y.-K. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1998. V. 62. Iss. 11. P. 1959–1975.
- Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // Chem. Geol. 2008. V. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.
- Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on geochemistry. Elsevier, 2003. V. 3. P. 1–64.
- Shaw D.M., Cramer J.J., Higgins M.D., Truscott M.G. Composition of the Canadian Precambrian shield and the continental crust of the Earth // The Nature of the lower continental crust / Ed. by J.B. Dawson, D.A. Carswell, J. Hall, K.H. Wedepohl. London: Geological Society of London, 1986. P. 257–282.
- Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: Its composition and evolution. Oxford: Blackwell Science Publ., 1985. 330 p.
- Varrica D., Dongarra G., Sabatino G., Monna F. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy // Environ. Geol. 2003. V. 44. P. 222–230.
- Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // Geochim. Cosmochim. Acta. 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.
- Wesseling L.G., Buijsman E., Annema J.A. The impact of Euro 5: facts and figures. MNP report 500043002. Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency, 2006. 10 p.

Поступила в редакцию 31.05.2017
Принята к публикации 28.12.2017

N.S. Kasimov¹, D.V. Vlasov²

HEAVY METALS AND METALLOIDS IN URBAN SOILS OF RUSSIAN CITIES (ACCORDING TO THE ANNUAL REPORTS OF ROSGIDROMET)

The intensity and dynamics of soil contamination with Cd, Pb, Cu, Zn, As, Sn, Hg, Sb, Mo, Cr, Co, Ni, V, Ti, Mn, Sr and Fe in 98 cities of Russia was evaluated through the analysis of a database compiled by the authors using the annual reports of soil contamination by toxicants of industrial origin in Russia. Over the last few decades due to the reduction of industrial and vehicular emissions mean concentrations of Hg, Zn, Sn, Mn in the soils of Russian cities decreased 3 to 5 times and the amounts of other heavy metals and metalloids (HMM) decreased 1.5 to 3 times. Besides, the geochemical anomaly of Pb, Cu, Mo, As, Co, Cd increased 2 to 5 times simultaneously due to more contrasting technogenic geochemical anomalies near industrial enterprises, roads and railways. The direct connection between the population, area or density of the population in cities and soil contamination with HMM was not found. Extremely dangerous ecological situation is typical for Revda, Rezh, Kirovgrad (Sverdlovsk Oblast) and Vladikavkaz. A very dangerous situation was recorded in the Rudnaya Pristan (Primorsky Krai) and Belebei (Bashkortostan). A dangerous ecological situation is typical for the cities of Pervouralsk, Polevskoy, Verkhnyaya Pyshma, Sukhoy Log, Alapaevsk, Nizhniye Sergi, Nevyansk (Sverdlovsk Oblast), Baymak, Sibai, Davlekanovo (Bashkortostan). Mainly polyelement geochemical anomalies were formed in the soils of the majority of cities, with predominance of Cd and high content of Pb, Zn, Cu. Low-contrast mono-, bi- and, less often, three-element geochemical anomalies are common for soils of the cities with non-hazardous ecological situation. To make the analysis of soil contamination by HMM in Russian cities more complete it is necessary to widen the list of controlled pollutants, adding Sb, As and some other elements, as well as to increase the number of studied settlements, especially by including the large cities and industrial centers, which are absent in the annual reports.

Key words: urban soils, geochemical anomalies, pollution, heavy metals and metalloids.

Acknowledgements. The assessment of soil contamination with heavy metals and metalloids was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-27-00083), the geochemical specialization of Russian cities was established under financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Russian Geographical Society (project РГО-РФФИ).

REFERENCES

- Alekseenko V.A., Alekseenko A.V.* Himicheskie elementy v geohimicheskikh sistemah. Klarki pochv selitebnykh landshaftov [Chemical elements in geochemical systems. The abundances in urban soils]. Rostov-on-Don: Izdatel'stvo JuFU, 2013. 380 p. (in Russian).
- Ayers G.P., Bigg E.K., Turvey D.E., Manton M.J.* Urban influences on condensation nuclei over a continent // *Atmospheric Environment*. 1982. V. 16. P. 951–954.
- Beus A.A., Grabovskaya L.I., Tihonova N.V.* Geohimiya okruzhayushhej sredy [Environmental Geochemistry]. Moscow: Nedra, 1976. 248 p. (in Russian).
- Birke M., Rauch U., Stummeyer J.* Urban geochemistry of Berlin, Germany // *Mapping the chemical environment of urban areas*. Oxford: John Wiley & Sons, 2011. P. 245–268.
- Bityukova V.R., Dorokhova M.F., Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kislyakova N.Yu., Kirillov P.L., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Petukhova N.V., Ryzov A.V., Savoskul M.C., Saulskaya T.D., Shartova N.V.* Vostok – Zapad Moskvy: prostranstvennyj analiz social'no-ekologicheskikh problem [East – West Moscow: spatial analysis of social and environmental problems. Moscow: Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University, 2016. 70 p. (in Russian).
- Bityukova V.R., Kasimov N.S., Vlasov D.V.* Ekologicheskij portret rossijskikh gorodov [Environmental Portrait of Russian Cities] // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2011. № 4. P. 6–18 (in Russian).
- Chemistry of Europe's agricultural soils. Part A: Methodology and interpretation of the GEMAS data set / Ed. by C. Reimann, M. Birke, A. Demetriades, P. Filzmozer, P. O'Connor. Hannover: Schweizerbart Sci. Publ., 2014. 528 p.
- Doklad o sostoyanii i ohrane okruzhayushhej sredy goroda federal'nogo znachenija Sevastopolya [Report on the state and protection of the environment in Sevastopol]. Sevastopol: Sevprirodnadzor, 2015. 40 p.; 2016. 147 p. (in Russian).
- Doklad o sostoyanii okruzhajushhej sredy v gorode Moskve [Report on the state of the environment in Moscow]. Moscow: Formula Cveta, 2009. 209 p.; 2010. 238 p.; Spekniga, 2011. 135 p.; 2012. 150 p.; 2013. 178 p.; LARK LTD, 2014. 222 p.; DPiOOS, NIA-Priroda, 2015. 384 p.; 2016. 269 p. (in Russian).
- Doklad ob ekologicheskoy situacii v Sankt-Peterburge [Report on the environmental situation in St. Petersburg]. Saint-Petersburg, 2011. 144 p.; Sezam-Print, 2012, 190 p.; 2013, 168 p.; Edinyj stroitel'nyj portal, 2014, 173 p.; Diton, 2015, 180 p. (in Russian).
- Đuriš M.* Geochemical and ecological survey of the Prague city area, Czech Republic // *Mapping the chemical environment of urban areas*. Oxford: John Wiley & Sons, 2011. P. 364–374.
- Emission standards. EU: cars and light trucks. DieselNet, 2017. URL: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php> (access: 04.05.2017).
- Ezhegodnik zagryazneniya pochv Rossijskoj Federacii toksikantami promyshlennogo proishozhdeniya [Annual report of

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, head of the department, Academician of RAS; e-mail: secretary@geogr.msu.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: vlasgeo@yandex.ru

soil pollution in the Russian Federation with toxicants of industrial origin]. Obninsk: GU VNIIGMI-MCD, 2008. 97 p.; 2009. 120 p.; 2010. 139 p.; 2011. 142 p.; 2012. 146 p.; 2013. 138 p.; 2014. 114 p.; 2015. 105 p.; 2016. 111 p. (in Russian).

Gao S., Luo T.-C., Zhang B.-R., Zhang H.-F., Han Y.-W., Hu Y.-K., Zhao Z.-D., Hu Y.-K. Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1998. V. 62. Iss. 11. P. 1959–1975.

Grigoriev N.A. Raspreделение himicheskikh elementov v verhnej chasti kontinental'noj kory [Chemical element distribution in the upper continental crust]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. 382 p. (in Russian).

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // *Chem. Geol.* 2008. V. 253. Iss. 3–4. P. 205–221.

Ekogeohimiya gorodskih landshaftov [Ecogeochemistry of urban landscapes] / Ed. by N.S. Kasimov. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, 1995. 336 p. (in Russian).

Kasimov N.S., Bityukova V.R., Malkhazova S.M., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Shartova N.V., Vlasov D.V., Timonin S.A., Krainov V.N. Regiony i goroda Rossii: integral'naya ocenka ekologicheskogo sostoyaniya [Regions and cities of Russia: the integrated assessment of the state of the environment]. Moscow: publisher Filimonov M.V., 2014. 560 p. (in Russian).

Kasimov N.S., Vlasov D.V. Klarki himicheskikh elementov kak etalony sravneniya v ekogeohimii [Clarkes of chemical elements as comparison standards in ecogeochemistry] // *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya Geografiya*. 2015. № 2. P. 7–17 (in Russian).

Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Geohimiya landshaftov Vostochnoj Moskvy [Landscape Geochemistry of Eastern Moscow]. Moscow: APR, 2016. 276 p. (in Russian).

Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozduha naselennykh punktov metallami po ih sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve [Methodical recommendations on the assessment of air pollution with metals in

settlements basing on their content in snow cover and soil]. Moscow: IMGRE, 2006. 7 p. (in Russian).

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // *Treatise on geochemistry*. 2003. Elsevier. V. 3. P. 1–64.

Shaw D.M., Cramer J.J., Higgins M.D., Truscott M.G. Composition of the Canadian Precambrian shield and the continental crust of the Earth // *The Nature of the lower continental crust* / Ed. by J.B. Dawson, D.A. Carswell, J. Hall, K.H. Wedepohl. London: Geological Society of London, 1986. P. 257–282.

Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: Its composition and evolution. Oxford: Blackwell Science Publ., 1985. 330 p.

Varrica D., Dongarra G., Sabatino G., Monna F. Inorganic geochemistry of roadway dust from the metropolitan area of Palermo, Italy // *Environ. Geol.* 2003. V. 44. P. 222–230.

Vinogradov A.P. Geohimiya redkih i rasseyannykh elementov v pochvakh [Geochemistry of rare and trace elements in soils]. Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR, 1957. 235 p. (in Russian).

Vinogradov A.P. Srednee sodержanie himicheskikh elementov v glavnykh tipakh izverzhennykh porod zemnoj kory [The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks of the Earth's crust] // *Geokhimiya*. 1962. № 7. P. 555–571 (in Russian).

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // *Geochim. Cosmochim. Acta*. 1995. V. 59. № 7. P. 1217–1232.

Wesselink L.G., Buijsman E., Annema J.A. The impact of Euro 5: facts and figures. MNP report 500043002. Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency, 2006. 10 p.

Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhorniyak L.V. Ocenka ekologo-geohimicheskogo sostoyaniya territorii g. Tomsk po dannym izucheniya pyleaerozolej i pochv [Assessment of the ecological and geochemical state of the territory of Tomsk according to the data on dust aerosols and soils]. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo politehnicheskogo universiteta, 2010. 264 p. (in Russian).

Received 31.05.2017

Accepted 28.12.2017

УДК 911.375.62/630.91

О.А. Илларионова¹, О.А. Климанова²

ТРАНСФОРМАЦИЯ «ЗЕЛеной ИНФРАСТРУКТУРЫ» В КРУПНЫХ ГОРОДАХ ЮЖНОЙ АМЕРИКИ

На примере четырех городов Латинской Америки – Ла-Пас, Лимы, Буэнос-Айреса и Рио-де-Жанейро рассмотрена трансформация «зеленой инфраструктуры» в 1986–2016 гг. Авторы понимают зеленую инфраструктуру как совокупность незапечатанных городских пространств, выполняющих различные экосистемные функции. Предложены подходы к таксономии объектов «зеленой инфраструктуры» и критерии оценки их состояния. Выявлено, что, несмотря на благоприятные ландшафтно-климатические условия, наименее удовлетворительное состояние «зеленой инфраструктуры» по выбранным критериям отмечается в Буэнос-Айресе. Наилучшие показатели имеет Рио-де-Жанейро, где в отличие от других городов наибольшие площади «зеленой инфраструктуры» представлены сомкнутой естественной растительностью, доля которой за последние 30 лет увеличилась.

Ключевые слова: городская «зеленая инфраструктура», Латинская Америка, сомкнутая растительность, таксономический уровень, агломерация.

Введение. Понятие «зеленая инфраструктура» (ЗИ), используемое в мировой литературе по градостроительному проектированию с конца 1990-х гг., означает совокупность незастроенных элементов городского пространства, для которых характерна мультифункциональность, связность и иерархичность [Климанова с соавт., 2016]. В США и Канаде в состав зеленой инфраструктуры включают природные территории и зеленые насаждения, выполняющие функции регулирования стока и защиты от наводнений, очистки воды и воздуха и поддержки местообитаний [Green Infrastructure, 2015]. В странах Европы к элементам «зеленой инфраструктуры» как в городе, так и за его пределами относят территории с высоким уровнем биоразнообразия (в том числе включенные в состав Natura 2000) в пределах охраняемых территорий и их буферных зон, устойчиво функционирующие экосистемы за пределами охраняемых территорий, природные комплексы, выполняющие роль экологических коридоров, восстановленные местообитания, искусственные переходы, способствующие приоритетному поддержанию экосистем, элементы городского озеленения (парки, зеленые стены и крыши, водонепроницаемые тротуары и дорожные покрытия) [European Commission – Green Infrastructure Implementation, 2010]. В отечественной школе градостроительного проектирования понятие «зеленая инфраструктура» (или «зеленые пространства») только начинает использоваться, более привычно словосочетание «зеленые насаждения», под которым в ГОСТ 28329-89 подразумевается совокупность древесной, кустарниковой и травянистой растительности на определенной территории. С позиций внутригородского планирования более употребимы термины «экологический

каркас» [Колбовский, 1999], «природно-экологический каркас» [Гриднев, 2010].

Агломерационное развитие, характерное для большинства крупных городов мира, сопровождается сокращением незастроенных пространств как в пригородах, так и на территории самого города, видоизменением их функций и нередко уменьшением комфортности городской среды. Инфраструктурный подход при планировании незапечатанных городских пространств предполагает не только валовую (по городу или его отдельным районам) качественную и количественную оценку зеленых насаждений, но и анализ обеспеченности ими на четырех уровнях территориального планирования – для агломерации и ее ближайшего окружения, городской агломерации в пределах границ города, городских районов и кварталов. Это особенно важно в связи с тем, что на каждом из уровней зеленые насаждения выполняют различные приоритетные функции, совокупность которых и определяет качество городской среды.

Развитие городской сети в странах Латинской Америки имело свои характерные особенности. В Новом Свете, где представители доколумбовых цивилизаций не знали колеса, первоначально главными факторами размещения городов были труднодоступность (для лучшей обороны) и возможность прокладывать пешеходные дороги [Bethell, 2008]. Города обносились каменными стенами, а террасы для земледелия часто располагались в их черте. Они долго оставались единственными элементами «зеленой инфраструктуры» в черте традиционной городской застройки. Лишь в конце XVI в., когда в связи с продвижением европейцев во внутренние части материка города возникали вдоль речных долин, их внутренняя структура стала походить на европейскую.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, студентка; e-mail: heatherpaw95@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: oxkl@yandex.ru

К началу XVIII в. сформировались основные «оси» городской сети Южной Америки: Атлантическое побережье, Альтиплано и хребты Центральных Анд, долины крупных рек [Sedrez, 2013]. В постепенно увеличивающихся в размерах и благосостоянии приморских городах появились резиденции европейских монархов, были построены усадьбы в стиле итальянского ренессанса с палисадниками и садами, созданы общественные зеленые пространства [Rodgers, 2005]. Города постепенно развивались и увеличивались в размерах, но система городского планирования долго практически отсутствовала.

Разная планировка португальских и испанских городов также оставила след в современной ЗИ Бразилии и других стран материка. Для крупных городов бывших испанских колоний была характерна строгая прямоугольная планировка – результат исполнения Королевского указа, соответствовавшая религиозным идеалистическим представлениям об устройстве мира и политико-экономическим направлениям городского планирования. Четкая система управления и контроля достигалась в ходе разделения городов на функциональные зоны квартальной сеткой с площадью, церковью, ратушей и пикотой (позорным столбом) в центре. Подобные «городские решетки» обеспечивали рациональное функционирование города и полный контроль над его гражданами. Частью зонирования являлось разделение на аристократический район в центре с рекреационными и эстетическими зелеными зонами и слабо озелененные купеческий и ремесленный районы на окраинах. Данная сегрегация и сейчас читается в структуре латиноамериканских городов, в которых очень велик разрыв в развитии зажиточных центральных и бедных окраинных районов [Wilson, 2007].

При строительстве португальских городов требовалось быстрое «количественное» освоение земель. В первую очередь во внимание принимались вопросы использования рельефа для обороны, а не функционирования города. Таким образом, фазенды первых землевладельцев строились на возвышенностях, чтобы иметь хороший обзор в случае нападений. Первая фазенда с плантацией постепенно «обрастала» другими, образуя разнородное поселение без планировки. Со временем на возвышенности строилась церковь, к которой сводились формирующиеся улицы, площадь перед церковью становилась центром, образуя уникальную квазирадиальную городскую застройку [Sedrez, 2013].

Первое «Руководство по городскому планированию», в котором упоминается необходимость планирования городов в странах региона не только со стороны коммуникаций, но и эстетики городского пространства, в том числе и наличия зеленых зон, было создано в 1939 г. К. Бруннером и стало внедряться с середины XX столетия. Экологическое значение зеленые зоны городов начали приобретать в 1980-х гг. [Almadoz, 2006].

Рост абсолютной численности городского населения в Южной Америке пришелся на 1990-е гг., он стал причиной наиболее интенсивной экспансии городской застройки на прилегающие территории в крупных и сверхкрупных городах региона, в которых сегодня проживает более 335 млн чел³. В то же время, несмотря на схожие процессы социально-экономического развития южноамериканских городов, конфигурация, состояние и характер трансформации зеленой инфраструктуры в них существенно отличаются из-за разных историй градостроительного планирования и ландшафтно-географических условий их расположения. В связи с этим актуальной представляется комплексная оценка состава и современного состояния ЗИ городов разных типов – приречных, приморских и горных, каждый из которых достаточно широко представлен в Южной Америке. Проведение такой оценки на основе данных дистанционного зондирования, материалов общедоступных картографических источников и литературных данных стало основной целью данной статьи. Для достижения подобной цели была проведена инвентаризация элементов зеленой инфраструктуры на разных таксономических уровнях в городах разных типов, количественно охарактеризованы параметры ее современного состояния, проведен анализ градостроительной политики в области озеленения, определены основные проблемы, связанные с зеленой инфраструктурой в каждом из городов.

Материалы и методы исследований. Объектами исследования были выбраны 4 крупнейших агломерации региона, каждая из которых отражает свою группу крупных латиноамериканских городов по типу местоположения: Буэнос-Айрес, Лима, Рио-де-Жанейро и Ла-Пас.

Буэнос-Айрес относится к типу приречных городов – его северная часть лежит на нижней террасе Рио-де-ла-Платы, а большая часть располагается в юго-восточной части волнистой эрозионно-аккумулятивной равнины Пампа Ондудала с высотами до 30 м над уровнем моря. Естественная растительность представлена влажной пампой, в дельте произрастают вторичные субтропические широколиственные леса [Atlas Ambiental de Buenos Aires, URL: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar>]. Тип приморских городов представляют два города – Лима и Рио-де-Жанейро, расположенные в совершенно разных климатических и геоморфологических условиях. Лима лежит в области экстрааридного климата на расчлененных конусах выноса, сформировавшихся в результате активной работы рек Римак, Чилон и Лурин, агломерация занимает также денудационно-аккумулятивную предгорную равнину тихоокеанского побережья и прилегающие склоны гор на высотах до 600 м [Karakouzian, 1997]. Зональная растительность представлена эфемерно-луковично-суккулентными формациями ломас, появляющимися на высоте более 150 м над ур. м.

³ <http://www.prb.org/> (Population Reference Bureau. World Population Data Sheet 2016. Washington: PRB, 2016).

[Araña, 2005]. В Рио-де-Жанейро гумидный климат, центр города занимает приморскую равнину залива Гуанабара, чья полого-наклонная поверхность осложнена серами с высотами до 600 м. На севере к городу подходит массив щелочного состава Гереси-но-Мендана, на востоке и западе – гранито-гнейсовые массивы Тижука и Педра-Бранка (до 1025 м), покрытые полувечнозелеными атлантическими тропическими лесами (*Mata Atlântica*). На косе Марамбаи развита псаммофитная формация *рестинга*, на берегах залива Гуанабара сохраняются мангровые леса [Fernandes, 2010]. Ла-Пас относится к широко распространенному в регионе типу горных городов, расположенных в котловинах и межгорных долинах. Основная часть города лежит на северо-восточной окраине вулканического плато Альтиплано на высотах 2900–4100 м, а северную часть занимают глубоко врезанные в склоны сводово-глыбовых гор Кордильеры Реаль, речные долины Рио-Калуйо, Рио-Секо, Рио-Ачумани и Рио-Кальяпа. Зональная растительность – кустарниковые степи пуны на лугово-степных почвах холодных высоких плоскогорий [Vebe, 2007].

Оценка состояния и характера трансформации растительности проводилась на основе анализа космических снимков Landsat-5 и Landsat-8 (1986 и 2016 гг.), синтезированных в «искусственных цветах» в программе ArcGIS 10.3 и данных общедоступных картографических сервисов (Wikimapia, Google Maps). На основе собственного анализа результатов дешифрирования и изучения литературных материалов были разработаны критерии разделения ЗИ города на 4 уровня: агломерационный (A_y), городской (Γ_y), районный (P_y), внутриквартальный (K_y) (табл. 1, рис.). Уровень A_y выделяется, если в пределах административных границ городское ядро (основная застроенная часть агломерации) окружено непрерывным поясом растительности и выполняет функцию агломерационного буфера, который смягчает воздействие городской среды на прилегающие территории. В Лиме A_y не выделяется, так как ло-масы не образуют сплошного пояса, продолжающе-

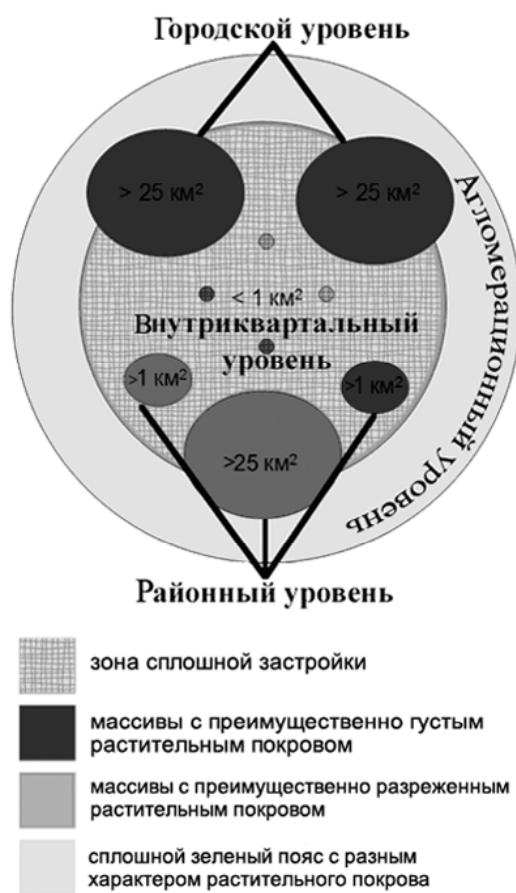


Рис. Территориальные уровни «зеленой инфраструктуры»

Fig. Territorial levels of green infrastructure

гося за пределами границ агломерации, для выполнения функции буфера.

Элементы P_y отличаются наибольшим разнообразием функций. Естественные массивы P_y могут выполнять рекреационную и средообразующую (в случае малых ООПТ) и водорегулирующую функции. Искусственные представлены сельхозугодьями, воздействующими на микроклимат и гидроло-

Таблица 1

Критерии выделения уровней «зеленой инфраструктуры» в городах

Критерии выделения уровней ЗИ		A_y	Γ_y	P_y	K_y
Площадь элементов (км^2) в зонах:	аридной	Не зависит	>1	>0,5	<0,5
	гумидной		>25	>1	<1
Доля сомкнутого растительного покрова, %		Не зависит	>50	<50	Не зависит
Расположение элементов		Сплошной пояс вокруг городского ядра	Вписаны в городское ядро	Вписаны в городское ядро	Внутри кварталов застройки
Важнейшие функции (в порядке убывания значимости)		Экологический буфер для прилегающих территорий	Средообразующая, климато- и гидрорегулирующая, рекреация	Водорегулирующая, средообразующая, рекреация	Эстетика, рекреация, изоляция от шума и пыли
Основные элементы		Сельхозугодья, лесные земли	ООПТ, агро- и лесопарки	Пустыри, сельхозугодья, буферы, парки, полигоны	Скверы, парки, бульвары, сады, палисадники

гический режим, буферами вокруг промышленных зон, реже крупными парками. Обычно ЗИ на P_y – это не пригодные для застройки пустыри и полигоны особого назначения, выполняющие буферную функцию для городской среды. Особую значимость имеют элементы G_y . Они влияют на формирование подземного стока, задерживают влагу и укрепляют грунт, снижая риск селей и наводнений. На G_y сохраняются массивы типичной естественной растительности, некоторые особо охраняемые природные территории (ООПТ) также служат для рекреации. Элементы K_y отличаются наименьшей площадью, выделяются внутри городского ядра и имеют преимущественно искусственное происхождение. Данный уровень предназначен главным образом для выполнения эстетических и рекреационных функций.

Масштаб и разрешение изображений на основе данных о структуре и плотности позволили выделить удобные для сравнения в разных природных зонах категории сомкнутой и разреженной растительности.

Оценка состояния и трансформации элементов «зеленой инфраструктуры» проводилась по следующим показателям: доля ЗИ от площади агломерации (%), доля разных уровней от общей ЗИ города (%), коэффициент озелененности (отношение площади ЗИ к площади города) внутри границ агломерации и городского ядра, обеспеченность населения зеленой инфраструктурой ($m^2/чел.$).

Результаты и их обсуждение. В результате исследования на основе данных дистанционного зондирования определены основные показатели состояния и приуроченности элементов ЗИ к территориальным уровням в городах разных типов (табл. 2). По доле ЗИ в общей площади агломерации по состоянию на 1986 г. города располагались в соответствии с градиентом увлажнения – самым зеленым городом был Рио-де-Жанейро (53%), наименьшая доля ЗИ отмечена в Лиме – 27%. За 30 лет наибольшее сокращение доли ЗИ в пределах агломерации произошло в Буэнос-Айресе и Ла-Пасе (–15%), где отмечено раздробление сплошного «зеленого» пояса и переход элементов ЗИ на более низкий – городской иерархический уровень. Причина – активизация застройки на обширных равнинных площадях, занятых ранее сельхозугодьями. В Лиме меньшие темпы сокращения (–8%) связаны с природными условиями: ЗИ, представленная формацией ломас (занимает районный и городской уровни), приурочена к вершинным поверхностям серры, а подверженная городской экспансии равнина была первоначально лишена растительного покрова. В Рио-де-Жанейро отмечено увеличение общего показателя озелененности (+7%), прежде всего за счет увеличения ЗИ городского уровня.

Анализ распределения зеленой инфраструктуры по уровням показал, что в трех городах (кроме Лимы, где агломерационный уровень отсутствует в

Таблица 2

Состояние элементов зеленой инфраструктуры в городах в 1986–2016 гг.

Показатель	Лима			Ла-Пас			Буэнос-Айрес			Рио-де-Жанейро		
	1986	2016	1986–2016, изменения	1986	2016	1986–2016, изменения	1986	2016	1986–2016, изменения	1986	2016	1986–2016, изменения
Доля ЗИ от площади агломерации, %	27	19	–8	49	34	–15	52	37	–15	53	60	+7
Доля ЗИ разных уровней, %:												
внутриквартального	42	54	–12	6	24	+18	3	15	+12	5	27	+22
районного	52	31	–21	6	6	0	8	8	0	15	15	0
городского	6	15	+9	3	6	+3	15	25	+10	45	52	+7
агломерационного	–	–	–	85	64	–21	74	52	–22	35	6	–29
Доля в составе ЗИ территорий с сомкнутым растительным покровом, %	19	53	+34	15	11	–4	19	13	–6	22	51	+29
Коэффициент озелененности												
внутри границ агломерации	0,28	0,19	–0,9	0,48	0,34	–0,14	0,52	0,37	–0,14	0,51	0,60	–0,09
внутри городского ядра	0,18	0,15	–0,03	0,15	0,22	+0,07	0,09	0,12	+0,03	0,18	0,39	+0,21
Обеспеченность населения ЗИ, $m^2/чел.$ *	19	6	–13	20	23	–3	15	11	–4	8	14	+6

* Рекомендуемый ВОЗ норматив – 8–15 $m^2/чел.$

силу природных особенностей) произошло сокращение массивов большой площади, окружавших город и образовавших его буфер; на агломерационном уровне оно составило от 21% (Ла-Пас) до 29% (Рио-де-Жанейро). В то же время, во всех четырех городах произошло увеличение ЗИ на городском уровне, доля внутриквартальных насаждений увеличилась во всех городах, кроме Лимы.

В самом аридном (Лима) и самом гумидном (Рио-де-Жанейро) городах более половины ЗИ занимают территории с сомкнутым растительным покровом, причем их доля за 30 лет увеличилась. Структура этих насаждений различна – в Лиме это результат интенсивного озеленения на внутриквартальном уровне видами-интродуцентами (делониксом королевским (*Delonix Regia*), спатодеей (*Spathodea*), гревиллей крупной (*Grevillea robusta*), каллистемоном (*Callistemon*), шелковицей черной (*Morus nigra*) [Terry, 2015]. В Рио-де-Жанейро происходит естественное возобновление растительности, прежде всего на склонах гранитных массивов, не занятых застройкой.

За 1986–2016 гг. коэффициент озелененности (K_z) агломераций сократился во всех городах, кроме Рио-де-Жанейро. Самое заметное сокращение отмечается в Ла-Пасе и Буэнос-Айресе, где площадь агломерации увеличилась более чем на 40%. Уровень K_z внутри городского ядра везде вырос благодаря новым элементам внутриквартального и районного уровней. Несмотря на семигумидный климат, K_z Буэнос-Айреса вырос меньше остальных городов, и сегодня ниже K_z экстрааридной Лимы, что говорит о слабом развитии внутригородского озеленения. Высокий K_z Рио-де-Жанейро связан с внедрением программ по озеленению, сокращению районов нелегальной застройки (фавел) на склонах и их залесению, сохранению палисадников и парков в центре и условиями тепло- и влагообеспеченности.

Большинство городов имеет душевую обеспеченность ЗИ выше рекомендуемой стандартами ВОЗ (8–15 м²/чел.), которые приняты за норму в городском планировании рассматриваемых государств. Исключение составляет Лима, где рост численности населения (почти на 5 млн чел.) произошел быстрее, чем увеличение площади зеленых насаждений. В то же время везде, кроме Рио-де-Жанейро, отмечено уменьшение этого показателя за последние 30 лет.

Несмотря на общие относительно высокие показатели душевой обеспеченности ЗИ, во всех городах наблюдается острая неоднородность внутриквартального озеленения. В Буэнос-Айресе и Рио-де-Жанейро «зеленые» части города – это неплотные застроенные окраинные районы аграрной направленности или элитные кварталы с садами и уличным озеленением. В Лиме и Ла-Пасе, напротив, наиболее озеленен центр, где сосредоточены основные скверы и парки.

Интерпретируем произошедшие изменения с точки зрения функций элементов ЗИ. Сокращение доли агломерационного уровня во всех городах сви-

детельствует о том, что ЗИ перестает играть роль буфера, ограничивающего застройку, причем это характерно и для городов, где зеленые насаждения занимают возвышенные, непригодные для застройки элементы рельефа (Рио-де-Жанейро). На внутриквартальном уровне основная роль ЗИ – поддержание комфортного с эстетической и рекреационной точек зрения ближайшего окружения для жилых массивов. Часто именно реализация этих функций элементами ЗИ – целевой показатель для градостроительной политики. С этих позиций во всех городах (кроме Лимы) эти функции стали выполняться лучше. Однако часто подобное увеличение происходило за счет снижения выполнения средостабилизирующих и водорегулирующих функций ЗИ иных таксономических уровней. Рассмотренные примеры позволяют предположить, что мы имеем дело не столько с моделью «поляризованной биосферы» [Родман, 2002], сколько, наоборот, с инкорпорацией элементов ЗИ на все уровни планирования, а наиболее ценные массивы остаются на периферии лишь в том случае, если речь идет о непригодных для освоения территориях.

В каждом из городов наряду с общими есть и свои геоэкологические проблемы, решению которых способствует «зеленая инфраструктура». В Лиме, которая особенно уязвима перед засухой, сохранение ломас и сельхозугодий вдоль долин способствует увеличению подземного стока. Одной из причин сокращения ломас здесь является спонтанное разрастание города за счет трущоб (кебрадос) по склонам, что образует неблагоприятные районы с минимальным озеленением [Domeisen, 2000]. С 1986 г. их площадь сократилась на 45 и 90% соответственно, что увеличивает риск засух, особенно в годы Ла-Нинья. Ла-Пас и Рио-де-Жанейро сталкиваются с проблемами сезонного переизбытка воды: наводнениями и селями [Fernandes, 2010]. Сомкнутая растительность на горных склонах и в верховьях речных долин задерживает воду и укрепляет грунт, что предотвращает возникновение селей и уменьшает показатели речного стока во время паводков. Искусственная поверхность застроенных территорий, напротив, увеличивает сток водотоков [Sedrez, 2013]. В Рио-де-Жанейро многие реки берут начало на залесенных массивах, где за 30 лет сомкнутый растительный покров увеличился на 52%. В Ла-Пасе, напротив, на северных склонах и в верховьях долин площадь застройки увеличилась на 40%, что может повлиять на частоту селей и наводнений.

В Буэнос-Айресе естественные массивы ЗИ – особо охраняемые природные территории – Дельта-де-Парана и Дельта-де-Эскобар со вторичными субтропическими широколиственными лесами, где до 1970-х гг. создавались лесные плантации из ивы и тополя [Kalesnik, 2013]. Посадки интродуцентов и сельскохозяйственных культур, интенсивно распространяющихся в благоприятных семигумидных условиях, привели к угнетению местных видов. Так, в лесах дельты лишь 60 из 280 видов деревьев коренные [Atlas Ambiental de Buenos Aires, 2015].

Комплексная оценка структуры и приуроченности элементов зеленой инфраструктуры к территориальным уровням показывает, что, несмотря на благоприятные ландшафтно-климатические условия, наименее удовлетворительное состояние ЗИ по выбранным критериям отмечается в Буэнос-Айресе. Наилучшие показатели имеет Рио-де-Жанейро, где, в отличие от других городов, наибольшие площади зеленой инфраструктуры представлены сомкнутой естественной растительностью, доля которой за последние 30 лет увеличилась.

Выводы

Проведенный анализ структуры и характера трансформации зеленой инфраструктуры в 1986–2016 гг. в Буэнос-Айресе, Лиме, Ла-Пасе и Рио-де-Жанейро позволил сделать следующие выводы:

- во всех городах (за исключением Лимы) трансформация ЗИ происходила на высших иерархических уровнях, в то время как внутригородская зеленая инфраструктура менялась незначительно. ЗИ городов, расположенных в более аридных условиях, из-за более высокой доли искусственных насаждений в большей степени подвержена изменениям внутригородского землепользования;
- зеленая инфраструктура на городском уровне во всех городах не испытала значительной трансформации, так как к ней относятся в основном земли ООПТ, имеющие особый статус и за-

нимающие, как правило, непригодные для застройки территории (водно-болотные угодья, гранитные массивы и др.). Элементы этого уровня нуждаются в поддержании современного состояния и восстановлении связей между ними для обеспечения сохранности биологического разнообразия;

– в ходе развития агломерации практически не изменилась доля ЗИ районного уровня, представленных в основном малоценными с социальной и экологической точки зрения неудобными землями и полигонами особого назначения. Повсеместное увеличение доли внутриквартального озеленения в исследованных городах имеет разные причины. В Лиме и Ла-Пасе за счет создания новых парков и скверов, озеленения улиц и прочих мер происходит качественное увеличение зеленой инфраструктуры нижних уровней, в то время как в городах с более гумидными условиями рост доли внутриквартального озеленения связан с фрагментацией массивов большей площади;

– площади зеленых массивов в верховьях речных долин и на горных склонах, выполняющих климато- и стокорегулирующие функции, необходимые для предотвращения неблагоприятных природных явлений, увеличились только в Рио-де-Жанейро и сократились в Ла-Пасе и Лиме, что делает эти города более уязвимыми к селям и наводнениям.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы кафедры физической географии мира и геоэкологии «Геологическая оценка и прогноз состояния ландшафтов мира в условиях глобальных изменений».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гриднев Д.З., Кочуров Б.И., Курбатова А.С. Природно-экологический каркас в территориальном планировании муниципальных образований // Проблемы региональной экологии. 2010. № 6. С. 186–194.
- Климанова О.А., Колбовский Е.Ю., Курбаковская А.В. Оценка геоэкологических функций зеленой инфраструктуры в городах Канады // География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 191–200.
- Колбовский Е.Ю. Региональный экологический каркас: проблемы формирования и развития // Проблемы региональной экологии. 1999. № 4. С. 79–92.
- Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера. Смоленск: Ойкумена, 2002. 336 с.
- Almadoz A. Urban planning and historiography in Latin America // Progress in planning. 2006. № 65. P. 81–123.
- Arana C., Salinas L. Fragilidad de los ecosistemas de Lomas costeras del Perú central // Dillonia. 2005. № 5(1). P. 32–35.
- Atlas Ambiental de Buenos Aires. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/> (Дата обращения: 13.01.2017).
- Bethell L. The Cambridge history of Latin America // Colonial Latin America. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. V. 2. 894 p.
- Domeisen N. Cities at risk – making cities safer before disaster strikes. Geneva: International Decade for Natural Disaster Reduction (UN-IDNDR), 2000. 54 p.
- European Commission – Green Infrastructure Implementation 19.11.2010 Conference Background [Электронный ресурс] – http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/green_infrastructure.htm (дата обращения 15.01.2017).
- Fernandes N.F., Tupinamba M. Rio de Janeiro: A metropolis between granite-gneiss massifs // Geomorphological landscapes of the world. New York: Springer Science & Business Media, 2010. P. 89–100.
- Green Infrastructure. EPA. [Электронный ресурс] – http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_what.cfm (дата обращения 15.01.2017).
- Kalesnik F., Sirolli H., Collantes M. Seed bank composition in a secondary forest in the Lower Delta of the Paraná River (Argentina) // Acta Botanica Brasílica, Feira de Santana. 2013. V. 27. № 1. P. 40–49.
- Karakouzian M. Geology of Lima // Environmental & Engineering Geoscience. 1997. P. 55–58.
- O'Hare G., Rivas S. The landslide hazard and human vulnerability in La Paz city, Bolivia // The Geographical J. 2005. V. 171. P. 239–258.
- Rodgers D., Beall J., Kanbur R. Latin American urban development into the 21st century. Towards a renewed perspective on the city // Urbanization and development in Latin America. 2005. UNU WIDER Volume. 20 p.
- Sedrez L. Urban nature in Latin America: diverse cities and shared narratives // New environmental histories of Latin America and the Caribbean – RCC Perspectives. 2013. № 7. P. 59–65.
- Terry R.R. Urban Trees in Lima, Peru // City Trees. J. the Society of Municipal Arborists. 2015. May–June. P. 34–39.
- Veblen T.T., Young K.R., Orme A.R. The physical geography of South America. Oxford: Oxford University Press, 2007. 360 p.
- Wilson J.H. The urban development of Spanish colonial Pensacola, 1781–1821. Tallahassee: Florida State University, 2007. 177 p.

Поступила в редакцию 27.04.2017
Принята к публикации 28.12.2017

O.A. Illarionova¹, O.A. Klimanova²TRANSFORMATION OF GREEN INFRASTRUCTURE
IN LARGE CITIES OF SOUTH AMERICA

The transformation of green infrastructure during 1986–2016 was analyzed for four Latin American cities, i.e. La Paz, Lima, Buenos Aires and Rio De Janeiro. The green infrastructure (GI) is a set of unsealed urban spaces that perform different ecosystem functions. Original approach to the taxonomy of the objects of green infrastructure and criteria for the assessment of their state are suggested. It was revealed that despite favorable landscape and climatic conditions, the least satisfactory state of GI according to the specified criteria is typical of Buenos Aires. The best values of indicators are in Rio de Janeiro, where, unlike other cities, there are the largest areas of green infrastructure represented by closed natural vegetation, the proportion of which has increased over the past thirty years.

Key words: Urban green infrastructure, Latin America, closed vegetation, taxonomy level, agglomeration.

Acknowledgements. The study was undertaken within the budget-financed research theme of the Department of World Physical Geography and Geoecology «Geoecological assessment and forecast of the state of landscapes under the global changes».

REFERENCES

- Almadoz A.* Urban planning and historiography in Latin America // *Progress in planning*. 2006. № 65. P. 81–123.
- Arana C., Salinas L.* Fragilidad de los ecosistemas de Lomas costeras del Perú central // *Dilloniana*. 2005. № 5(1). P. 32–35.
- Atlas Ambiental de Buenos Aires.*: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/aaba/> (Accessed: 13.01.2017).
- Bethell L.* The Cambridge history of Latin America // *Colonial Latin America – Cambridge*: Cambridge University Press, 2008. V. 2. 894 p.
- Domeisen N.* Cities at risk – making cities safer before disaster strikes. – Geneva: International Decade for Natural Disaster Reduction (UN-INDR), 2000. 54 p.
- European Commission – Green Infrastructure Implementation 19.11.2010 Conference Background – http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/green_infrastructure.htm [Accessed 15.01.2017].
- Fernandes N.F., Tupinamba M.* Rio de Janeiro: A metropolis between granite-gneiss massifs // *Geomorphological landscapes of the world*. – New York: Springer Science & Business Media, 2010. P. 89–100.
- Green Infrastructure. EPA. – http://water.epa.gov/infrastructure/greeninfrastructure/gi_what.cfm [Accessed 15.01.2017].
- Gridnev D.Z., Kochurov B.I., Kurbatova A.S.* Prirodno-ekologicheskij karkas v territorial'nom planirovanii municipal'nyh obrazovanij [Natural-ecological network in the territorial planning of municipalities] // *Problemy regional'noj ekologii*. 2010. № 6. S. 186–194 (in Russian).
- Kalesnik F., Sirolli H., Collantes M.* Seed bank composition in a secondary forest in the Lower Delta of the Paraná River (Argentina) // *Acta Botanica Brasílica, Feira de Santana*. 2013. V. 27. № 1. P. 40–49.
- Karakouzian M.* Geology of Lima // *Environmental & Engineering Geoscience*. 1997. P. 55–58.
- Klimanova O.A., Kolbovskij E.Ju., Kurbakovskaya A.V.* Ocenka geoekologicheskikh funkciy zelyonoy infrastruktury v gorodakh Kanady [Assessment of geoecological functions of green infrastructure in the towns of Canada] // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016. № 2. S. 191–200 (in Russian).
- Kolbovskij E.Ju.* Regional'nyj ekologicheskij karkas: problemy formirovaniya i razvitiya [Regional environmental network: formation and development issues] // *Problemy regional'noj ekologii*. 1999. № 4. S. 79–92 (in Russian).
- O'Hare G., Rivas S.* The landslide hazard and human vulnerability in La Paz city, Bolivia // *The Geographical J.* 2005. V. 171. P. 239–258.
- Rodgers D., Beall J., Kanbur R.* Latin American urban development into the 21st century. Towards a renewed perspective on the city // *Urbanization and development in Latin America*. 2005. UNU WIDER Volume. 20 p.
- Rodoman B.B.* Polyarizovannaya biosfera [Polarized biosphere]. Smolensk: Ojkumena, 2002. 336 s. (in Russian).
- Sedrez L.* Urban nature in Latin America: diverse cities and shared narratives // *New environmental histories of Latin America and the Caribbean – RCC Perspectives*. 2013. № 7. P. 59–65.
- Terry R.R.* Urban trees in Lima, Peru // *City Trees*. J. the Society of Municipal Arborists. 2015. May–June. P. 34–39.
- Veber T.T., Young K.R., Orme A.R.* The physical geography of South America. Oxford: Oxford University Press, 2007. 360 p.
- Wilson J.H.* The urban development of Spanish colonial Pensacola, 1781–1821. Tallahassee: Florida State University, 2007. 177 p.

Received 27.04.2017

Accepted 28.12.2017

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of World Physical Geography and Geoecology, student; e-mail: heatherpaw95@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of World Physical Geography and Geoecology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: oxkl@yandex.ru

УДК 551.5

В.В. Виноградова¹

ИЗМЕНЕНИЕ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОЙ ДИСКОМФОРТНОСТИ В XX–XXI веках НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Проведено исследование природных и климатических условий России с использованием районирования территории по природным условиям жизни населения – на основании степени воздействия природных факторов: холода, жары, влажности, высоты местности, стихийных явлений. Уточнена карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» для климатических условий второй половины XX и начала XXI веков, дана оценка изменения этих условий в середине XXI века (по результатам численных экспериментов на глобальной климатической модели Института вычислительной математики (ИВМ) РАН). Исследованы наиболее изменчивые климатические факторы (тепловой, холодовой, ветровой). В конце XX – начале XXI веков в России заметно сократились площади территорий с абсолютно неблагоприятными условиями, в основном за счет расширения площадей с очень неблагоприятными условиями. Основные изменения в конце XX века отмечались на Дальнем Востоке и на юге Сибири, в начале XXI века – на европейской территории России. Результаты расчетов на глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики (ИВМ) РАН показывают, что изменение климата в середине XXI века (2046–2055 гг.) может вызвать улучшение природных и климатических условий в России. Сценарий RCP4.5 показывает ситуацию, мало чем отличающуюся от текущего состояния (2001–2010 гг.), а сценарий RCP8.5 – сокращение территорий с неблагоприятными условиями на 2–4% по сравнению с современным состоянием. Наибольшие изменения ожидаются на Дальнем Востоке и на европейской части России.

Ключевые слова: дискомфорт, районирование России, природные условия жизни населения, климатические факторы, модельные прогнозы.

Введение. Многочисленные оценки изменения климата указывают на продолжающееся глобальное потепление: средняя скорость потепления для суши Северного полушария составляет $+0,328^{\circ}\text{C}/10$ лет за 1976–2012 гг. и $+0,105^{\circ}\text{C}/10$ лет за 1901–2012 гг. При этом начало XXI века оставалось самым теплым 12-летием за период инструментальных наблюдений [Второй оценочный доклад ..., 2014]. В последние годы на территории России скорость потепления составляла $+0,43^{\circ}\text{C}/10$ лет, но стали заметнее межсезонные различия. Во все сезоны, кроме зимнего, скорость потепления несколько увеличилась, а зимой, напротив, заметно уменьшилась. Областями наиболее интенсивного потепления являются европейская часть России (ЕЧР) – зимой, Сибирь – весной, северо-восток России – весной и осенью. Наблюдается область усиления похолодания зимних сезонов на крайнем северо-востоке России и сформировалась обширная область похолодания зим на юге Западной Сибири, которая постепенно распространяется на всю азиатскую территорию России [Второй оценочный доклад ..., 2014]. В Москве за период 1954–2013 гг. наблюдался значимый положительный линейный тренд температуры воздуха – $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а за период 1976–2012 гг. он увеличился до $0,07^{\circ}\text{C}/\text{год}$. В Центральном федеральном округе линейный тренд за тот же период составил $0,06^{\circ}\text{C}/\text{год}$, а в целом в России – $0,04^{\circ}\text{C}/\text{год}$ [Чубарова с соавт., 2014].

Модельные прогнозы для середины и конца XXI века подтверждают сохранение существующих тен-

денций. В частности, показано, что на европейской территории России и в Западной Сибири потепление климата сохранится. Особенно заметно оно будет в осенне-зимний период, причем зимой рост температуры будет максимальным, и он затронет весь север территории. Осенью потепление затронет север и северо-восток Западной Сибири [Эколого-географические последствия ..., 2011].

В связи с этим возрастает актуальность задачи адаптации районирования России по природным условиям жизни населения к условиям современного и ожидаемого потепления климата с учетом изменения его средних характеристик, а также увеличения экстремальности, особенно в Арктической зоне. Ожидаются как положительные, так и отрицательные последствия потепления для жизнедеятельности населения и инфраструктуры различных регионов России. При этом устойчивое развитие многих регионов России лимитируется неблагоприятными факторами природной среды. Такие регионы, согласно карте «Районирование территории Севера России по природно-климатическому фактору», занимают 68% территории страны [Виноградова, Золотокрылин, 2014; Золотокрылин с соавт., 2012а; 2012б]. Эти территории могут быть отнесены к местностям с особыми климатическими условиями, стратегию развития которых во многом определяет природно-климатическая дискомфортность.

Целью работы явились адаптация карты «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» к условиям

¹ Институт географии РАН, лаборатория климатологии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: vvvinog@yandex.ru

современного климата (2001–2010 гг.) и оценка изменений для модельного потепления климата в середине XXI века (2046–2055 гг.).

Материал и методы исследований. В России и за рубежом существуют разные подходы к районированию территории по природным условиям жизни населения, использующие физико-географические, экономико-географические, статистические и комплексные показатели и биоклиматические индексы. Достаточно подробно эти методики изложены в монографии А.Н. Золотокрылина [Золотокрылин с соавт., 2012а]. В настоящей работе была использована методика районирования территории России по степени влияния природных условий на жизнедеятельность населения для оценки возможных изменений этих условий при наблюдаемом в начале XXI века (2001–2010 гг.) и ожидаемом в середине XXI века (2046–2055 гг.) потеплении климата. Главная особенность методики состоит в том, что природно-климатические условия характеризуются количественной интегральной балльной оценкой [Виноградова, Золотокрылин с соавт., 2008; Золотокрылин, Кренке с соавт., 2012а; 2012б].

Для получения интегральной оценки природной дискомфортности в баллах в каждой точке градусной сетки определяется средний балл показателей зональных факторов с последующей их коррекцией при помощи азональных факторов.

Районирование территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям состоит из следующих этапов:

- 1 – определение факторов природной дискомфортности;
- 2 – разделение их на зональные и азональные;
- 3 – подбор независимых показателей для каждого фактора;
- 4 – построение карт для каждого показателя в абсолютных единицах;
- 5 – задание критерия изменения показателя (градации показателя) для перевода их в относительные единицы (баллы);
- 6 – вычисление интегрального показателя дискомфортности на основе осреднения баллов выбранных факторов в узлах заданной градусной сети;
- 7 – определение градаций интегральных показателей, соответствующих различным зонам дискомфортности;
- 8 – построение интегральной карты природной дискомфортности.

К зональным отнесены следующие факторы (показатели): астрономический (А) (продолжительность дня и ночи); радиационный (В) (ультрафиолетовая недостаточность–избыточность); холодовой (С)), (сумма отрицательных температур воздуха, продолжительность периода с температурой ниже -30°C (D), продолжительность отопительного периода (E)); мерзлотный (F) (мощность сезонно-талого слоя); тепловой (продолжительность безморозного периода (G), сумма температур за период с устойчивыми температурами выше $+10^{\circ}\text{C}$ (H)); увлажненность территории (I) (вегетационный ин-

декс NDVI); ветровой (J) (индекс влажного ветрового охлаждения Хилла $H_w = H_a + (0,085 + 0,102v^{0,3})(61,1 - e)^{0,75}$ [Gregorczyk, 1970]); изменчивость атмосферного давления (K) (среднеквадратическое отклонение суточных величин давления).

К азональным – горный (Aa) (абсолютная высота местности); заболоченность (Ba) (относительная заболоченность территорий); стихийные явления (сейсмичность (Ca), наводнения (Da), тайфуны (Ea), цунами (Fa)).

Перевод показателей из абсолютных единиц в баллы осуществлялся так, чтобы границы зон дискомфортности по возможности соответствовали границам природных зон, хотя они могут отличаться в разных меридиональных секторах. Подробно градации показателей, соответствующие различным баллам дискомфортности, представлены в литературе [Виноградова, Золотокрылин с соавт., 2008; с соавт., 2012а; 2012б].

Интегральная оценка природной дискомфортности (ИПД) в баллах состоит в вычислении в узлах градусной сетки $2,5 \times 2,5^{\circ}$ среднего балла показателей зональных факторов с последующей поправкой на суммы баллов показателей азональных факторов.

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

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

где N – число учитываемых факторов дискомфортности в данной точке, А, В, С, D, E, F и т. д. соответственно показатели факторов ультрафиолетовой недостаточности (избыточности), холода, мерзлотного, теплового, увлажненности, ветрового факторов.

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

$$\text{СБАП} = (Aa + Ba + Ca + Da + Ea + Fa),$$

где Aa; Ba; Ca; Da; Ea; Fa – соответственно, показатели азональных факторов: горного, заболоченности, сейсмичности, наводнений, тайфунов, цунами.

Оценка СБАП считается незначимой и далее не учитывается в интегральной оценке, если СБАП менее 8 баллов. В идеальном случае такая сумма возможна при равенстве показателей (2 балла), то есть азональные факторы относятся к благоприятным градациям. Если СБАП варьирует в диапазоне от 8 до 16 баллов, то к СБЗП прибавляется 0,5 балла. В этом случае некоторые из азональных факторов относятся к неблагоприятным градациям. Если какой-нибудь из показателей равняется 6 баллам или если СБАП превышает 16 баллов, то к СБЗП прибавляется один балл. В таком случае большинство азональных факторов относятся к неблагоприятным градациям и существенно ухудшают условия, которые оценивались с помощью зональных факторов.

На основании описанной выше методики для среднесноголетних условий (1961–1990 гг.) была построена карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» (рис. 1, А) [Виноградова, Золотокрылин с соавт., 2008; Золотокрылин с соавт., 2012а]. На ней выделено 7 зон с неблагоприятными или благоприятными условиями: I – абсолютно неблагоприятная; II – очень неблагоприятная; III – неблагоприятная; IV – условно неблагоприятная; V – условно благоприятная; VI – благоприятная; VII – наиболее благоприятная.

При адаптации карты «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» к современному климату использовались данные метеорологической сети [Архив ВНИИГМИ-МЦД]. В качестве исходных данных для оценки возможных изменений условий жизни населения в середине XXI века (2046–2055 гг.) использовались результаты расчетов, полученных на глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики РАН [Volodin, 2014; Volodin, Dianskii et al., 2010]. В модель включен интерактивный расчет углеродного цикла, цикла метана, химия атмосферы. Модель участвует в СМIP5.

Были использованы результаты расчетов по двум сценариям, согласно которым радиационный форсинг от увеличения концентрации парниковых газов к 2100 г. составит соответственно 8,5, 4,5 Вт/м². Глобальное потепление по модельным расчетам к концу XXI века составит 1,9° К для сценария RCP4.5 и 3,4° К для сценария RCP8.5. Это соответствует предположениям об отсутствии ограничения выбросов и умеренному ограничению выбросов [Volodin, 2014; Volodin, Dianskii et al., 2010]. Используются суточные значения температуры и влажности воздуха, скорости ветра за период 2046–2055 гг. с пространственным разрешением 2,0×1,5° по долготе и широте.

Проанализированы наиболее быстро меняющиеся климатические факторы и показатели, входящие в суммарный балл дискомфорта: тепловой, холодовой и ветровой и построены карты следующих зональных показателей с шагом 2,5×2,5°: сумма отрицательных температур воздуха, продолжительность периода с температурой воздуха ниже –30°С, продолжительность отопительного периода, продолжительность безморозного периода, сумма температур за период с устойчивыми температурами выше +10°С, индекс влажного ветрового охлаждения Хилла для начала и середины XXI века. Затем построена карта интегральной балльной оценки природной дискомфорта для середины XXI века (2046–2055 гг.), при этом тепловой, холодовой и ветровой факторы рассчитаны по модельным прогнозам, а такие зональные показатели, как продолжительность дня и ночи, ультрафиолетовая недостаточность–избыточность, мощность сезонно-талого слоя, вегетационный индекс и а зональные показатели: абсолютная высота местности, относительная

заболоченность территорий, сейсмичность, наводнения, тайфуны, цунами полагались неизменными.

Также было проведено сравнение баллов дискомфорта, рассчитанных по данным модели ИВМ для исторического климата с расчетами, полученными по данным метеостанций. Сравнение проводилось для периода 1991–2000 гг. Относительные ошибки вычисления балла дискомфорта по результатам моделирования определялись как отношение разности балла дискомфорта, рассчитанного по данным наблюдений и по модельным данным к баллу дискомфорта по данным наблюдений (%). При расчете по модели INMCM4 они составили (средняя/максимальная): на ЕЧР (30–60° в. д.) 6/60; в Западной Сибири (60–90° в. д.) 8/28; в Восточной Сибири (90–120° в. д.) 4/28; на Дальнем Востоке (120–180° в. д.) 5/50; по всей России (30–180° в. д.) 5/60%.

Средняя относительная ошибка расчета интегрального балла дискомфорта с использованием модельных данных составляет 4–8%. Максимальная ошибка составляет 60%, она отмечается всего в одном квадрате на юго-западе ЕЧР. При этом на большей части территории России интегральный балл дискомфорта, рассчитанный по модельным данным больше, чем полученный по данным метеорологической сети. Таким образом, по модельным данным условия жизни населения получаются немного хуже, чем по данным наблюдений. Максимальные ошибки отмечаются по югу территории. В целом модель дает хорошие результаты расчета интегрального балла дискомфорта и может быть использована для прогноза будущих изменений условий дискомфорта на территории России.

Результаты исследований и их обсуждение. На основании оценки изменения отдельных показателей при потеплении климата вычислена интегральная балльная оценка природной дискомфорта и построена карта «Районирование территории России по природным условиям жизни населения» для условий современного климата (2001–2010 гг.) и середины XXI века (2046–2055 гг.). Сравнение полученных карт с картой «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения», построенной для среднесноголетних условий, позволяет определить области наибольших изменений природно-климатических условий на территории России, произошедших в начале нынешнего века, и возможных дальнейших изменений в середине века за счет температурного и ветрового факторов.

Изменения природно-климатического дискомфорта в конце XX – начале XXI веков. На рис. 1 представлены карты «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» для среднесноголетних условий (1961–1990 гг.) и для начала XXI века (2001–2010 гг.). Сравнение карт показывает, что современное потепление климата привело к значительному ослаблению дискомфорта на территории России. Это особенно

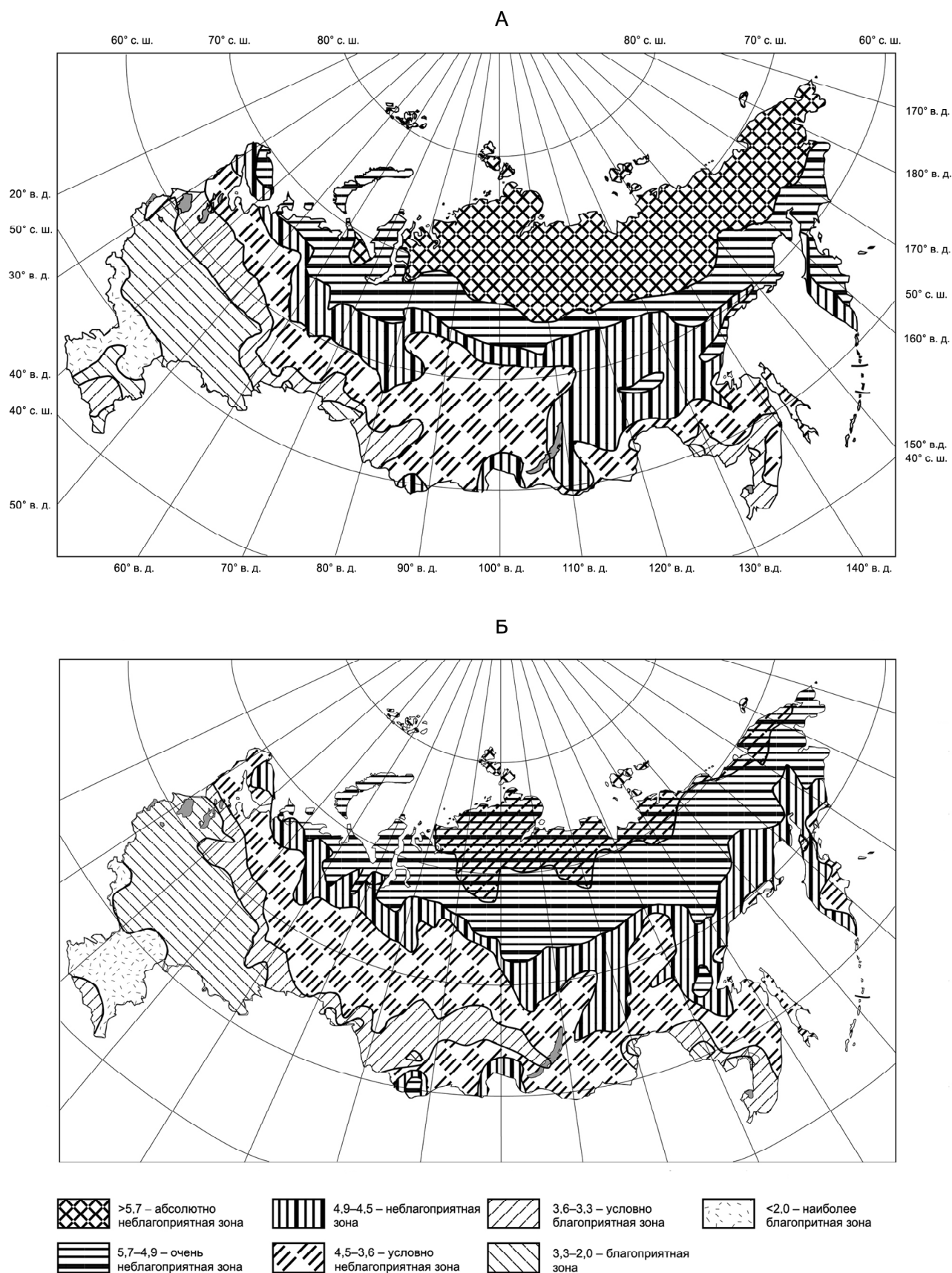


Рис. 1. Карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» (А) для средне-многолетних условий (1961–1990 гг.) и для начала XXI века (2001–2010 гг., Б)

Fig. 1. Zoning of the Russian Federation according to the natural living conditions of the population (А) for long-term average conditions (1961–1990), (Б) for the beginning of the 21st century (2001–2010)

заметно в Северных и Арктических регионах, где произошло заметное сокращение территорий с абсолютно неблагоприятными условиями, в основном за счет увеличения площадей территорий с очень неблагоприятными условиями (более мягкая градация дискомфорта). Южная граница неблагоприятных территорий смещается к северу, особенно в Западной и Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. За счет этого расширяется менее суровая условно неблагоприятная зона в Западной Сибири и на юге Восточной Сибири (рис. 1, Б). В европейской части России расширяется и продвигается в более северные районы благоприятная зона (приблизительно до 60° широты).

В конце XX века улучшение условий жизни происходило на Дальнем Востоке и на юге Сибири. В начале XXI века основное ослабление дискомфорта наблюдалось в центральной части европейской территории России. На юге ЕЧР условия практически не изменились.

В табл. 1 показаны площади (% от территории России) зон дискомфорта для среднесезонных условий, для конца XX и начала XXI веков. Площади вычислялись как отношение количества ячеек со значениями балла дискомфорта, соответствующего определенной градации, к общему количеству ячеек на территории России (%).

Наблюдается устойчивое сокращение абсолютно неблагоприятной зоны за счет расширения менее неблагоприятных зон. Например, расширение очень неблагоприятной зоны в 1991–2000 гг. до 23%, по сравнению с 21% в 1961–1990 гг. за счет сокращения абсолютно неблагоприятной зоны и ее последующее сокращение в 2001–2010 гг. до 21% за счет перехода части территорий в более мягкую, неблагоприятную градацию. Площадь абсолютно неблагоприятной зоны к началу нынешнего столетия сокращается на 8%, а площадь условно неблагоприятной зоны увеличивается на 8%. Площадь неблагоприятной зоны уменьшается на 5%, а благоприятная зона немного расширяется – на 3%, причем в основном в начале XXI века.

Анализ наиболее быстро меняющихся климатических факторов – теплового и холодного – позволяет оценить вклад этих факторов и входящих в него показателей в изменение суммарного балла дискомфорта при современном потеплении климата. Изменения площадей территорий с различными градациями дискомфорта суммы отрицательных температур воздуха, периода с температурой воздуха ниже -30°C , продолжительности отопительного периода, продолжительности безморозного периода, суммы температур за период с устойчивыми температурами выше $+10^{\circ}\text{C}$ показаны на рис. 2.

В начале XXI века наблюдается уменьшение суммы отрицательных температур по сравнению со среднесезонными условиями (рис. 2, А). Территории с абсолютно неблагоприятными условиями по этому показателю сокращаются особенно значительно – на 10%. При этом на 2–9% увеличиваются площади территорий с более мягкими градациями – неблагоприятными и условно неблагоприятными. Изменения особенно заметны на побережье Дальнего Востока, на юге Сибири и на европейском севере.

Наиболее существенно уменьшается число дней с температурой воздуха ниже -30°C . Площадь территорий с абсолютно неблагоприятными условиями по этому показателю в 1990-е годы сокращается на 7% по сравнению со среднесезонными условиями, а в 2000-е – уменьшается еще на 9%, то есть эти территории в России практически исчезают (рис. 2, Б). Очень неблагоприятная зона тоже сокращается с 11% в 1961–1990 гг. до 2% в 2001–2010 гг. при небольшом увеличении (на 3%) в 1990-е годы. Площади, занимаемые территориями с более благоприятными градациями (от неблагоприятной до условно благоприятной), за тот же период увеличиваются на 1–6%. Очень существенно – на 13% расширяется благоприятная зона, особенно на европейской территории и на юге Приморского края. Наибольшие изменения наблюдаются в Восточной Сибири и на европейской территории.

Таблица 1

Площадь зон дискомфорта (% от территории России) для среднесезонных условий (1961–1990 гг.), для конца XX (1991–2000 гг.) и начала XXI (2001–2010 гг.) веков

Зоны природной дискомфорта	Баллы	Период, годы		
		1961–1990	1991–2000	2001–2010
Абсолютно неблагоприятная	$>5,7$	23	18	15
Очень неблагоприятная	5,7–4,9	21	23	21
Неблагоприятная	4,9–4,5	19	13	14
Условно неблагоприятная	4,5–3,6	22	30	30
Условно благоприятная	3,6–3,3	6	5	6
Благоприятная	2,0–3,3	7	8	10
Наиболее благоприятная	$<2,0$	2	2	2

Меньше всего в начале XXI века изменилась продолжительность отопительного периода. Площади территорий с различным уровнем дискомфорта по этому показателю изменяются на 1–3% (рис. 2, В). Но на европейской территории и на юге Западной Сибири наблюдается сокращение отопительного периода.

На рис. 2, Г показано изменение суммы активных температур выше +10 °С в конце XX – начале XXI веков по сравнению со среднемноголетним периодом (1961–1990 гг.). Наблюдается рост суммы активных температур в северных регионах и значительное сокращение площади территорий, неблагоприятных по этому показателю. Так, площадь абсолютно неблагоприятных территорий сократилась на 19%, а площади условно неблагоприятных и условно благоприятных территорий увеличились на 11 и 6% соответственно. Изменения особенно заметны в Арктике, на Дальнем Востоке и на европейской территории.

Аналогичные изменения отмечаются для показателя продолжительности безморозного периода. Так, в 2000-е годы абсолютно неблагоприятные по этому показателю территории сокращаются особенно значительно – на 28% (рис. 2, Д). При этом неблагоприятные, условно неблагоприятные и условно благоприятные территории увеличиваются на 8, 12 и 5% соответственно. Основные изменения (сокращение абсолютно неблагоприятной зоны) происходят в Арктике, Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. На европейской территории и на юге Западной Сибири расширяются площади условно неблагоприятных и условно благоприятных территорий.

Таким образом, тепловой и холодовой факторы вносят значительный вклад в изменение суммарного балла дискомфорта при современном потеплении климата. Основные изменения связаны с уменьшением суммы отрицательных температур, в основном за счет уменьшения числа дней с очень низкими температурами, с ростом суммы активных температур и увеличением безморозного периода.

Изменения природно-климатического дискомфорта в середине XXI века. По данным глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики (Volodin, 2014; Volodin, Dianskii et al., 2010; 2013) была построена

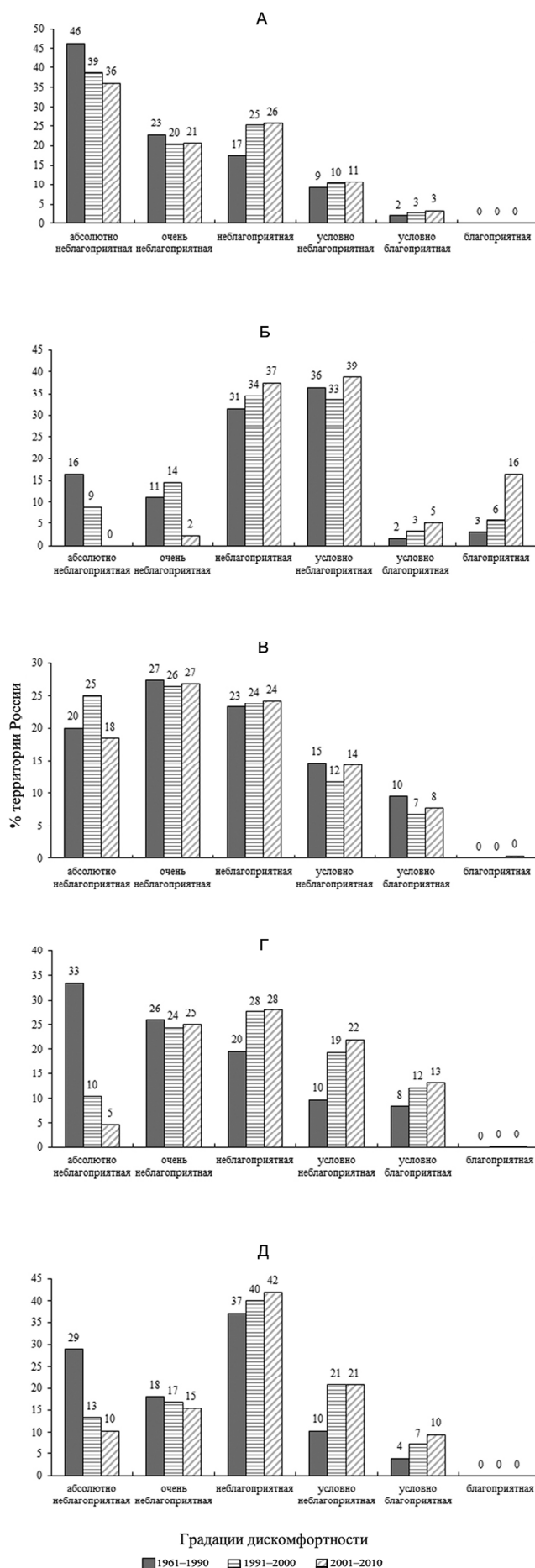


Рис. 2. Факторы: холодовой (показатели: сумма отрицательных температур (А), продолжительность периода с температурой воздуха ниже –30 °С (Б), продолжительность отопительного периода (В)) и тепловой (показатели: продолжительность безморозного периода (Г), сумма температур за период с устойчивыми температурами выше +10 °С (Д)) для среднемноголетних условий (1961–1990 гг.), для конца XX (1991–2000 гг.) и начала XXI веков (2001–2010 гг.)

Fig. 2. The cold factor (indicators: sum of below zero temperatures (А), duration of the period with temperatures below –30 °С (Б), duration of the heating period (В)) and the heat factor (indicators: duration of the frost-free period (Г), sum of temperatures above +10 °С (Д)) for the long-term average conditions (1961–1990), the end of the 20th century (1991–2000) and the beginning of the 21st century (2001–2010)

карта интегральной бальной оценки природной дискомфорта условий жизни населения в середине XXI века (рис. 3). Использовались результаты расчетов по двум сценариям (RCP4.5, RCP8.5).

Были проанализированы 3 наиболее быстро меняющиеся климатические факторы – тепловой, холодовой и ветровой для условий модельного климата в середине XXI века (2046–2055 гг.). Изменения трех показателей холодового фактора (суммы отрицательных температур воздуха, числа дней с температурой воздуха ниже -30°C и продолжительности отопительного периода) позволяет говорить об уменьшении экстремально низких температур и суммы отрицательных температур при модельном потеплении климата и небольшом уменьшении продолжительности отопительного периода. При этом сокращение числа дней с температурой воздуха ниже -30°C при современном потеплении (2001–2010 гг.) уже превышает значения, полученные по обоим сценариям, особенно на ЕЧР, в Центральной и Восточной Сибири. Сокращение продолжительности отопительного периода при модельном потеплении может говорить об увеличении повторяемости температур близких к нулю к середине XXI века.

Оба показателя теплового фактора (сумма температур за период с устойчивыми температурами

выше $+10^{\circ}\text{C}$ и продолжительность безморозного периода) возрастают в середине XXI века (2046–2055 гг.) для обоих сценариев, причем для сценария RCP8.5 – более существенно. Улучшение условий по тепловому фактору особенно заметно на юге Восточной Сибири и на европейской части России. Ветровой фактор (индекс влажного ветрового охлаждения Хилла) существенно возрастает по модельным прогнозам, что скорее всего говорит о завышении скорости ветра моделью.

Сравнение карт для современного потепления климата (2001–2010 гг.) и для модельных сценариев (2046–2055 гг.) показывает, что значения суммарного балла дискомфорта в начале XXI века мало отличается от значений, рассчитанных по модельным сценариям для середины XXI века (рис. 1, Б, 3). Но по сравнению со среднегодовыми условиями (1961–1990 гг.) ослабление дискомфорта по модельным прогнозам на территории России довольно значительно (рис. 1, А, 3).

В середине XXI века наблюдается сокращение территорий с абсолютно неблагоприятными условиями в Северных и Арктических регионах и расширение очень неблагоприятных (более слабая градация дискомфорта) территорий (рис. 3). На юге Западной Сибири и Восточной Сибири расширяет-

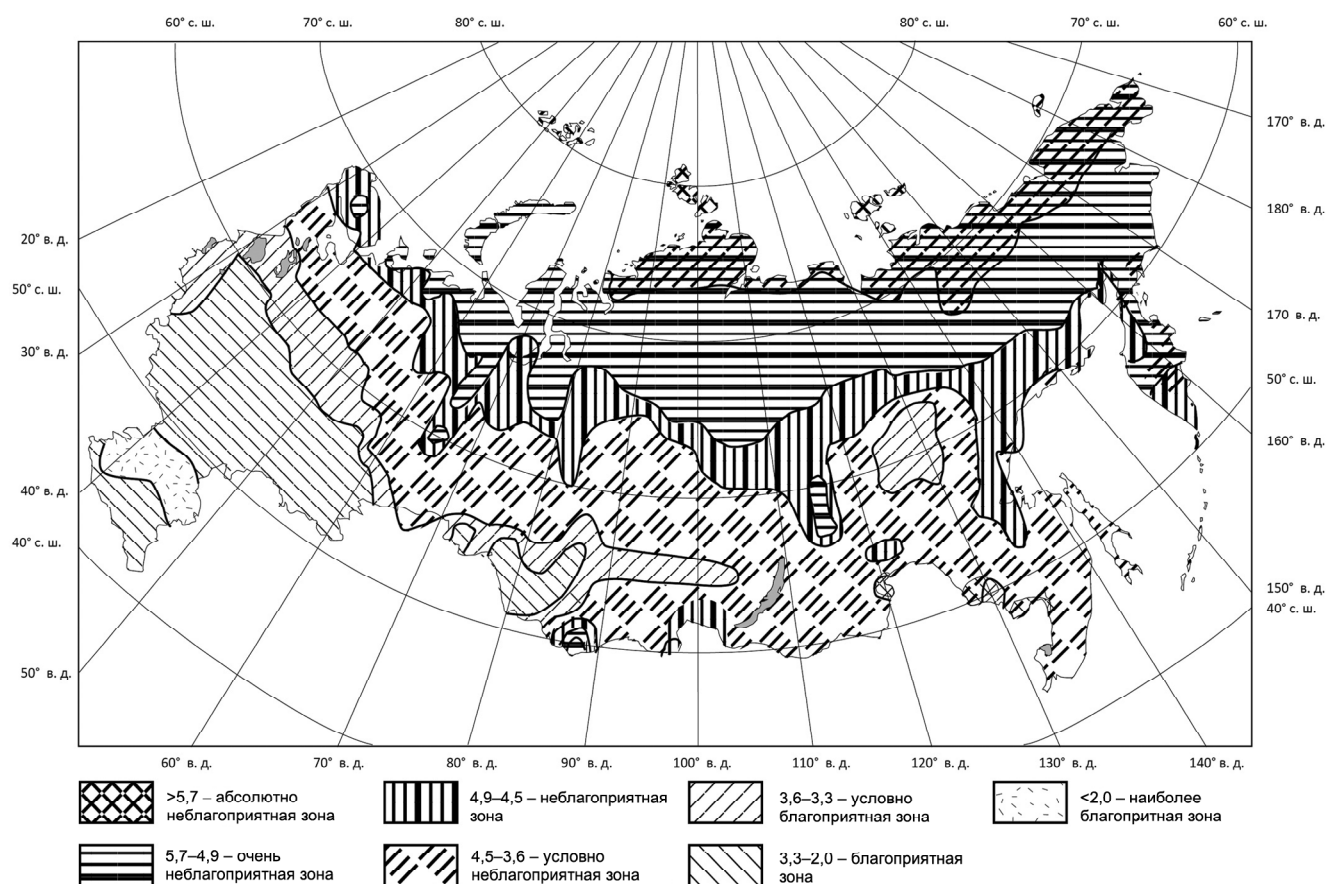


Рис. 3. Карта «Районирование территории Российской Федерации по природным условиям жизни населения» для сценария RCP8.5 глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики (2046–2055 гг.)

Fig. 3. Zoning of the Russian federation according to natural living conditions of the population for scenario RCP8.5 of the global climate model (INMCM4) elaborated at the Institute of Computational Mathematics (for 2046–2055)

ся условно неблагоприятная зона. А на европейской части России оба сценария показывают продвижение на север благоприятной зоны.

Основные отличия современных условий от модельного прогноза отмечаются на Дальнем Востоке, где по модельным расчетам условия оказываются немного хуже и на юге ЕЧР, где площадь наиболее благоприятной зоны оказывается меньше, чем в начале XXI века (рис. 1, Б, 3).

В табл. 2 представлено соотношение площадей зон дискомфорта в середине XXI века для двух модельных сценариев потепления климата и для современных условий (2001–2010 гг.), которое подтверждает приведенные выше особенности.

По обоим сценариям уменьшение площади неблагоприятных территорий составляет 5–7% по сравнению со среднесовременными условиями (1961–1990 гг.), но при этом модельные прогнозы мало отличаются от современных условий (2001–2010 гг.). Более жесткий по сравнению с современным климатом сценарий RCP8.5 показывает уменьшение площади абсолютно неблагоприятных территорий на 3% и увеличение площади очень неблагоприятных и условно неблагоприятных территорий на 2 и 4% соответственно, но эти изменения малы и сопоставимы с погрешностью расчетов. Суммарный балл дискомфорта, рассчитанный по результатам модели для сценария RCP4.5 мало отличается от современных условий. Основное отличие – расширение очень неблагоприятной зоны на 5%. Сокращение площади наиболее благоприятных территорий в 2046–2055 гг. по сравнению с 2001–2010 гг., по-видимому, связано с небольшим завышением суммарного балла дискомфорта по модельным данным.

Выводы:

– в конце XX – начале XXI веков в Северных и Арктических регионах России заметно сокращение территорий с абсолютно неблагоприятными условиями, в основном за счет расширения очень неблагоприятных территорий (более мягкая градация дискомфорта). Южная граница неблагоприятных территорий смещается к северу, что особенно заметно в начале XXI века. За счет этого расширяется условно неблагоприятная зона. Основные изменения в конце XX века отмечались на Дальнем Востоке и на юге Сибири, а в начале XXI века – на европейской территории России;

– изменение суммарного балла дискомфорта при современном потеплении климата в значительной степени обусловлено тепловым и холодным факторами. Изменения связаны с уменьшением суммы отрицательных температур и числа дней с очень низкими температурами, а также с ростом суммы активных температур и увеличением безморозного периода;

– оценка условий дискомфорта жизни населения в середине XXI века (2046–2055 гг.) проводилась с использованием результатов расчетов на глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики. Сценарий RCP4.5 показывает ситуацию, мало отличающуюся от современного состояния (2001–2010 гг.), а для сценария RCP8.5 возможно сокращение территорий с неблагоприятными условиями на 2–4% по сравнению с современным состоянием, что сопоставимо с погрешностью расчетов. Наибольшие изменения будут наблюдаться на Дальнем Востоке и на европейской части России.

Таблица 2

Площади зон дискомфорта (% от территории России) в начале XXI (2001–2010 гг.) и в середине XXI (2046–2055 гг.) веков для двух модельных сценариев (RCP4.5 и RCP8.5) глобальной климатической модели (INMCM4) Института вычислительной математики

Зоны природной дискомфорта	Баллы	Период, годы (модель)		
		2001–2010	2046–2055 (RCP4.5)	2046–2055 (RCP8.5)
Абсолютно неблагоприятная	>5,7	15	16	12
Очень неблагоприятная	5,7–4,9	21	26	23
Неблагоприятная	4,9–4,5	14	14	15
Условно неблагоприятная	4,5–3,6	30	32	34
Условно благоприятная	3,6–3,3	6	3	6
Благоприятная	2,0–3,3	10	10	10
Наиболее благоприятная	<2,0	2	1	1

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-17-10236).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Архив ВНИИГМИ-МЦД, <http://www.meteo.ru>.
- Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н. Современные и ожидаемые изменения климатического фактора в оценке природных условий жизни населения в Федеральных округах Российской Федерации // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 4. С. 16–21.
- Виноградова В.В., Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н. Районирование территории Российской Федерации по природно-климатическим условиям // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 5. С. 106–117.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1009 с.
- Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: Геос, 2012а. 156 с.
- Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Новое районирование территории севера Российской Федерации по природным условиям для жизни населения // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012б. № 1. С. 7–13.
- Чубарова Н.Е., Незваль Е.И., Беликов И.Б., Горбаренко Е.В., Еремина И.Д., Жданова Е.Ю., Корнева И.А., Константинов П.И., Локощенко М.А., Скороход А.И., Шиловцева О.А. Климатические и экологические характеристики московского мегаполиса за 60 лет по данным Метеорологической обсерватории МГУ // Метеорология и гидрология. 2014. № 9. С. 49–64.
- Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири / Под ред. Н.С. Касимова и А.В. Кислова. М.: МАКС Пресс, 2011. 496 с.
- Gregorczuk M. Analiza warunków bioklimatycznych w latach 1958–1963 w świetle ważniejszych wskaźników kompleksowych. Praga WTN. ser. B. Wrocław. 1970. 189 p.
- Volodin E.M. Possible reasons for low climate-model sensitivity to increased carbon dioxide concentrations // Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics. 2014. V. 50. № 4. P. 350–355.
- Volodin E.M., Dianskii N.A., Gusev A.V. Simulating present-day climate with the inmc4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations // Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics. 2010. V. 46. № 4. P. 414–431.

Поступила в редакцию 05.12.2016
Принята к публикации 28.12.2017

V.V. Vinogradova¹

CHANGES OF NATURAL-CLIMATIC DISCOMFORT WITHIN THE TERRITORY OF RUSSIA IN THE 20TH – THE BEGINNING OF THE 21ST CENTURY

Natural and climate conditions of Russia were analyzed using the zoning of the RF territory by natural living conditions which is based on the influence of principal natural factors, i.e. cold, heat, moisture, altitude, nature hazards. The map Regionalization of Russia in terms of the natural living conditions was updated for climatic conditions in the second part of the 20th century – the beginning of the 21st century. Possible changes of natural living conditions in the middle of the 21st century are estimated using the results of numerical experiments on the global climate model of the RAS Institute of Numerical Mathematics (INM). The most variable climatic factors, such as heat, cold and wind, were analyzed. In the end of the century – the beginning of the 21st century the areas with absolutely unfavorable conditions decreased, mainly due to the expansion of very unfavorable territories. At the end of the 20th century the most pronounced changes were recorded for the Far East and Southern Siberia, whereas at the beginning of the 21st century changes are the most typical for the European part of Russia. The results of calculations using the INMCM 4.0 climate model demonstrate probable improvement of living conditions in the middle of the 21st century (by 2046–2055). The RCP4.5 scenario shows the situation which is little different from the current state (2001–2010), whereas the RCP8.5 scenario predicts the reduction of areas with unfavorable conditions by 2–4%, as compared to the current situation. The greatest changes are expected in the Far East and the European part of Russia.

Key words: discomfort, zoning of Russia, natural living conditions, climatic factors, model forecast.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (RSF) (project № 16-17-10236).

REFERENCES

- Arkhiv VNIIGMI-MTSD [Archive RIHMI WDC], <http://www.meteo.ru>
- Chubarova N.E., Nezval' E.I., Belikov I.B., Gorbarenko E.V., Eremina I.D., Zhdanova E.Yu., Korneva I.A., Konstantinov P.I., Lokoshchenko M.A., Skorokhod A.I., Shilovtseva O.A., Klimaticheskie i ekologicheskie kharakteristiki moskovskogo megapolisa za 60 let po dannym Meteorologicheskoi observatorii
- MGU [Climatic and environmental characteristics of the Moscow metropolis for 60 years, according to the Meteorological Observatory of the Moscow State University] // Meteorologiya i Gidrologiya. 2014. № 9. P. 49–64 (in Russian).
- Ekologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepeniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropaiskoi ravnine i v Zapadnoi Sibiri [Ecological and geographical effects of global

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

warming of the twenty-first century within the East European Plain and Western Siberia] / Ed. by N.S. Kasimov and A.V. Kislov. Moscow: MAKS Press, 2011. 496 p.

Gregorczyk M. Analiza warunkow bioklimatycznych w latach 1958–1963 w swietle waznieszych wskaznikow kompleksowych. Praga WTN. Ser. B. Wroclaw. 1970. 189 p.

Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N. Sovremennye i ozhidaemye izmeneniya roli klimaticheskogo faktora v otsenke prirodnykh uslovii zhizni naseleniya v Rossijskoi Federatsii [Current and future role of climatic factor for the assessment of natural living conditions in Russia] // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*. 2014. № 4. P. 16–21 (in Russian).

Vinogradova V.V., Zolotokrylin A.N., Krenke A.N. Rajonirovanie territorii Rossijskoi Federatsii po prirodno-klimaticheskim usloviyam [Zoning of the territory of the Russian Federation according to natural and climatic conditions] // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*. 2008. № 5. P. 106–117 (in Russian).

Volodin E.M. Possible reasons for low climate-model sensitivity to increased carbon dioxide concentrations // *Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2014. V. 50. № 4. P. 350–355.

Volodin E.M., Dianskii N.A., Gusev A.V. Simulating present-day climate with the inmcm4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations // *Izvestiya RAS. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2010. V. 46. № 4. P. 414–431.

Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmenenijakh klimata i ih posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii [The second assessment report by Hydromet about the climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 1009 p. (in Russian).

Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. Novoe rajonirovanie territorii severa Rossijskoi Federatsii po prirodnym usloviyam dlya zhizni naseleniya [New zoning of the northern part of the Russian Federation according to the natural living conditions] // *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Ser. Geograficheskaya*. 2012b. № 1. P. 7–13 (in Russian).

Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V. Rajonirovanie Rossii po prirodnym usloviyam zhizni naseleniya [Zoning of Russia according to the natural living conditions]. Moscow: Geos, 2012a. 156 p. (in Russian).

Received 05.12.2016

Accepted 28.12.2017

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 631.412

Р.Г. Ковач¹, А.Н. Геннадиев², Ю.И. Пиковский³, А.Д. Белик⁴**ДИНАМИКА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ В ПОЧВАХ: НОВЫЙ ПОДХОД К ИЗУЧЕНИЮ И ИНДИКАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ**

Изучено профильное распределение и сезонная динамика концентрации углеводородных газов (метана, этилена, пропана, н-бутана, этана) в удерживаемом почвенном воздухе в пределах территории Истринского морфоструктурного узла и вне территории геодинамической активности. Показано, что по характеристикам углеводородно-газового профиля почвы внутри узла в условиях предположительно существующего подтока углеводородов из нижележащих геологических толщ отличаются от почв за пределами узла. Сделан вывод о возможности диагностирования эманационного и биогеохимического углеводородных состояний почв на основе характеристик динамики их газового профиля.

Ключевые слова: углеводородные газы в почвах, углеводородное состояние почв, геодинамическая активность, сезонная динамика почв.

Введение. Газообразные углеводороды являются неотъемлемой и наиболее динамичной частью углеводородного комплекса почв. Они постоянно присутствуют в почвенной толще, при этом их состав и концентрация быстро реагируют на практически любые изменения внешних факторов почвообразования и внутрипочвенной обстановки. В связи с этим безусловный интерес представляет анализ информационного потенциала динамики углеводородных газов в почвах, выявление тех ее особенностей, которые наиболее адекватно отражают смены состояний целостной системы «почвы–факторы почвообразования». Изучение углеводородных газов (УВГ) в почвах и грунтах ведется специалистами разных наук, поэтому существующая информация об их содержании и поведении разнородна и не систематизирована. Весь объем накопленных данных можно условно разделить на четыре группы работ, речь в которых идет: а) об эмиссии метана из почвы и его динамике как парникового газа; б) об УВГ как продуктах жизнедеятельности или источнике питания и энергии для микробиоты; в) об УВГ в связи с поисками признаков ореолов рассеяния над залежами углеводородов в земной коре; г) о выделении газов, в частности этилена, корневой системой высших растений.

В работах указанных направлений по ряду вопросов содержится весьма детальная и обширная информация, но они, тем не менее, не в полной мере характеризуют различные аспекты нахождения основных УВГ в почвах, в том числе их динамику. Так,

многочисленные работы по изучению парниковой роли метана в большинстве случаев рассматривают его выделение с поверхности почвы, оставляя не достаточно изученными особенности поведения этого газа внутри почв [Глаголев, 2012; Новиков, 2004; Орлов, 1998 и др.]. Микробиологи в силу специфичности своих задач и объектов ориентированы, в основном, на изучение собственно сообществ микробиоты, а не на почвенные процессы. Они чаще работают не с реальными почвами в поле, а с почвенными микроорганизмами в лабораторных условиях [Методы ..., 1991]. При разработке методов поисков газовых аномалий над залежами углеводородов мало внимания обращается на внутрипочвенные процессы, а акцент делается, главным образом, на эмиссии газообразных углеводородов из нижележащих слоев литосферы [Матвеев, 2003; Соколов, 1947]. В ботанических исследованиях, которые отличаются повышенным вниманием к этилену как к биогенному УВ газу, собственно педогенный этилен попадает в поле зрения специалистов довольно редко [Arshad, 2012]. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что подавляющее большинство существующих исследований касаются только УВ газов, свободно мигрирующих в почвенной толще. Удерживаемые почвой газы (сорбированные, заземленные) часто остаются вне поля внимания исследователей, хотя имеются сведения о том, что газообразные УВ, удерживаемые внутри почвенных агрегатов, значительно отличаются по составу от УВГ, находящихся в свободном состоянии в почвах [Степанов, Ма-

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

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

³ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, вед. науч. с., докт. геогр. н.; *e-mail*: lumlab@yandex.ru

⁴ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, техник, *e-mail*: lumlab@yandex.ru

нучарова, 2006]. В целом приходится констатировать, что существуют лишь единичные работы, в которых УВГ в почвенном воздухе изучаются в комплексном плане – с рассмотрением их профильного распределения и динамики, с учетом более широкого спектра факторов их поведения внутри почвы, а также с характеристикой не только свободного, но и внутрипорового или внутриагрегатного почвенного воздуха [Безбородов с соавт., 2008; Орлов с соавт., 1987; Смагин, 2006; Степанов, 2006; Arshad et al., 2012]. Вследствие этого на данный момент имеется явный дефицит информации о динамическом состоянии удерживаемого почвой комплекса УВГ в различных генетических типах почв, о приуроченности этих газов к почвенным горизонтам, их формах и происхождении в почвах.

В этой связи целью данной работы являлся анализ сезонной динамики содержания таких УВГ, как метан (CH_4), этилен (C_2H_4), этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), н-бутан (C_4H_{10}), удерживаемых в почвах, в условиях воздействия на них преимущественно природных факторов. При этом предполагалось учесть не только изменение условий в почвах в разные сезоны года, но и такой природный фактор, как геодинамическую активность, от которой зависит глубина и интенсивность циркуляции кислорода и вероятность подтока газообразных УВ из нижележащих слоев литосферы.

Материал и методы исследований. Сезонные наблюдения за динамикой углеводородных газов проводились на двух ключевых участках в Московской области: в районе г. Истра, на территории геодинамически подвижного Истринского морфоструктурного узла (участок «Истринский»), и в районе г. Звенигород, в пределах стабильного морфоструктурного блока (участок «Звенигородский»).

Истринский морфоструктурный узел на карте морфоструктурного районирования Восточно-Европейской равнины находится в зоне схождения границ четырех морфоструктурных блоков разного порядка. Границы таких блоков обычно диагностируются по геоморфологическим признакам и чаще всего совпадают с речными долинами. В данном случае это реки Истра, Малая Истра, Маглуша и Песочная. Кроме относительно контрастного рельефа, зоны морфоструктурных узлов характеризуются большей геодинамической активностью, проявляющейся в мелких подвижках земной коры [Гласко с соавт., 1988; Ранцман с соавт., 1995]. Участок «Истринский» расположен в долине р. Истра, в наиболее активной части Истринского морфоструктурного узла на морфоструктурном линейном элементе – границе блоков первого ранга. Согласно нашим исследованиям [Пиковский с соавт., 2017], в аллювиальных почвах этого участка отмечалась максимальная концентрация удерживаемых углеводородных газов.

На территории Истринского узла и его окружения развиты четвертичные отложения, перекрывающие терригенные породы среднеюрского возраста. Почвообразующими породами являются покров-

ные суглинки мощностью 2,5–5 м, развитые повсеместно от водораздельных поверхностей до высоких террас речных долин. Основной тип почв территории узла – дерново-среднеподзолистые (серо-гумусовые) среднесуглинистые, иногда слабо-глееватые и глеевые [Ранцман, 2004].

Участок «Звенигородский» приурочен к более спокойной геодинамической зоне внутри морфоструктурного блока в 24 км к югу от Истринского узла на территории Звенигородской биостанции МГУ. Территория участка характеризуется более пестрым составом почвообразующих пород, которые в автономных позициях представлены флювиогляциальными отложениями. На этих отложениях также развиты преимущественно дерново-подзолистые почвы, часто характеризующиеся признаками гидроморфизма в нижних горизонтах вследствие наличия водупорных экранов в виде суглинистых прослоев [Руководство ..., 2004].

Пробы для изучения динамики содержания УВГ отбирались из почв автономных водораздельных позиций по фенологическим сезонам года: март 2016 г. (перелом зимы); май–июнь 2016 г. (предлетье); октябрь 2016 г. («золотая» осень); февраль 2017 г. (коренная зима); май 2017 г. (оживление весны); июль 2017 г. (полное лето). Опробование производилось по трем точкам вертикального почвенного профиля (в гумусовом и переходном горизонтах, а также в почвообразующей породе); при этом соблюдалось условие трех повторностей – пробы брались с трех стенок почвенного разреза (основной и двух боковых).

После отбора проб разрез закрывался с максимально возможным сохранением последовательности почвенных горизонтов и с послойной умеренной утрамбовкой вынутого почвенного материала. В последующие сезоны разрез снова открывался, но лицевая стенка при этом каждый раз смещалась как минимум на 20–30 см, чтобы обеспечить отбор проб всех трех повторностей из ранее ненарушенного монолита. Пробы на анализ удерживаемых газов отбирались в стеклянные контейнеры, которые сразу герметизировались. Отобранные образцы почв дегазировались в стационарных условиях, при этом до этой процедуры они хранились охлажденными до порядка +5 °С. Дегазация отобранных образцов проводилась на термовакuumном дегазаторе типа ГБЭ [Левит, 1974]. Извлеченный газ собирался в специальные склянки (типа СВТ) и хранился над затвором из насыщенного раствора NaCl при температуре порядка +5 °С. Анализ химического состава проб проводился на газовом хроматографе «Кристалл 5000.1».

Результаты исследований и их обсуждение. Средние из трехкратной повторности концентрации удерживаемых углеводородных газов в автономных почвах на исследованных участках по сезонам 2016–2017 гг. приведены в табл. 1 и 2.

Как видно, профильное распределение метана на участке «Звенигородский» практически во все сроки отбора довольно однородное, и метан присутствует по всему профилю. Уровни его содержания

Таблица 1

Содержание исследованных углеводородных газов
в почве участка «Звенигородский», ppmv

Горизонт	2016 г.			2017 г.		
	март	июнь	октябрь	февраль	апрель	июль
Метан						
A	23	18 483	27	4	7	4
B	39	466	18	5	4	3
C	42	32 840	16	4	5	5
Этилен						
A	1,3	2,5	24	1,5	18,7	7,3
B	0,6	1,3	0,2	0,2	0,8	0,5
C	0,1	1,4	0	–	0,1	0,1
Этан						
A	0,2	0,4	0,5	–	0,4	0,1
B	–	–	0	–	0	–
C	–	–	–	–	–	–
Пропан						
A	0,4	0,6	1,6	0,3	1,4	1,1
B	–	–	–	–	0,1	0,2
C	–	–	–	–	0,1	0,2
н-Бутан						
A	0,59	0,65	1,19	–	0,9	0,3
B	0,28	0,14	0	–	0,1	–
C	0,03	0,07	0,11	–	–	–

Примечание. Здесь и в табл. 2 прочерк означает, что газ не обнаружен.

составляют от 3 до 42 ppmv. При этом в 2016 г. наблюдается превышение концентрации метана в почве по сравнению с 2017 г. как минимум на один порядок. Исключением из общей картины является аномальный максимум концентрации метана, зафиксированный в июне 2016 г. (на 3 порядка больше, чем весной и осенью). В горизонте С она достигает 32 000 ppmv, в гумусовом горизонте – примерно в 2 раза меньше, а в средней части профиля падает до порядка 500 ppmv.

Максимальное содержание этилена на участке «Звенигородский» во все сезоны отчетливо приурочено к гумусовому горизонту. Наиболее высокие его концентрации наблюдались в октябре 2016 и апреле 2017 гг. (соответственно 24 и 19 ppmv). В нижних горизонтах концентрация этилена резко уменьшается, а в горизонте С осенью и зимой он не обнаруживается.

Этан и пропан в почвах участка «Звенигородский» встречаются в следовых количествах, всегда с максимумом в верхнем гумусовом горизонте, при этом наиболее высокие концентрации этих газов приурочены к осени 2016 г. и весне 2017 г.

Таблица 2

Содержание исследованных углеводородных газов
в почве участка «Истринский», ppmv

Горизонт	2016			2017	
	март	июнь	октябрь	февраль	апрель
Метан					
A	31	17	7	4	4
E	28,5	34	16	4	5
B	35	16	17	4	5
C	36	5	9	4	4
Этилен					
A	0,3	6,1	2,4	7,0	1,1
E	0,7	0,7	0,2	0,3	0,2
B	0,2	0,2	–	0,1	0,1
C	0,1	0,3	–	0,1	0,1
Этан					
A	–	0,2	–	0,1	–
E	–	–	–	1,4	–
B	–	–	–	1,9	–
C	–	–	–	1,3	–
Пропан					
A	–	0,3	0,1	0,4	0,1
E	–	–	–	6,0	–
B	–	–	–	8,8	–
C	–	–	–	6,3	–
н-Бутан					
A	–	0,3	–	0,2	–
E	0,1	0,1	–	1,2	–
B	–	0,1	–	1,5	–
C	0,2	–	–	1,2	–

Н-бутан ведет себя несколько иначе. В 2016 г. он обнаружен во все сроки отбора по всему профилю с явным максимумом в верхней части почвы. В 2017 г. н-бутан встречается только в верхних горизонтах в теплое время года.

Отсутствие четкой приуроченности максимумов содержания метана к какой-либо части почвенного профиля в большинстве сроков отбора, по-видимому, свидетельствует о его полигенетичности. Кроме педогенного метана в почвах может присутствовать метан иной природы, поступающий из подпочвенных горизонтов, но не связанный с глубинными процессами в зоне повышенной геодинамической активности.

Дать точную интерпретацию генезиса экстремального подъема концентрации метана летом 2016 г. пока проблематично. Можно отметить, что этот июньский максимум совпадает с периодом

повышенной активности почвенных метанопроductентов [Глаголев с соавт., 2012; Новиков с соавт., 2004; Bergman et al., 2000; Sorrell, Boon, 1992], а также обратить внимание на то, что в данном профиле нижний почвенный горизонт имеет признаки оглеения. Летом 2016 г. по визуальным наблюдениям насыщенность почвы влагой была значительно больше, чем в аналогичный период 2017 г. В совокупности с летними температурами это могло обусловить повышенное количество анаэробных микроорганизмов, в том числе метанотрофов [Moore, Dalva, 1997]. Ошибка при измерениях едва ли могла иметь место, поскольку аномальные концентрации газа были обнаружены в каждой из трех повторностей в каждом из трех горизонтов.

Основную часть этилена в почве участка «Звенигородский» можно связать с тем, что этот газ является гормоном широкого профиля у высших растений [Кулаева, 1998; Нелюбов, 1901; Arshad et al., 2012; Bakshi et al., 2015]. Максимумы содержания этилена весной и осенью можно объяснить тем, что активность бактерий, продуцирующих этилен, возрастает при повышенной влажности и при комфортной для них температуре [Arshad et al., 2012; Tang, Miller, 1993].

В те же периоды в гумусовом горизонте почв наблюдаются самые высокие значения содержания этана, пропана и бутана, что согласуется с имеющимся в литературе предположением о микробиотической природе этих газов [Орлов, 1987]. Эти максимумы коррелируют с высокими концентрациями этилена в эти сезоны.

На участке «Истринский» распределение метана по профилю в большую часть исследованных периодов года в целом довольно равномерное, хотя и с появлением локальных максимумов в средней части профиля в отдельные сроки отбора. Весной 2016 г. содержание метана в почвах в 4–6 раз больше, чем весной 2017 г. В летне-осенний период наблюдается общее уменьшение количества метана по сравнению с весной. Экстремальный максимум содержания метана, обнаруженный летом 2016 г. на участке «Звенигородский», на участке «Истринский» отсутствует. Без учета этой аномалии общий уровень содержания метана на обоих участках в каждый конкретный срок отбора довольно сходный, что позволяет предположить наличие наиболее общего фактора, оказывающего основное влияние на его распределение. Этим фактором является гидротермический режим почв.

Максимальное содержание этилена в почвах зоны геодинамической активности (участок «Истринский»), как и в почвах вне ее (участок «Звенигородский»), не приурочено к конкретному сезону. Однако существенным отличием почв участка «Истринский» является то, что уровень концентрации этилена в зимний период максимален, чего не наблюдается на участке «Звенигородский». Также можно отметить в целом меньший уровень содержания этилена в почвах зоны геодинамической активности по сравнению с почвами за ее пределами.

Распределение этилена в целом в почве на участке «Истринский», как и в почве участка «Звенигородский», носит выраженный поверхностно-аккумулятивный характер. Максимальное содержание этилена в гумусовом горизонте было отмечено в июне 2016 г. и в феврале 2017 г.

Этан и пропан в почве зоны геодинамической активности в большинстве случаев или отсутствуют, или встречаются в чрезвычайно малых количествах только летом в гумусированной части профиля. Исключением является февраль 2017 г., когда эти газы были обнаружены по всему почвенному профилю, достигали своих максимальных значений за весь период наблюдений, и их содержание увеличивалось в нижних горизонтах.

Как и все остальные тяжелые газы, н-бутан в почве на участке «Истринский» характеризуется более низким уровнем содержания, чем на участке «Звенигородский». При этом в холодное время года на участке «Истринский» н-бутан газ имеет явный глубинно-аккумулятивный профиль распределения, не наблюдаемый в почве участка «Звенигородский».

Как видно из полученных данных, уровень содержания УВГ на участке «Истринский» несколько ниже, чем на участке «Звенигородский» в каждый конкретный срок отбора. Однако при этом наблюдается явный максимум содержания в почве зоны геодинамической активности всех УВГ (кроме метана) в самый холодный из изученных периодов. По нашему мнению, этот факт не может быть объяснен исключительно микробиологическими причинами. Такая картина может быть дополнительным подтверждением относительной геодинамической активности участка «Истринский» и наличия в ее пределах углеводородных газовых эманаций. Высокое содержание газов в период минимальной активности микробиоты и ясно выраженный глубинно-аккумулятивный характер распределения большинства из них может являться следствием привноса этих газов из нижележащих толщ литосферы. Уменьшение содержания УВГ (кроме метана) в более теплое время может быть следствием как увеличения активности редуцирующей биоты, так и усилением газообмена между атмосферой и более сухой почвенной толщей.

Изученные УВГ по профилю и сезонному распределению делятся на несколько групп, что связано, предположительно, с различиями в преобладающих факторах присутствия данных газов в почве. Метан в почвах зоны геодинамической активности и вне ее предположительно имеет двойственную эманационно-биогеохимическую природу. Экстремальные пики, приуроченные к теплым периодам, свидетельствуют о его биогенности. В то же время его постоянное наличие в нижних горизонтах (в количестве, сопоставимом или превышающим таковое в верхних горизонтах) может говорить о привносе метана из глубин литосферы. Этилен намного больше тяготеет к теплым периодам и верхнему (корнеобитаемому слою) почвы, что указывает на его преимущественно автохтонную био-

геохимическую природу. Профиль распределения в почве н-бутана на различных участках имеет разный характер. На участке «Истринский» поведение н-бутана, вероятно, преимущественно аллохтонно-эманационное. На участке «Звенигородский» он ведет себя как автохтонный педогенный газ. Аналогичное распределение по сезонам и глубинам имеют этан и пропан.

Выводы:

– удерживаемые углеводородные газы не находятся в почве в постоянной концентрации, а имеют явную сезонную динамику. Природа этой динамики многофакторна и полигенетична. На участке «Звенигородский» приуроченность наиболее высоких концентраций удерживаемых газов к весенне-летним сезонам позволяет связывать газообразование в почве этой территории с высокой микробиологической активностью. С этим согласуется и часто наблюдающиеся максимальные концентрации газов в гумусовом горизонте;

– на участке «Истринский» зафиксирован отчетливый максимум содержания тяжелых УВ газов зимой 2017 г., когда активная микробиологическая деятельность заторможена, что говорит об аллохтонном происхождении этих газов. Относительное уменьшение их содержания в зонах высокой геодинамической активности в теплые периоды может

быть обусловлено усилением роли углеводородокисляющих микроорганизмов в связи с более интенсивной циркуляцией кислорода [Оборин с соавт., 2004];

– в изученных почвах встречаются не только метан, но и тяжелые газы-алканы. В настоящее время распространено мнение, что тяжелые УВГ встречаются лишь в почвах зон нефте- или газоносности;

– удерживаемые углеводородные газы имеют определенный индикационный потенциал как при изучении различных внутрисочвенных процессов, так и при исследовании влияния на почвы внешних факторов – в данном случае, пульсационной дегазации Земли. Исследованные газы обнаруживают как динамику состава и концентрации во времени, так и изменения своих параметров по всему почвенному профилю. Поэтому характеристика полного газового профиля почвы может обеспечить получение дополнительных данных о ее функционировании в целом;

– изучение УВГ профиля различных почв – перспективное направление географии почв, требующее дополнительного исследования и методических разработок. Необходимо напомнить, что представленный материал касался только почв автономных ландшафтно-геохимических позиций. Катенарный анализ почв поможет в дальнейшем дать более глубокую оценку поведения в почве удерживаемых газов.

Благодарности. Настоящая работа выполнена за счет средств РНФ, проект № 14-17-00193.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бажин Н.М. Метан в окружающей среде. Аналитический обзор. Учреждение Рос. акад. наук Гос. публич. науч.-техн. б-ка Сиб. отд-ния РАН. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. 2010. Сер. Экология. Вып. 93. 56 с.
- Безбородов Г.А., Безбородов А.Г., Безбородов Ю.Г. Профильное распределение углекислого газа и метана в воздухе орошаемых сероземов // Почвоведение. 2008. № 1. С. 68–74.
- Глаголев М.В., Сабреков А.Ф., Клепцова И.Е., Филипов И.В., Лапишина Е.Д., Мачида Т., Максютков Ш.Ш. Эмиссия метана из болот подтайги Западной Сибири (к развитию «стандартной модели») // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1077–1088.
- Гласко М.П., Ранцман Е.Я. О современной блоковой структуре равнинно-платформенных территорий (на примере Истринского морфоструктурного узла) // Доклады АН СССР. 1988. Т. 300. № 6. С. 1345–1348.
- Карцев А.А., Шугрин В.П. Геохимические методы исследований при поисках нефти и газа. М.: Недра, 1964. 203 с.
- Кулаева О.Н. Этилен в жизни растений // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 11. С. 78–84.
- Левит А.М. Анализ газа и дегазация при разведке нефтяных, газовых и угольных месторождений. М.: Недра, 1974. 224 с.
- Матвеев А.А. Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых (краткий курс лекций). М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. 110 с.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учеб. пособие / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 304 с.
- Нелюбов Д.Н. О действии светильного газа на растения // Почвоведение. 1901. № 2. С. 175–178.
- Новиков В.В., Степанов А.Л., Поздняков А.И., Лебедева Е.В. Сезонная динамика эмиссии CO₂, CH₄, N₂O и NO из торфяных почв поймы р. Яхромы // Почвоведение. 2004. № 7. С. 867–874.
- Оборин А.А., Рубинштейн Л.М., Хмурчик В.Т., Чурилова Н.С. Концепция организованности подземной биосферы. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 148 с.
- Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Устойчивость органических соединений почвы и эмиссия парниковых газов в атмосферу // Почвоведение. 1998. № 7. С. 782–793.
- Орлов Д.С., Минько О.И., Каспаров С.В., Амосова Я.М. Образование рассеянного углеводородного газа в почвах // Почвоведение. 1987. № 6. С. 89–94.
- Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Ковач Р.Г., Хлынина Н.И., Хлынина А.В. Углеводородное состояние аллювиальных почв на территории Истринского морфоструктурного узла (Московская область) // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1421–1434.
- Ранцман Е.Я., Гласко М.П. Морфоструктурные узлы – места экстремальных природных явлений. М.: Медиа-ПРЕСС, 2004. 224 с.
- Ранцман Е.Я., Гласко М.П., Михайлов С.И., Пиотровская Е.П. Локальные проявления блоковой структуры земной коры // Изв. РАН. Сер. географическая. 1995. № 5. С. 67–74.
- Ривкина Е.М., Краев Г.Н., Кривушин К.В., Лауринавичюс К.С., Федоров-Давыдов Д.Г., Холодов А.Л., Щербакова В.А., Гиличинский Д.А. Метан в вечномёрзлых отложениях северо-восточного сектора Арктики // Криосфера Земли. 2006. Т. 10. № 3. С. 23–41.
- Руководство по летней учебной практике студентов-биологов на Звенигородской биостанции им. С.Н. Скадовского. Уч. метод. пособие. Изд-во Моск. ун-та, 2004. 352 с.

Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 302 с.

Соколов В.А. Прямые геохимические методы поисков нефти. М.: Гостоптехиздат, 1947. 306 с.

Степанов А.Л., Манучарова Н.А. Образование и поглощение парниковых газов в почвенных агрегатах: Уч. пособие / Под ред. В.М. Гаврилова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 82 с.

Arshad M., Frankenberger Jr.W.T. Ethylene: agricultural sources and applications // Springer Science & Business Media, 2012.

Bakshi A., Shemansky J.M., Chang C., Binder B.M. History of Research on the Plant Hormone Ethylene // Plant Growth Regulation. 2015. № 34. P. 809–827.

Bergman I., Klarqvist M., Nilsson M. Seasonal variation in rates of methane production from peat of various botanical origins: effects of temperature and substrate quality // FEMS Microbiology Ecology. 2000. T. 33. № 3. P. 181–189.

Moore T.R., Dalva M. Methane and carbon dioxide exchange potentials of peat soils in aerobic and anaerobic laboratory incubations // Soil Biology and Biochemistry. 1997. T. 29. № 8. P. 1157–1164.

Sorrell B.K., Boon P.I. Biogeochemistry of billabong sediments. II. Seasonal variations in methane production // Freshwater Biology. 1992. T. 27. № 3. P. 435–445.

Tang T., Miller D.M. Ethylene production in anaerobically incubated soils amended with poultry litter // Soil Science. 1993. T. 156. № 3. P. 186–192.

Поступила в редакцию 29.11.2017

Принята к публикации 28.12.2017

R.G. Kovach¹, A.N. Gennadiev², Yu.I. Pikovskij³, A.D. Belik⁴

DYNAMICS OF HYDROCARBON GASES IN SOILS: NEW APPROACH TO THE STUDIES AND THE INDICATION POTENTIAL

Profile distribution and seasonal dynamics of hydrocarbon gases (methane, ethylene, propane, n-butane and ethane) in soil air within the Istra morphostructure node and beyond the geodynamically active territory were analyzed. It was revealed that under probable inflow of hydrocarbons from the underlying geological strata the properties of hydrocarbon gaseous profile of the soils within the node are different from those of the background area. It is concluded that emanation and biogeochemical hydrocarbon status of soils could be indicated basing on their gaseous profiles.

Key words: hydrocarbon gases in soils, hydrocarbon status of soils, geodynamic activity, seasonal dynamics of soils.

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00193).

REFERENCES

Arshad M., Frankenberger Jr.W.T. Ethylene: agricultural sources and applications // Springer Science & Business Media, 2012.

Bakshi A., Shemansky J.M., Chang C., Binder B.M. History of Research on the Plant Hormone Ethylene // Plant Growth Regulation. 2015. № 34. P. 809–827.

Bazhin N.M. Metan v okruzhayushhej srede [Methane in the environment]. Analiticheskij obzor. Uchrezhdenie Ros. akad. nauk Gos. publich. nauch.-tehn. b-ka Sib. otd-niya RAN. Novosibirsk: GPNTB SO RAN, 2010. Ser. Ekologiya. № 93. 56 p. (in Russian).

Bergman I., Klarqvist M., Nilsson M. Seasonal variation in rates of methane production from peat of various botanical origins: effects of temperature and substrate quality // FEMS Microbiology Ecology. 2000. T. 33. № 3. P. 181–189.

Bezborodov G.A., Bezborodov A.G., Bezborodov Yu.G. Distribution of Carbon Dioxide and Methane in the of Irrigated Sierozems // Eurasian Soil Science. 2008. V. 41. № 1. P. 63–69.

Glagolev M.V., Sabrekov A.F., Kleptsova I.E., Filippov I.V., Lapshina E.D., Machida T., Maksyutov Sh.Sh. Methane Emission from Bogs in the Subtaiga of Western Siberia: The Development of

Standard Model // Eurasian soil science. 2012. V. 45. № 10. P. 947–958.

Glasko M.P., Rancman E.Ja. O sovremennoj blokovej strukture ravninno-platformnykh territorij (na primere Istrinskogo morfostrukturnogo uzla) [About modern block structure of flat platform territories (case study of the Istra morphostructural node) Doklady AN SSSR. 1988. V. 300. № 6. P. 1345–1348 (in Russian).

Karcev A.A., Shugrin V.P. Geohimicheskie metody issledovanij pri poiskah nefi i gaza [Geochemical methods of investigation in oil and gas exploration]. M.: Nedra, 1964. 203 p. (in Russian).

Kulaeva O.N. Etilen v zhizni rastenij [Ethylene in plants' life]. Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal. 1998. № 11. P. 78–84 (in Russian).

Levit A.M. Analiz gaza i degazaciya pri razvedke neftyanyh, gazovyh i ugol'nyh mestorozhdenij [Analysis of gas and degassing during the exploring of oil, gas and coal deposits]. M.: Nedra, 1974. 224 p. (in Russian).

Matveev A.A. Geohimicheskie poiski mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh (kratkij kurs lekcij) [Geochemical exploration

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Scientific Researcher; e-mail: rkovach@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: alexagenna@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: lumlab@yandex.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, technician; e-mail: lumlab@yandex.ru

of mineral deposits (short course)]. M.: Izd-vo MGU, 2003. 110 p. (in Russian).

Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii: ucheb. posobie [Methods of soil microbiology and biochemistry: textbook] / Pod red. D.G. Zvyaginceva. M.: Izd-vo MGU, 1991. 304 s.

Moore T.R., Dalva M. Methane and carbon dioxide exchange potentials of peat soils in aerobic and anaerobic laboratory incubations // Soil Biology and Biochemistry. 1997. T. 29. № 8. P. 1157–1164.

Nelyubov D.N. O dejstvii svetil'nogo gaza na rasteniya [About the lighting gas effect on plants] Pochvovedenie. 1901. № 2. P. 175–178 (in Russian).

Novikov V.V., Stepanov A.L., Pozdnyakov A.I., Lebedeva E.V. Seasonal Dynamics of CO₂, CH₄, N₂O, and NO Emissions from Peat Soils of the Yakhroma River Floodplain // Eurasian soil science. 2004. V. 37. № 7. P. 755–761.

Oborin A.A., Rubinshtejn L.M., Hmurchik V.T., Churilova N.S. Konceptiya organizovannosti podzemnoj biosfery [The concept of organization of the underground biosphere]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2004. 148 p.

Orlov D.S., Min'ko O.I., Kasparov S.V., Amosova Ja.M. Obrazovanie rasseyannogo uglevodorodnogo gaza v pochvah [Generation of scattered hydrocarbon gas in soils] // Pochvovedenie. 1987. № 6. S. 89–94 (in Russian).

Orlov D.S., Biryukova O.N. The Stability of Soil Organic Compounds and the Emission of Greenhouse Gases into the Atmosphere // Eurasian soil science. 2017. V. 31. № 7. P. 711–720.

Pikovskiy Yu.I., Gennadiev A.N., Kovach R.G., Khlyinina N.I., Klyinina A.V. Hydrocarbon Status of Alluvial Soils in the Istra Morphostructural Node (Moscow Oblast) // Eurasian soil science. 2017. V. 50. № 12. P. 1363–1374.

Rancman E.Ja., Glasko M.P., Mihajlov S.I., Piotrovskaya E.P. Lokal'nye proyavleniya blokovoj struktury zemnoj kory [Local

demonstration of block structure of the Earth's crust] // Izvestiya RAN. Ser. geograficheskaya. 1995. № 5. P. 67–74 (in Russian).

Rancman E.Ja., Glasko M.P. Morfostrukturnye uzly – mesta ekstremal'nyh prirodnyh yavlenij [Morphostructural nodes as areas of extreme natural phenomena]. M.: Media-PRESS, 2004. 224 p. (in Russian).

Rivkina E.M., Kraev G.N., Krivushin K.V., Laurinavichyus K.S., Fedorov-Davydov D.G., Holodov A.L., Shherbakova V.A., Gilichinskij D.A. Metan v vechnomerzlykh otlozheniyah severo-vostochnogo sektora Arktiki [Methane in permafrost sediments of north-eastern sector of the Arctic] // Kriosfera Zemli. 2006. V. 10. № 3. P. 23–41 (in Russian).

Rukovodstvo po letnej uchebnoj praktike studentov-biologov na Zvenigorodskoj biostancii im. S.N. Skadovskogo [Manual for summer educational training for biology students at the Zvenigorod biostation named after S.N. Skadovsky]. Uch-metod. posobie. Izd-vo MGU, 2004. 352 p. (in Russian).

Smagin A.V. Gazovaya faza pochv [Gaseous phase of soils]. M.: Izd-vo MGU, 2006. 302 p. (in Russian).

Sokolov V.A. Pryamye geohimicheskie metody poiskov nefi [Direct geochemical methods of oil exploration]. M.: Gostoptehizdat, 1947. 306 p. (in Russian).

Sorrell B.K., Boon P.I. Biogeochemistry of billabong sediments. II. Seasonal variations in methane production // Freshwater Biology. 1992. T. 27. № 3. P. 435–445.

Stepanov A.L., Manucharova N.A. Obrazovanie i pogloshhenie parnikovykh gazov v pochvennykh agregatakh [Genesis and absorption of greenhouse gases in soil aggregates]: Uchebnoe posobie / Pod red. V.M. Gavrilova. M.: Izd-vo MGU, 2006. 82 p. (in Russian).

Tang T., Miller D.M. Ethylene production in anaerobically incubated soils amended with poultry litter // Soil Science. 1993. T. 156. № 3. P. 186–192.

Received 29.11.2017

Accepted 28.12.2017

УДК 911.9

В.Н. Бодрова¹

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛЕСИСТОСТИ ОСТРОВА САРПИНСКИЙ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Представлен результат применения метода изолинейного картографирования к оценке степени лесистости территории острова Сарпинский Волгоградской области при помощи геоинформационных методов анализа. Использованы материалы космического наблюдения КА Landsat-8, подобрана необходимая комбинация каналов для дешифрирования по алгоритму ISODATA типичных видов землепользования в районе Волго-Ахтубинской поймы. В качестве источника данных о модельных участках предложено совместное использование топографических карт ГосГисЦентр и данных дистанционного зондирования Земли. В результате сеточного картографирования были получены карта изолиний и растровая модель коэффициента лесистости территории. Разработан и описан алгоритм соответствующих вычислений и картографирования для программного обеспечения ArcGIS.

Ключевые слова: геоинформационная система, лесные насаждения, сеточное картографирование, изолинейное картографирование, коэффициент лесистости, ArcGis.

Введение. Конус волжской дельты в пределах г. Волгограда и его южные окрестности образуют узкую акваторию с множеством последовательно расположенных друг за другом и линейно вытянутых речных островов (рис. 1). Они формируют крайнюю северо-западную часть Волжской ландшафтной провинции. Генетически природа островов аналогична ландшафтному устройству Волго-Ахтубинской поймы. На высоких террасах больших островов преобладают климаксные и порой перезрелые лесные сообщества, деградирующие в степные ландшафты. Растительность островов имеет ярко выраженную дифференциацию по высотным уровням, в зависимости от продолжительности половодья. На

прибрежных террасах встречаются травяные сообщества с преобладанием рудеральных видов. Древесные породы представлены дубравами и ленточными порослями тополя черного и ивы вдоль берега. Во время половодья вследствие перемещения песка возможно частичное или полное погребение многолетних деревьев.

Остров Сарпинский является самым большим по площади островом реки Волги и европейской части России, а также вторым по величине в Европе. Его длина составляет около 20 км, наибольшая ширина – до 18 км, площадь – около 112 км². Он был образован еще до зарегулирования волжского стока каскадом ГЭС в середине XX в. Постоянное насе-

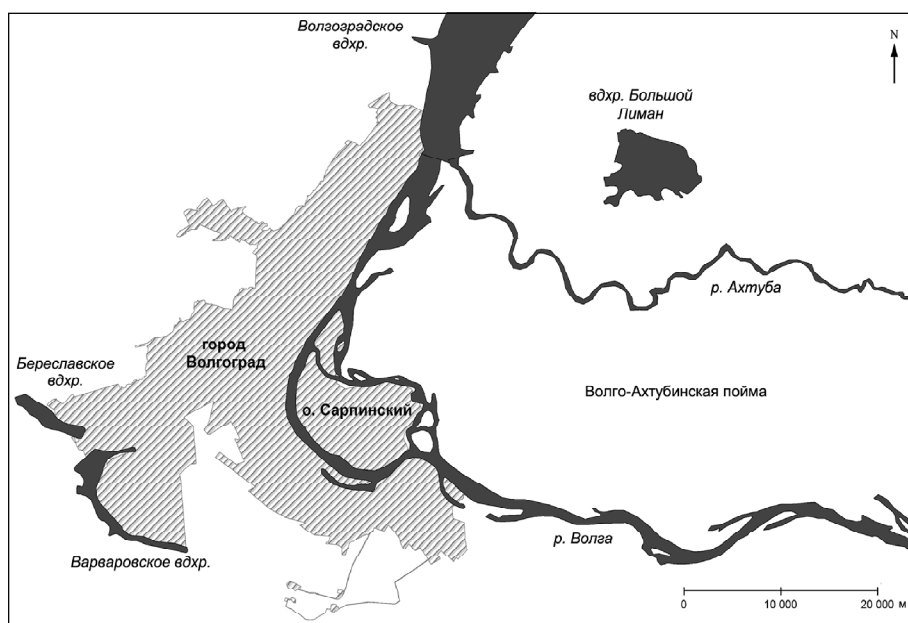


Рис. 1. Карта-схема расположения о. Сарпинский

Fig. 1. Schematic map of location of the Sarpinsky Island

¹ Волгоградский государственный университет, Институт естественных наук, кафедра географии и картографии, ст. преподаватель; e-mail: bodrova@volsu.ru

ление острова насчитывает до 800 человек, которые проживают в 16-ти хуторах. На острове расположены 13 садоводческих товариществ, в связи с чем летом его население увеличивается за счет дачников до 6 тыс. чел. Постоянное население занимается огородничеством, приусадебным хозяйством и, частично, браконьерским промыслом рыбы.

Природоохранная зона острова является уникальным орнитологическим заказником, включенным в 1996 г. в «Список потенциальных ключевых орнитологических территорий России международного значения». На о. Сарпинском насчитывается 25 крупных и десятки мелких озер, множество ериков и болот, в которых водится около 20 видов рыб, болотная черепаха, водяной уж, выхухоль. Флора включает редкие виды травянистых растений: болотноцветник щитолистный (*Nymphoides peltata* (S.G. Gmel.) Kuntze), солодка голая (*Glycyrrhiza glabra* L.), стрелолист трехраздельный (*Sagittaria sagittifolia* L.), валериана волжская (*Valeriana wolgensis* Kazak.) и др. Среди древесных сообществ преобладают дубравы. Наряду с типичными представителями пойменных ландшафтов отмечается большое распространение видов-вселенцев – ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Marshall), клена татарского (*Acer tataricum* L.), клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) [Судаков с соавт., 2015]. Одной из важнейших экологических проблем Волго-Ахтубинской поймы является утрата восстановительной способности растительных сообществ, в том числе пойменных дубрав, вследствие отсутствия достаточного уровня затопляемости территории и высокой степени минерализации грунтовых вод, чрезмерного сельскохозяйственного использования земель под пастбища и сенокосы, а также в результате стихийной рекреационной деятельности [Кузьмина, 2013; Серегин, 2012]. Предлагаемый в данной работе картографический подход к оценке территории с использованием геоинформационных методов анализа позволяет количественно оценить современное состояние лесных насаждений, что необходимо для разработки мер по предотвращению их деградации и внедрения наиболее эффективных экологических мероприятий.

Постановка проблемы. Методика картографирования лесистости с применением ГИС-технологий играет огромную роль в общей системе адаптивно-ландшафтного обустройства территорий, так как позволяет в кратчайшие сроки без финансовых затрат на рекогносцировочные выезды провести предварительную оценку агролесомелиоративной обустроенности территории, а также отследить динамику деградации или уничтожения растительности, проконтролировать ход лесовосстановительных работ. Тем самым закладывается основа системы экологического мониторинга территории [Судаков с соавт., 2015].

Для изучения пространственного размещения и обеспеченности территории острова Сарпинский лесными насаждениями, выбрана методика изолиней-

ного картографирования. Главным основополагающим принципом анализа по данному методу является предварительное деление территории исследования на пространственные операционные единицы – ячейки территории, для которых проводится непосредственный анализ, включая все расчеты. В тематической картографии данный подход находит применение при необходимости перехода от пространственных характеристик объектов исследования (ареалов обитания и распространения) к их количественному относительному учету. Свое начало данный подход берет в XX веке как метод стандартных картографических сеток, использовавшийся для построения карт ареалов таксонов в биогеографических исследованиях [Емельянова с соавт., 2006–4]. С развитием ГИС-технологий для учета и картографирования флористических и фаунистических наблюдений появляются более широкие возможности создания сложных растровых моделей территорий, построенных по принципу картографической сетки анализа, именуемой в научных работах «методом сеточного картографирования» [Абрамова с соавт., 2011; Гришуткин, 2013; Серегин, 2012, 2013]. Важными критериями при построении таких карт является выбор размера квадрата сетки и способ передачи (отображения) в них информации.

Часто в географических исследованиях в качестве операционных единиц анализа выступают границы административно-территориального деления (границы федеральных округов, муниципальных районов, сельских поселений, лесничеств и др.), аккумулирующие, как правило, периодическую статистическую информацию. В результате картографического отображения таких данных получают картограммы. Однако при изучении локальных небольших территорий, при исследованиях флоры и фауны данный подход невозможен, поэтому необходимо прибегать к средствам математико-картографического анализа пространства, позволяющего выполнять операции пространственного деления на ячейки заданного размера – квадраты сетки картографирования. Метод изолинейного картографирования требует и, в свою очередь, предоставляет актуальную возможность предварительного создания регулярной геометрической сетки, аналогичной растровому изображению, где размер ячейки задается заранее. Методика изолинейного картографирования, а именно, преобразование пространственных характеристик о площади (распространении, плотности) участков лесных насаждений в количественный показатель, на сегодняшний день является недостаточно изученной, о чем свидетельствует незначительное количество опубликованных научных работ с использованием этого подхода [Кошелева, 2015; Кулик с соавт., 2015; Рулев с соавт., 2014]. Представим последовательный алгоритм подбора пространственных исходных данных, их анализа на основе метода сеточного картографирования и отображения с помощью изолиний на примере оценки лесистости типичного участка Волго-Ахтубинской поймы – острова Сарпинский.

Материалы и методы исследований. Для проведения комплексного исследования выбранной территории необходим сбор существующих картографических материалов и данных. Были получены необходимые листы топографических карт ГГЦ (ГосГисЦентр) масштаба 1:250 000, мультиспектральный космический снимок среднего разрешения (30 м) КА Landsat-8 (2 июля 2014 г.) [USGS, 2016], позволивший оценить лесистость в период пика вегетационной активности растительного покрова.

С помощью программы Scanex Image Processor выполнена корректировка изображения. Так как необходим анализ только площадных характеристик лесистости, была выбрана стандартная комбинация каналов «естественные цвета» – 4 (Red), 3 (Green), 2 (Blue). Данная комбинация позволяет различить на снимке территории, занятые лесными насаждениями, участки антропогенной застройки и сельскохозяйственные угодья, участки степной растительности, песчаные пляжи и водные объекты. В данном случае дешифрирование выделенных типов земель осуществлено благодаря сопоставлению изображений на космическом снимке с изображением на топографической карте. Это позволило исключить необходимость закладки модельных участков в полевых условиях и значительно сократило временные затраты на выполнение работы.

Первоначально с помощью программы Scanex Image Processor была выполнена автоматическая классификация космического снимка КА Landsat-8 (комбинация каналов 4,3,2) по алгоритму ISODATA с использованием маски обучения. Маска обучения содержала предварительно созданный векторный слой с указанием участков лесной растительности, водных объектов, песков (пляжей), антропогенных участков и степной растительности (территорий, лишенных лесных насаждений, отнесенных к категории «прочие земли»). Местонахождение модельных участков было установлено по топографической карте ГГЦ М 1:250 000.

В результате классификации были получены растровое изображение и векторный слой выделенных типов земель острова Сарпинский и прилегающих территорий (о. Голодный, о. Спорный, рис. 2). Для векторного слоя была автоматически вычислена площадь (m^2) всех лесных насаждений (полигонов лесных насаждений) с помощью картометрической функции ArcGIS – «Вычислить геометрию».

Методика изолинейного картографирования предполагает предварительное создание регулярной геометрической сетки, аналогичной растровому изображению. Внутри каждого квадрата сетки определяют площадь лесных насаждений. Полученные цифры делят на площадь квадрата и таким образом вычисляют для каждого из них показатель (коэффициент) лесистости [Рулев с соавт., 2014]. Данная методика позволит получить итоговую изолинейную карту общей лесистости.

Инструментально процедура создания регулярной геометрической решетки была выполнена с по-

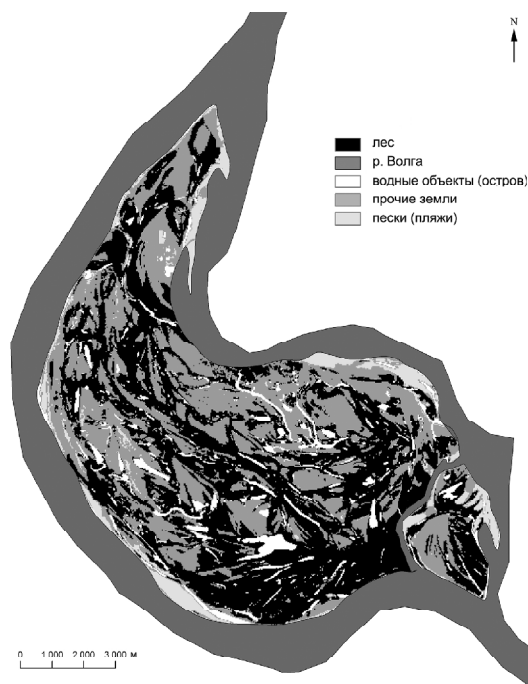


Рис. 2. Результат классификации космического снимка КА Landsat-8 (комбинация каналов 4, 3, 2) по алгоритму ISODATA с использованием маски обучения

Fig. 2. Result of Landsat-8 space image classification (combination of channels 4, 3, 2) by means of the ISODATA algorithm with training mask

мощью программы ArcGIS и включала в себя несколько этапов:

1. Создание нормального растра (создает растр из произвольных значений с нормальным (гауссовым) распределением в пределах экстенда и размера ячейки окна анализа) с размером ячейки 500×500 м (площадь 0,25 км²). Итого – 534 ячейки.

2. Переклассификация растра по полю Value для получения нового растра с типом значений Integer.

3. Векторизация нового растра (Инструмент «Растр в полигон»/Raster to Polygon (инструменты группы Конвертация/Conversion tools)).

Далее необходимо выполнить исключение из решетки лишних ячеек, не пересекающих территорию исследования. Для этого осуществлена выборка объектов (ячеек) по расположению, и соответственно отчистка слоя, то есть исключение лишних ячеек для получения регулярной геометрической сетки, покрывающей только территорию исследования (рис. 3).

Так как объектом исследования в нашем случае являются лесные насаждения, то для проведения дальнейших расчетов необходимо получить отдельный векторный слой лесов из общего векторного слоя выделенных типов земель. Это необходимо для дальнейшего выполнения операции наложения полученной ранее решетки и полигонов лесов, что позволит провести вычисления площади лесов в пределах каждой ячейки.

Инструменты Наложения/Overlay (группа инструментов Анализа/Analysis tools) – инструмент «Пе-

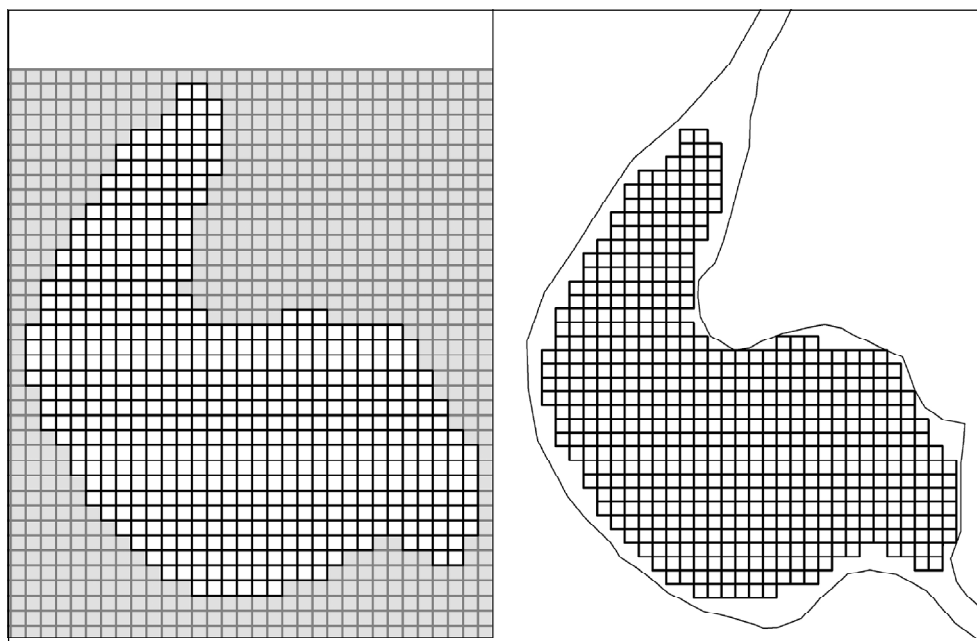


Рис. 3. Построение регулярной геометрической сетки анализа для территории о. Сарпинский

Fig. 3. Construction of a regular geometric grid for the analysis of the Sarpinsky Island territory

ресечение»/Intersect позволил получить векторный слой, содержащий одновременно ячейки регулярной геометрической решетки и полигоны лесов совместно с их атрибутами. Атрибутивные таблицы были экспортированы в формат Excel и произведены подсчеты

площадей полигонов в каждой ячейке. Новая таблица, содержащая только строки с номером ячеек и значениями площади лесов в этой ячейке, была присоединена к векторному слою решетки анализа. В новом созданном поле таблицы слоя решетки с

помощью инструмента «Калькулятор поля» был выполнен расчет коэффициента лесистости (K_L) по формуле:

$$K_L = \frac{S_{лес}}{S_{ячейка}},$$

где S – площадь, m^2 .

Полученные значения K_L необходимы для построения изолиний лесистости.

Алгоритм, описанный выше, выглядит следующим образом (ПО ArcGIS):

1. Применение инструмента группы «Наложение»/Overlay для векторных слоев решетки и лесов (инструмент «Пересечение»/Intersect) – получен векторный слой intersect.shp (рис. 4).

2. Экспорт атрибутивной таблицы объединенного векторного слоя intersect.shp в Excel.

3. Подсчет площади лесов в каждой ячейке путем суммирования.

4. Создание новой таблицы Excel, содержащей данные суммарной площади лесов для каждой ячейки.

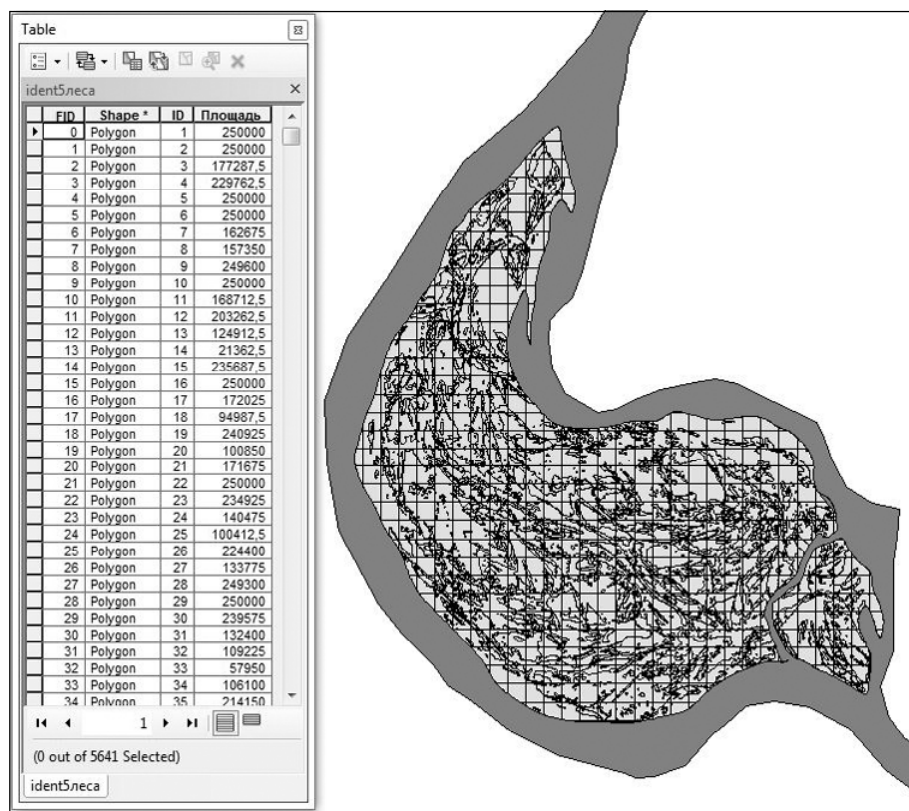


Рис. 4. Объединенный векторный слой «intersect.shp», содержащий объекты и атрибуты регулярной геометрической сетки и лесных насаждений. ПО ArcGIS 10.1

Fig. 4. Combined vector layer «intersect.shp», containing objects and attributes of a regular geometric grid and forest plantations. ArcGIS 10.1 software



Рис. 5. Растровая модель распределения $K_{\text{л}}$ по территории (слева) и векторная карта лесов (справа)

Fig. 5. Raster model of the spatial distribution of the coefficient of forest coverage (left) and the vector map of forests (right)

5. Применение инструмента «Объединение»/Join для новой таблицы и исходного векторного слоя решетки по полю «№ ячейки».

6. Создание нового поля в атрибутивной таблице решетки и вычисление в нем значений коэффициента лесистости – $K_{\text{л}}$ (Инструмент «Калькулятор поля»).

Для дальнейшего построения изолиний лесистости необходим перевод исходных данных из векторной модели в растровую. Для этого выполнена конвертация векторного слоя регулярной геометрической сетки по полю $K_{\text{л}}$ (Инструменты группы «Конвертация»/Conversion tools – инструмент «Объекты в растр»/Features to raster). Таким образом получен растр, отражающий распределение по территории значений $K_{\text{л}}$ в пределах ячеек площадью 0,25 км² каждая (рис. 5).

Полученная растровая модель распределения $K_{\text{л}}$ по территории позволяет выполнить построение изолиний значений коэффициента с помощью инструментов пространственного анализа ArcGIS (модуль Spatial Analyst – группа инструментов «Поверхность»/Surface – инструмент «Изолинии»/Contour). Таким образом, получена изолинейная карта общей лесистости о. Сарпинский и прилегающих территорий (о. Голодный и о. Спорный) (рис. 6).

Результаты исследований и их обсуждение. В результате выполненного анализа территории о. Сарпинский были получены растровая модель $K_{\text{л}}$ (рис. 5) и соответствующая карта изолиний (рис. 6).

С помощью растровой модели распределения $K_{\text{л}}$ удалось определить процентное соотношение территорий, имеющих различное значение коэффициента лесистости (табл.) Данные указывают на то, что 24% территории практически лишены лесных насаждений ($K_{\text{л}} < 0,2$), 42% территории имеет среднюю обеспеченность лесными насаждениями ($K_{\text{л}} = 0,2-0,6$), и 33% территории имеет $K_{\text{л}} > 0,6$.

Применяемая при данном подходе операция предварительного деления территории на ячейки заданного размера (наложение сетки анализа) позволяет говорить о возможности повышения точности (детальности) территориального анализа при уменьшении размера ячеек, и, наоборот, о возможности получения более усредненных данных, что зависит от поставленных целей исследования. Главным преимуществом подхода является исключение зависимости от административных границ и собираемой в ее пределах статистики. Также важно отметить, что современное развитие геоинформационного программного обеспечения и открытый доступ к данным космических наблюдений и картографическим государственным материалам делают представленный подход весьма перспективным и доступным для широкого круга специалистов.

Разработанный и описанный алгоритм вычислений для ПО ArcGIS ранее не был представлен в научных работах и может быть использован или

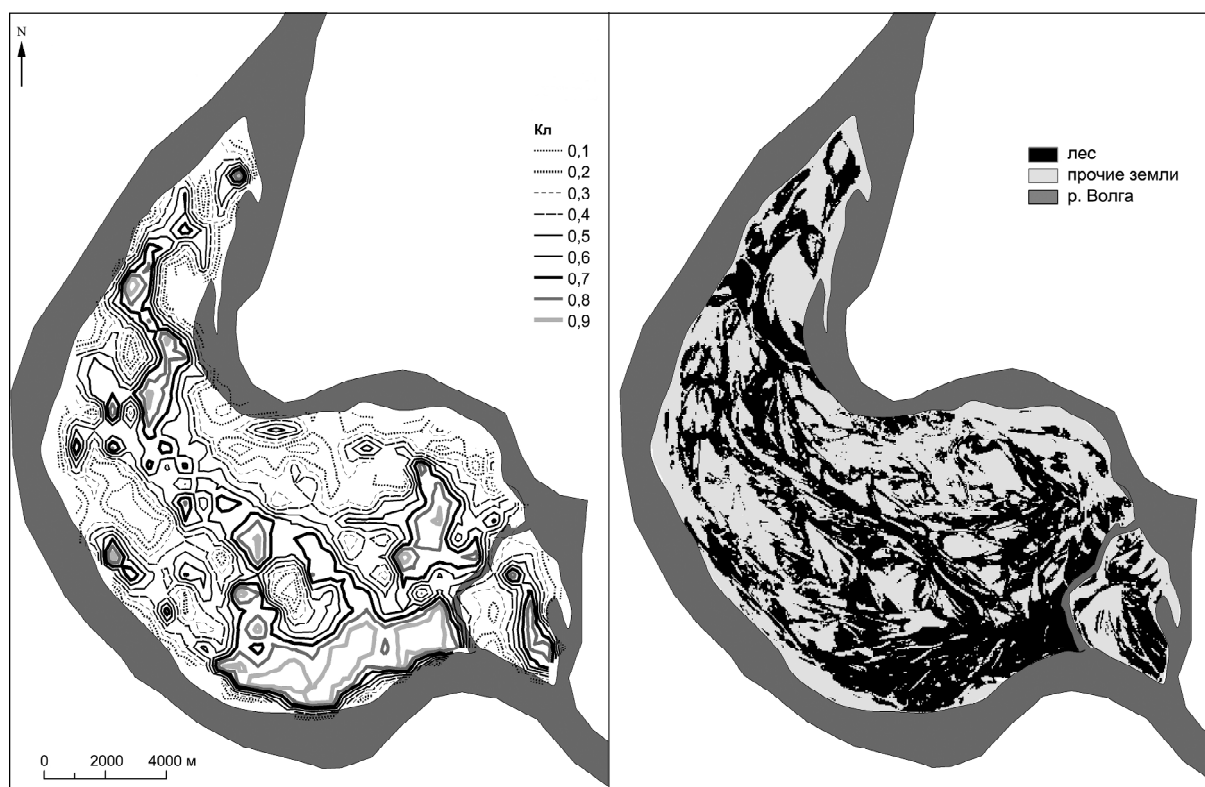


Рис. 6. Карты изолиний коэффициента лесистости ($K_{л}$) (слева) и лесов (справа) о. Сарпинский и прилегающих территорий
 Fig. 6. Maps of isolines of the coefficient of forest coverage (left) and of forests (right) of the Sarpinsky Island and adjacent territories

Анализ соотношения земель по значению $K_{л}$

Диапазон значений $K_{л}$	Площадь, км ²	% от общей площади территории
0–0,2	29,0	24,4
0,21–0,4	22,75	19,0
0,41–0,6	28,25	23,6
0,61–0,8	21,5	17,9
0,8–1	18,0	15,1

адаптирован для проведения исследований на других территориях.

Выводы:

– полученные количественные данные указывают на довольно высокий уровень обеспеченности исследуемой территории лесными насаждениями. Около 75% территории имеет средний ($K_{л} = 0,21–0,6/42,6\%$ территории) и высокий ($K_{л} > 0,6/33\%$ территории) уровень лесистости;

– полученные карты – растровая (сеточная) модель коэффициента лесистости и изолинейная карта в комплексе могут быть использованы при районировании территории острова по степени обеспеченности лесами и для выявления районов, требующих более детальных исследований состояния лесов. При проведении экологической экспертизы и оценке земель именно относительная количе-

ственная оценка состояния природных ресурсов играет ключевую роль в расчетах экологических ущербов, разработке и планировании природоохранных мероприятий, кадастровых оценках земель и ресурсов и т. п.

– полученные данные могут быть использованы как первичные в дальнейших мониторинговых исследованиях состояния лесных ландшафтов о. Сарпинский и прилегающих территорий, так как ранее подобные научные работы для этой территории не публиковались. Территория острова остается малоизученной, но представляет высокую ценность с точки зрения ландшафтного разнообразия. Среди обширных территорий Волго-Ахтубинской поймы, о. Сарпинский в связи с транспортной труднодоступностью из-за отсутствия моста подвергается наименьшей антропогенной нагрузке. Мы полагаем, что рекреационная ценность этой территории будет продолжать расти. Необходимо привлечение внимания научного сообщества для изучения ее рекреационного потенциала. Подробно описанная методика автоматизированного дешифрирования космического снимка среднего разрешения с помощью ПО Scanex Image Processor и представленный алгоритм геоинформационного анализа для ПО ArcGIS могут быть использованы для анализа степени обеспеченности данной территории лесами, исследования их динамики и при экологической оценке земель других территорий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абрамова Л.А., Волкова П.А., Борисова П.Б., Митирёва Е.А. Предварительные итоги сеточного картирования флоры Удомельского района Тверской области // Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер. Биология и экология. 2011. № 24. С. 127–143.
- Гришуткин О.Г. Возможности применения ГИС-технологий в ботанических исследованиях // Вестн. Мордовского ун-та. 2013. № 3–4. С. 16–20.
- Емельянова Л.Г., Огуреева Г.Н. Биогеографическое картографирование. Уч. пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2006. 132 с.
- Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM+ [Электронный ресурс] // GIS-LAB: Географические информационные системы и дистанционное зондирование. Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html> (дата обращения 01.04.2016).
- Кошелева О.Ю. Изолинейное картографирование защитной лесистости // Актуальные вопросы сельскохозяйственных наук в современных условиях развития страны. 2015. С. 89–93.
- Кузьмина Е.Г. О состоянии дубрав в Волго-Ахтубинской пойме // Естественные науки. 2013. № 4. С. 52–56.
- Кулик К.Н., Ткаченко Н.А., Кошелев А.В. Использование ГИС-технологий при оценке антропогенной нагрузки на агроландшафты Волгоградского Заволжья // Изв. Оренбургского гос. аграрного ун-та. 2015. № 2(52). С. 161–163.
- Рудев А.С., Кошелева О.Ю. Картографическое моделирование лесистости для адаптивно-ландшафтного обустройства водосборов (на примере бассейна р. Ольховка Волгоградской области) // Изв. Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4(36). С. 32–36.
- Серегин А.П. Сеточное картирование флоры: мировой опыт и современные тенденции // Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер. Биология и экология. 2013. № 32. С. 210–245.
- Серегин А.П. Флора Владимирской области: конспект и атлас. Тула: Гриф и К, 2012. 620 с.
- Солодовников Д.А., Канищев С.Н., Золотарев Д.В., Шинкаренко С.С. Рекреационная дигрессия интразональных ландшафтов Нижней Волги // Вестн. Волгоградского гос. ун-та. Сер. 11. Естественные науки. 2014. № 2. С. 50–57.
- Судаков А.В., Новицкий С.Л., Монилов С.Н. Волжские острова в границах г. Волгограда: природные условия и хозяйственно-рекреационный потенциал // Псковский регионологический журнал. 2015. № 22. С. 18–30.
- USGS= Геологическая службы США [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://eros.usgs.gov> (дата обращения: 01.04.2016).

Поступила в редакцию 19.01.2016
Принята к публикации 28.12.2017

V.N. Bodrova¹

MAPPING OF FOREST COVERAGE OF THE SARPINSKY ISLAND (VOLGOGRAD OBLAST)

The paper presents the results of applying the method of contour mapping for the assessment of the current state of forest plantations on the Sarpinsky Island (Volgograd oblast) with the use of geoinformation analysis techniques. The materials of Landsat-8 space observations were used and a fine-tuned combination of channels was selected for the interpretation of characteristic land use types in the Volga-Akhtuba floodplain area by means of the ISODATA algorithm. As a source of data about model areas we propose to combine topographic maps and remote sensing data. A contour map and a raster model of the coefficient of forest coverage are the result of grid mapping. An appropriate algorithm of computing and mapping was elaborated for ArcGIS software.

Key words: Geographic Information System, forest plantations, grid mapping, contour mapping, coefficient of forest coverage, ArcGis.

REFERENCES

- Abramova L.A., Volkova P.A., Borisova P.B., Mitiryova E.A. Predvaritel'nye itogi setochnogo kartirovaniya flory Udomel'skogo rajona Tverskoj oblasti [Preliminary results of grid mapping of the flora of Udomlya district of Tver region] // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Biologiya i ekologiya. 2011. № 24. P. 127–143 (in Russian).
- Emel'yanova L.G., Ogureeva G.N. Biogeograficheskoe kartografirovaniye [Biogeographical mapping]. M.: Geograficheskij fakul'tet MGU. 2006. 132 p. (in Russian).
- Grishutkin O.G. Vozmozhnosti primeneniya GIS-tehnologij v botanicheskikh issledovaniyah [Possible application of GIS-technologies in botanical research] // Vestnik Mordovskogo universiteta. 2013. № 3–4. P. 16–20 (in Russian).
- Interpretaciya kombinacij kanalov dannyh Landsat TM/ETM+ [Interpretation of the combinations of channels of the Landsat TM/ETM+ data]. URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html> Accessed: 01.04.2016.
- Kosheleva O.Ju. Izolinejnoe kartografirovaniye zashhitnoj lesistosti [Isoline mapping of protective forest coverage] // Aktual'nye voprosy sel'skohozyajstvennyh nauk v sovremennyh usloviyah razvitiya strany. Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. 2015. P. 89–93 (in Russian).
- Kulik K.N., Tkachenko N.A., Koshelev A.V. Ispol'zovanie GIS-tehnologij pri ocenke antropogennoj nagruzki na agrolandshafty Volgogradskogo Zavolz'h'ya. [Application of GIS-technologies for

¹ Volgograd State University, Institute of Natural Sciences, Department of Geography and Cartography, Senior Lecturer; e-mail: bodrova@volsu.ru

the evaluation of anthropogenic load on agricultural landscapes in Volgograd Trans-Volga area] // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. № 2(52). P. 161–163 (in Russian).

Kuz'mina E.G. O sostoyanii dubrav v Volgo-Ahtubinskoj pojme [About the state of oak grove in the Volga-Akhtuba floodplain] // *Estestvennye nauki*. 2013. № 4. P. 52–56 (in Russian).

Rulev A.S., Kosheleva O.Ju. Kartograficheskoe modelirovanie lesistosti dlya adaptivno-landshaftnogo obustrojstva vodosborov (na primere bassejna r. Ol'hovka Volgogradskoj oblasti) [Cartographic modeling of forest coverage for adaptive and landscaped development of catchments (case study of the Olkhovka River basin, Volgograd oblast)] // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*. 2014. № 4(36). P. 32–36 (in Russian).

Seregin A.P. Flora Vladimirskoj oblasti: Konspekt i atlas [Flora of Vladimir oblast: Summary and the atlas]. Tula: Grif i K, 2012. 620 p. (in Russian).

Seregin A.P. Setochnoe kartirovanie flory: mirovoj opyt i sovremennye tendencii [Floristic grid mapping: world experience and current trends] // *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologiya i ekologiya*. 2013. № 32. P. 210–245 (in Russian).

Solodovnikov D.A., Kanishhev S.N., Zolotarev D.V., Shinkarenko S.S. Rekreatcionnaya digressiya intrazonal'nyh landshaftov Nizhnej Volgi [The recreational digression of intrazonal landscapes of the Lower Volga River] // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 11. Estestvennye nauki*. 2014. № 2. P. 50–57 (in Russian).

Sudakov A.V., Novickij S.L., Monikov S.N. Volzhskie ostrova v granicah g. Volgograda: prirodnye usloviya i hozyajstvenno-rekreatcionnyj potencial [The Volga River islands within the boundaries of the city of Volgograd: natural conditions and economic and recreational potential] // *Pskovskij regionologicheskij zhurnal*. 2015. № 22. P. 18–30 (in Russian).

USGS. [The US Geological Survey] URL: <http://eros.usgs.gov> Accessed: 01.04.2016.

Received 19.01.2016

Accepted 28.12.2017

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.79

Д.В. Семиколенных¹, Х.А. Арсланов², Е.И. Игнатов³, В.Л. Лукша⁴ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РАЙОНА КЕРЧЕНСКОГО ПРОЛИВА
ЗА ПОСЛЕДНИЕ 25 ТЫСЯЧ ЛЕТ

На основании результатов палеогеографического изучения (фациально-литологический, малакофаунистический, радиоуглеродный анализы) керн четырех скважин, пробуренных на косе (острове) Тузла в ходе инженерно-изыскательских работ при проектировании Крымского моста, предложена схема эволюции природной среды Керченского пролива за последние 25 тысяч лет. Выделены этапы: 1 – Новозвксинский регрессивный этап, отвечающий эпохе максимума поздневалдайского оледенения, когда Азовское море представляло собой низменную прибрежную равнину, устье р. Дон располагалось в районе современной шельфовой зоны Черного моря, в районе современного пролива обитала пресноводная фауна; 2 – Новозвксинский трансгрессивный этап, отвечающий эпохе деградации поздневалдайского оледенения. Керченский пролив представлял собой бассейн лиманного типа с фауной, включающей пресноводные и каспийские слабосоленоводные виды. Присутствие последних свидетельствует о сбросе каспийских (хвалыньских) вод в новозвксинский бассейн. Лиманный бассейн в области Керченского пролива существовал около $10\,110 \pm 330$ лет назад; 3 – этап снижения уровня новозвксинского бассейна при достижении им уровня Босфорского порога и стоке вод в Средиземноморский бассейн. Выдвижение дельты Дона, расселение пресноводных моллюсков; 4 – Черноморский трансгрессивный этап. Появление и расселение представителей средиземноморской фауны – от эвригалинных до умеренно эвригалинных и умеренно стеногалинных. Неустойчивое положение уровня моря с разнонаправленными его колебаниями на начальном подэтапе развития черноморской трансгрессии. Новочерноморский подэтап с уровнем моря на 2 м выше современного, повышенной соленостью и богатым биоразнообразием средиземноморских видов; датирован интервалом от 6020 ± 140 до 5530 ± 120 лет; 5 – Фанагорийский регрессивный этап. Незначительное опреснение Керченского пролива за счет увеличившегося влияния вод р. Дон. Возраст события 2570 ± 140 лет; 6 – современный этап. Распространение средиземноморских эвригалинных и умеренно стеногалинных видов.

Ключевые слова: Керченский пролив, трансгрессии, регрессии, поздний плейстоцен, голоцен, скважины, малакофауна, радиоуглеродное датирование.

Введение. Керченский пролив имеет важное хозяйственное, транспортное и стратегическое значение. На протяжении многих тысяч лет пролив служит «мостом» между Таманским и Керченским полуостровами, между Черным и Азовским морями. В настоящее время он является ареной активной судовой навигации, местом возведения Крымского моста. Керченский пролив характеризуется сложной историей развития, тесно связанной с геологическими и климатическими факторами. Его коренное ложе сложено глинами миоцена, перекрытыми разнообразными рыхлыми плейстоценовыми образованиями. Их изучение позволяет реконструировать историю пролива и эволюцию его природной среды, знание которых необходимо при проведении прогнозных оценок и планировании развития региона.

Изучение строения плейстоценовых отложений пролива начато Н.И. Андрусовым [1918, 1926]. По материалам бурения им выделены 4 фазы развития: древняя пресноводно-каспийская, древняя морская, новая пресноводно-каспийская и новая морская. После работ А.Д. Архангельского и Н.М. Страхова [1938] под этими фазами стали пониматься древнезвксинская, карангатская, новозвксинская и древнечерноморская трансгрессии. Истории развития Керченского пролива посвящены публикации [Арсланов с соавт., 1982; Барг с соавт., 1978; Благоволлин, 1960; Геология шельфа Украины ..., 1981; Невесская, 1965; Попов, 1973, 1983; Попов, Супрунова, 1977; Свиточ с соавт., 1998; Скиба с соавт., 1975; Федоров, 1963, 1978; Шнюков с соавт., 1979; Янина, 2012 и др.], по-разному реконструирующие события и эволюцию природной среды региона. Для после-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет МГУ, кафедра геоморфологии и палеогеографии, студент-магистр; *e-mail:* dasha.semikolennykh@gmail.com

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, НИЛ геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана; главный специалист, докт. геол.-минер. н.; *e-mail:* arslanovkh@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет МГУ, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail:* ign38@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет МГУ, кафедра литологии и морской геологии, науч. с.; *e-mail:* paleo@inbox.ru

дних 25 тысяч лет (поздневалдайская ледниковая эпоха – голоцен) большинством исследователей установлена последовательность основных событий: новозвксинская регрессия – новозвксинская трансгрессия – черноморская трансгрессия. Но в развитии этих событий, в выделении в них трансгрессивно-регрессивных этапов более низкого иерархического уровня, единства нет.

Нами выполнен палеогеографический анализ керн четырех скважин, пробуренных на косе (острове) Тузла в ходе инженерно-изыскательских работ при проектировании Крымского моста и на его основании предложена схема эволюции природной среды Керченского пролива за последние 25 тысяч лет.

Материал и методы исследований. Бурение скважин глубиной 70–80 м выполнено на разных участках косы Тузла (рис. 1). Керн изучен фациально-литологическим, фаунистическим и геохронологическим методами. Фациально-литологический анализ выполнен в лаборатории морской геологии геологического факультета МГУ. Фаунистический анализ, включающий тафономические, таксономические, биостратиграфические и палеоэкологические исследования раковин моллюсков, выполнен в НИЛ новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ. Основное внимание в малакофаунистическом изучении керна уделено анализу двустворчатых моллюсков, имеющих решающее значение для стратиграфических построений и палеогеографических реконструкций в южных морях России. Для сравнительного анализа использована коллекция азово-черноморских плейстоценовых и голоценовых раковин моллюсков, хранящаяся в названной лаборатории. Радиоуглеродное датирование сцинтилляционным методом раковинного материала выполнено в НИЛ геоморфологических и палеогеографических исследований

полярных регионов и Мирового океана Института наук о Земле СПбГУ. Значения календарного возраста получены на основании калибровочной программы «OxCal 4.2» (калибровочная кривая «IntCal 13»). Christopher Bronk Ramsey (<https://c14.arch.ox.ac.uk>).

Результаты исследований и их обсуждение.

Строение керна скважин (№ 93, 95, K4-53 и K3-14) близко по своему фациально-литологическому и малакофаунистическому составу (рис. 2). Его нижняя часть (вскрытая мощность около 20 м) представляет дочетвертичные (предположительно неоген) породы. На них с размывом залегают песчаные и песчано-алевритовые осадки мощностью 8–12 м, включающие представителей пресноводной малакофауны родов *Viviparus*, *Valvata*, *Unio*, многочисленные *Dreissena polymorpha*. Такой состав раковин свидетельствует о господствующем влиянии речных вод Дона в условиях снижения уровня Черного моря и выдвижения устьевой области реки за пределы современного Керченского пролива. Очевидно, это был период существования в котловине Черного моря новозвксинского регрессивного бассейна, развитие которого, согласно представлениям большинства исследователей, отвечало эпохе LGM (последнего ледникового максимума).

Появление в вышележащих, преимущественно глинистых, осадках среди пресноводных видов раковин слабосолоноватоводного вида *Monodacna caspia* указывает на влияние каспийских вод на пресноводный бассейн в области Керченского пролива. Появление каспийских монодакн объясняется сбросом вод хвалынской трансгрессии по Манычу в новозвксинский бассейн [Мордухай-Болтовской, 1960; Янина, 2012]. А их смешение с донскими пресными водами свидетельствует о поднятии уровня новозвксинского бассейна и постепенном заполнении ими района современного пролива. Радиоуглеродная дата ЛУ-8430 (табл.) указывает на время проявления этого события около 10 тысяч (календарных) лет назад. Залегание выше по разрезу глинистых отложений, включающих только каспийские монодакны (рис. 2), свидетельствует о замещении пресных вод новозвксинскими солоноватыми и об отступании устьевой области Дона за пределы современного Керченского пролива.

Первое появление морских видов (обычно это эвригалинные представители средиземноморской фауны *Cerastoderma edule* и *Mytilaster lineatus*) в осадках керна на уровне около 32 м указывает на достижение изученной территории водами морской черноморской трансгрессии. Наблюдающееся выше по разрезу керна чередование комплексов пресноводных, солоноватых и морских раковин моллюсков, отчетливо прослеживающееся в скважине № 93, свидетельствует о неустойчивом режиме уровня бассейна, проявляющимся усилением (при снижении уровня) или ослаблением (при его повышении) влияния пресных вод со стороны Дона. Увеличение в составе фаунистических комплексов количества средиземноморских эвригалинных видов является показателем нарастания трансгрессии и



Рис. 1. Схема расположения скважин на о. Тузла

Fig. 1. Scheme of sediment cores location on the Tuzla Spit

Результаты радиоуглеродного датирования раковин моллюсков

Лабораторный номер	Описание образца	Радиоуглеродный возраст, лет	Калиброванный возраст, лет
ЛУ-8428	Тузла № 4-53, инт. 12,5–13,0 м; раковины <i>Cerastoderma edule</i>	2510±120	2570±140
ЛУ-8429	Тузла № 4-53, инт. 20,1–20,3 м; раковины <i>Chione gallina</i>	4720±200	5400±250
ЛУ-8430	Тузла № 4-53, инт. 47,5–47,8 м; раковины пресноводных гастропод	8990±240	10110±330
ЛУ-8108	Тузла, скв. 93, инт. 20,0–20,1 м; раковины <i>Cerastoderma edule</i> , <i>Chione gallina</i>	4810±100	5530±120
ЛУ-8110	Тузла, скв. 95, инт. 15,0–15,1 м; раковины <i>Cerastoderma edule</i> , <i>Chione gallina</i>	5240±120	6020±140

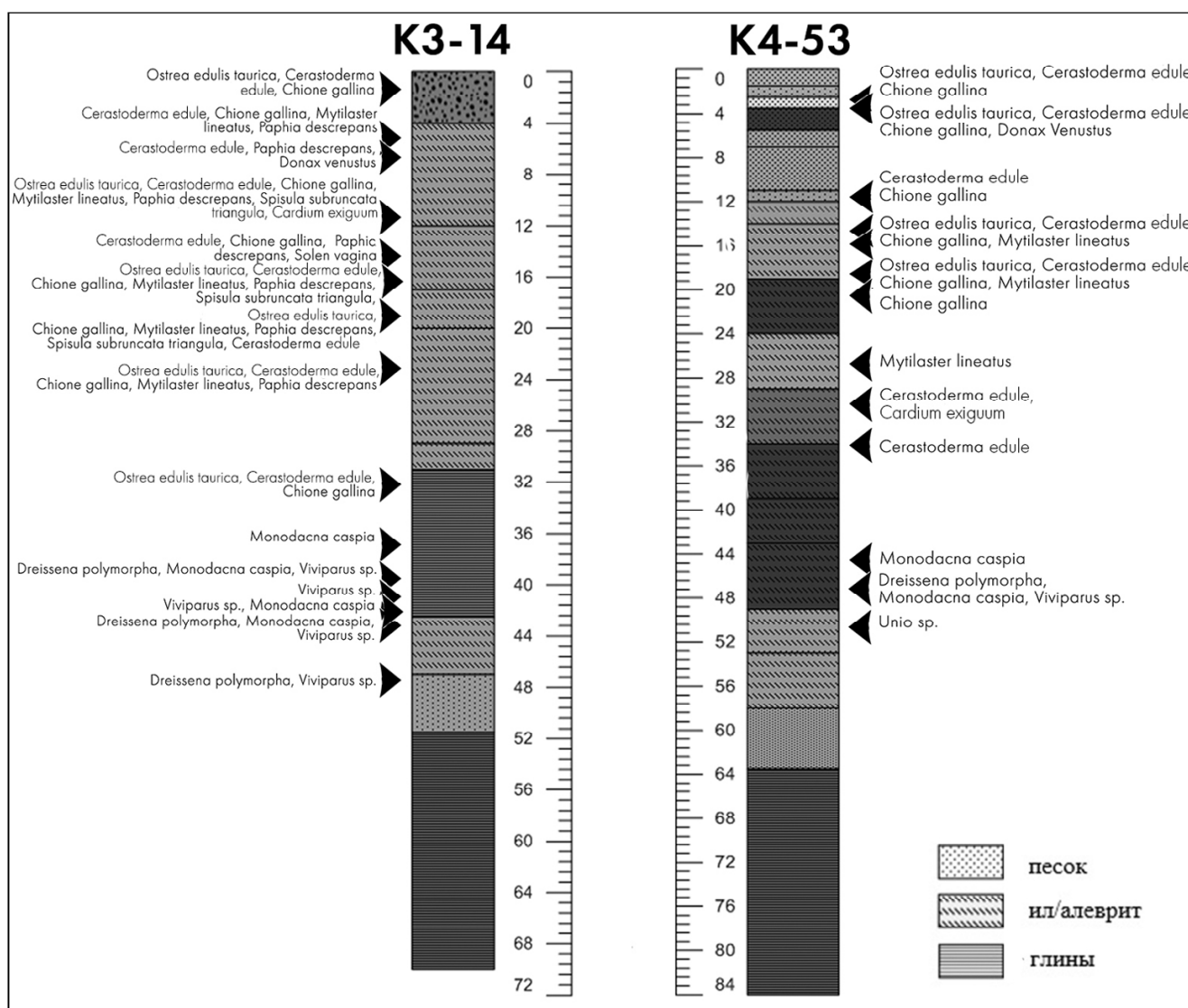


Рис. 2. Строение и малакофаунистический состав ядра скважин № К3-14 и № К4-53

Fig. 2. Structure and malacofauna composition of sediment cores № K3-14 and № K4-53

заполнения района пролива морскими водами с вытеснением солоноватоводных моллюсков в опресненные участки бассейна.

В скважинах (рис. 2) с глубины около 24 м отмечается частая встречаемость не только эвригаллиных, но и умеренно стеногалинных средиземноморских видов, что свидетельствует о дальнейшем развитии трансгрессии. Радиоуглеродные датировки ЛУ-8110, ЛУ-8108, ЛУ-8429, отвечающие этому этапу в развитии пролива (см. таблицу), находятся в интервале 5240–4720 лет, календарный возраст – 6020–5400 лет. Он отвечает новочерноморской трансгрессии, установленной П.В. Федоровым [1963, 1978], или каламитскому этапу в развитии голоценовой трансгрессии Черного моря, выделенному Л.А. Невесской [1965]. Следует отметить, что новочерноморская трансгрессия, по заключению П.В. Федорова, была этапом самого высокого (на 2 м выше современного) уровня моря в голоцене, с самой высокой соленостью для голоценовой эпохи и вспышкой развития в нем средиземноморских видов. Согласно же представлениям Л.А. Невесской, повышение уровня, нарастание солености и увеличение видового разнообразия малакофауны в голоцене шло постепенно. Состав малакофауны в керне изученных скважин позволяет нам поддержать точку зрения П.В. Федорова.

Таким образом, на основании результатов анализа керн скважин в развитии Керченского пролива в конце позднего плейстоцена – голоцене можно выделить палеогеографические этапы (рис. 3).

Новоэвксинский регрессивный этап. Он отвечает новоэвксинской регрессии Черного моря, уровень которой имеет разные оценки: –42 [Благоволин, 1960], –70...–90 [Федоров, 1978], –110 [Ryan, 1997; Конилов, 2005], –120 м [Dolukhanov, Arslanov, 2009]. В это время произошло окончательное оформление ложбин Керченского пролива и углубление его основания до современных отметок [Благоволин, 1960]. Азовское море представляло собой низменную прибрежную равнину, через которую протекала река Дон, ее устье находилось в районе современной шельфовой зоны Черного моря. Этот этап развития Керченского пролива отвечает эпохе мак-

сима позднелевостайского оледенения (МИС 2). Максимальное похолодание эпохи отражено в спорово-пыльцевом спектре прилегающей к проливу территории [Кайтамба, 2005].

Новоэвксинский трансгрессивный этап. С началом деградации оледенения в области современного Черного моря началось развитие новоэвксинского трансгрессивного бассейна. Он имел соленость до 7‰ [Янина, 2012] и по разным оценкам достиг своего максимума около 12,5 тыс. лет назад на отметке –30...–31 м [Гидрология дельты ..., 2010]; –15...–20 м [Федоров, 1982]; около 15,4–15 тыс. лет назад – –60...–70 м [Конилов, 2005]. В это время Керченский пролив представлял собой бассейн лиманного типа, его фауна была представлена пресноводными и каспийскими слабосоленоводными моллюсками. Присутствие последних в отложениях керн свидетельствует о сбросе каспийских (хвалыньских) вод в новоэвксинский бассейн. Лиманный бассейн в области Керченского пролива существовал около 10 110±330 лет назад.

По достижению новоэвксинским бассейном уровня Босфорского порога начался сток его вод в Средиземноморский бассейн [Гидрология дельты ..., 2010; Esin, Yanko-Hombach, 2010], зафиксированный снижением уровня новоэвксинского бассейна. Этот этап прослеживается в изменении состава малакофауны в керне скважины № КЗ-14 (рис. 2), где на смену комплекса, включающего каспийские слабосоленоводные виды, вновь пришел комплекс, состоящий из пресноводных моллюсков. Тенденцию к потеплению климата подтверждает спорово-пыльцевой анализ для долины р. Джегута [Dolukhanov, Arslanov, 2009].

С развитием межледниковой голоценовой трансгрессии Мирового океана воды Средиземного моря начали поступать в Черноморский бассейн, их первое влияние отмечено 5–6 тыс. [Благоволин, 1960], 8 тыс. [Конилов, 2005], 9,7 тыс. [Esin, Yanko-Hombach, 2010], 10,25 тыс. [Dolukhanov, Arslanov, 2009] лет назад. Данное событие ознаменовало начало нового этапа в палеогеографии Черного моря – черноморского этапа. Этот этап четко прослеживается в керне всех четырех скважин появлением пер-

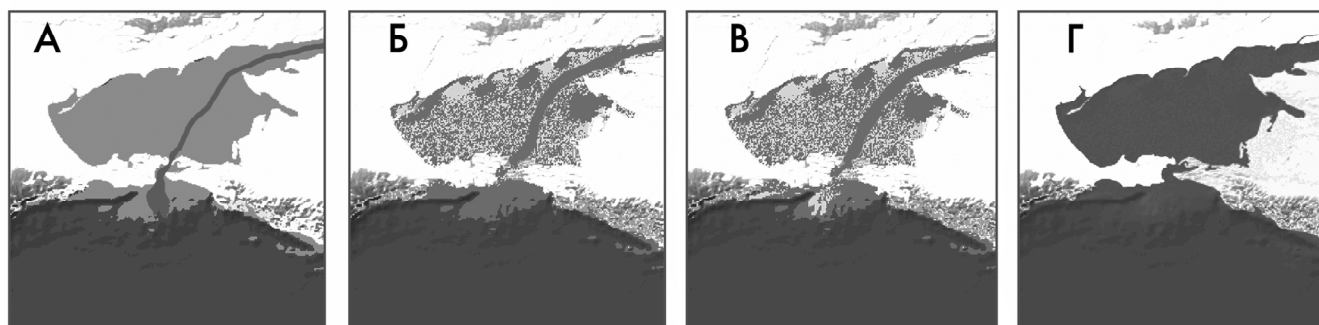


Рис. 3. Схема развития Керченского пролива в последние 25 тысяч лет: А – новоэвксинская регрессия; Б – новоэвксинская трансгрессия; В – постновоэвксинская регрессия; Г – черноморская трансгрессия

Fig. 3. Scheme of the Kerch Strait paleogeographic evolution during the recent 25 thousand years: А – the New Euxinian regression; Б – the New Euxinian transgression; В – the post-New Euxinian regression; Г – the Black Sea transgression

вых представителей средиземноморской фауны. Стадийность поступления средиземноморских вод в черноморскую котловину и постепенное увеличение его солености привели к последовательному распространению в черноморском бассейне средиземноморских видов моллюсков – от эвригалинных до умеренно эвригалинных и умеренно стеногалинных. Эта этапность ярко выражена в отложениях изученного нами керна. В развитии фауны Черного моря, согласно концепции П.В. Федорова [1978], можно выделить новочерноморский этап развития – этап повышенной солености и самого богатого биоразнообразия средиземноморских видов моллюсков. В строении керна также отражено это событие: наибольшее количество в осадках морских умеренно стеногалинных видов. Оно датировано нами в интервале от 6020 ± 140 до 5530 ± 120 календарных лет. Следует отметить выраженное в фаунистическом составе керна неустойчивое положение уровня моря, с разнонаправленными его колебаниями, на начальном этапе развития черноморской трансгрессии.

Залегающий выше по разрезу комплекс, состоящий только из раковин эвригалинных моллюсков, соотносится нами с фазой фанагорийской регрессии, во время которой произошло снижение уровня моря по разным оценкам на $-5 \dots -7$ м [Федоров, 1978], $-3 \dots -2$ м [Благоволин, 1960] с некоторым опреснением акватории Керченского пролива за счет увеличившегося влияния вод р. Дон. Возраст события составил 2570 ± 140 лет.

Современный этап развития Керченского пролива охарактеризован распространением в осадках раковин средиземноморских эвригалинных и умеренно стеногалинных видов.

Выводы.

На основании результатов палеогеографического изучения (фациально-литологический, малакофаунистический, радиоуглеродный анализы) керна четырех скважин, пробуренных на косе (острове) Тузла в ходе инженерно-изыскательских работ при проектировании Крымского моста, предложена схе-

ма эволюции природной среды Керченского пролива за последние 25 тысяч лет.

Выделены этапы:

- новозвксинский регрессивный этап. Азовское море представляло собой низменную прибрежную равнину, устье р. Дон располагалось в районе современной шельфовой зоны Черного моря. В районе современного пролива обитала пресноводная фауна. Этот этап развития Керченского пролива отвечает эпохе максимума поздневалдайского оледенения (МИС 2);

- новозвксинский трансгрессивный этап. Керченский пролив представлял собой бассейн лиманного типа с фауной, включающей пресноводные и каспийские слабосоленоводные виды. Присутствие последних свидетельствует о сбросе каспийских (хвалынских) вод в новозвксинский бассейн. Лиманный бассейн в области Керченского пролива существовал около $10\,110 \pm 330$ лет назад;

- этап снижения уровня новозвксинского бассейна при достижении им уровня Босфорского порога и стоке вод в Средиземноморский бассейн. Выдвижение дельты Дона, расселение пресноводных моллюсков;

- Черноморский трансгрессивный этап. Появление и расселение представителей средиземноморской фауны – от эвригалинных до умеренно эвригалинных и умеренно стеногалинных. Неустойчивое положение уровня моря с разнонаправленными его колебаниями на начальном подэтапе развития черноморской трансгрессии. Новочерноморский подэтап с уровнем моря на 2 м выше современного, повышенной соленостью и богатым биоразнообразием средиземноморских видов моллюсков; датирован интервалом от 6020 ± 140 до 5530 ± 120 лет;

- Фанагорийский регрессивный этап. Незначительное опреснение Керченского пролива за счет увеличившегося влияния вод р. Дон. Возраст события 2570 ± 140 лет;

- современный этап. Распространение средиземноморских эвригалинных и умеренно стеногалинных видов.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке Русского географического общества (проект № 03/2017-Р) и РФФИ (проект № 18-05-00296).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андрусов Н.И. Геологическое строение дна Керченского пролива // Изв. АН СССР. 1918. Сер. 6. Т. 12. № 1. С. 23–28.
Андрусов Н.И. Геологическое строение и история Керченского пролива // Бюл. МОИП. Отд. Геологии. 1926. Т. 4. № 3–4. С. 294–332.
Арсланов Х.А., Балабанов И.П., Гей Н.А. и др. Методы и результаты картирования и геохронологические привязки древних береговых линий на суше и шельфе Черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманского района // Колебания уровня морей и океанов за 15 000 лет. М.: Наука, 1982. С. 144–150.
Архангельский А.Д., Страхов Н.М. Геологическое строение и история развития Черного моря. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 226 с.

Барз И.М., Яловенко И.П., Яценко Ю.Г. Новые данные к истории геологического развития Керченского пролива // Стратиграфия кайнозоя Северного Причерноморья и Крыма. Днепропетровск, 1978. Вып. 2.
Благоволин Н.С. Происхождение и история развития Керченского пролива // Изв. Академии наук СССР. Сер. геоморфологическая. 1960. № 2. С. 105–109.
Геология шельфа Украины. Керченский пролив. Киев: Наукова думка, 1981. 186 с.
Гидрология дельты и устьевое взморье Кубани. М.: ГЕОС, 2010. 728 с.
Кайтамба М.Д. Изменение растительности Восточного Причерноморья в позднем неоплейстоцене и голоцене. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М., 2005. 27 с.

Конилов Е.Г. Колебания уровня Азово-Черноморского бассейна и миграции береговой линии в новозвксине и голоцене // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2005. № 2. С. 68–76.

Мордохай-Болтовской Ф.Д. Каспийская фауна в Азово-Черноморском бассейне. М.-Л.: Наука, 1960. 228 с.

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

Попов Г.И. Новые данные по стратиграфии четвертичных морских отложений Керченского пролива // Докл. АН СССР. 1973. Т. 213. № 4.

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

Попов Г.И., Супрунова Н.И. Стратиграфия четвертичных отложений дна Керченского пролива // Докл. АН СССР. 1977. Т. 237. № 5.

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

Скиба С.И., Щербаков Ф.А., Куприн П.Н. К палеогеографии Керченско-Таманского района в позднем плейстоцене и голоцене // Океанология. 1975. Т. XV. Вып. 5. С. 865–867.

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

Федоров П.В. Последлениковая трансгрессия Черного моря и проблема изменений уровня океана за последние 15 000 лет // Колебания уровня морей и океанов за 15 000 лет. М.: Наука, 1982. С. 151–156.

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

Шнюков А.Ф., Аленкин В.М., Григорьев А.В. и др. Геологическая история Керченского пролива в позднечетвертичное время // Позднечетвертичная история и седиментогенез окраинных и внутренних морей. М.: Наука, 1979. С. 161–173.

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

Dolukhanov P.M., Arslanov H.A. Ecological crises and early human migration in the Black Sea area // Quaternary International. 2009. V. 197. P. 35–42.

Esin N.V., Yanko-Hombach V. Mathematical model of the Late Pleistocene and Holocene transgressions of the Black Sea // Quaternary International. 2010. V. 225. P. 180–190.

Ryan W.B.F., Pitman III W.C., Major C.O., Shimkus K., Moskalenko V., Jones G.A., Dimitrov P., Gorur N., Sakic M., Yuce H. An abrupt downing of the Black Sea shelf // Marine geology. 1997. V. 138. P. 119–126.

Поступила в редакцию 20.11.2017

Принята к публикации 28.12.2017

D.V. Semikolennykh¹, Kh.A. Arslanov², E.I. Ignatov³, V.L. Luksha⁴

EVOLUTION OF NATURAL ENVIRONMENT OF THE KERCH STRAIT AREA DURING RECENT 25 THOUSAND YEARS

Evolution scheme of the natural environment of the Kerch Strait for recent 25,000 years has been proposed basing on the results of paleogeographic investigation (lithology-facial, malacofaunistic, radiocarbon analyzes) of the cores of four boreholes drilled on the Tuzla spit (island) during engineering and exploration work for the construction of the Crimean bridge. The principal stages are as follows: 1 – the New Euxinian regression, which corresponded to the Late Valdaj glacial period. The Azov Sea was lowland, the Don River estuary was situated within the modern Black Sea shelf zone and freshwater fauna inhabited the Kerch Strait; 2 – the New Euxinian transgression, which corresponded to the beginning of degradation of the Late Valdaj glaciation. The Kerch Strait was a lagoon-type basin with freshwater and slightly brackish-water mollusks indicating the discharge of the Caspian Sea (Khvalynian) waters into the New Euxinian basin. The lagoon-type basin in the area of the modern Kerch Strait existed about 10,110±330 years ago; 3 – the New Euxinian basin level decrease as a result of discharge of its water to the Mediterranean Sea when it reached the Bosphorus threshold. The extension of the Don River delta and the dispersal of freshwater mollusks; 4 – The Black Sea transgression characterized by the access and dispersal of the Mediterranean species, from euryhaline to moderately euryhaline and moderately stenohaline. Unstable sea level with various fluctuations at the initial sub-stage of the Black Sea transgression. The New Black Sea sub-stage with a sea level 2 m above the present-day one, increased salinity and rich biodiversity of Mediterranean species is dated between 6020±140 and 5530±120 years ago; 5 – the Phanagorian regression with insignificant desalination of the Kerch Strait due to increased influence of the Don River water. The age of the event is 2570±140 years; 6 – the modern stage characterized by the dispersal of Mediterranean euryhaline and moderately stenohaline species.

Key words: The Kerch Strait, transgressions, regressions, Late Pleistocene, Holocene, cores, malacofauna, radiocarbon dating.

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Geographical Society (project № 03/2017-P) and the Russian Foundation for Basic Research (project № 18-05-00296).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, master-student; e-mail: dasha.semikolennykh@gmail.com

² Saint-Petersburg State University, Institute of Earth Science, Laboratory of Geomorphologic and Paleogeographic Research of Polar Regions and the World Ocean, Chief specialist, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: arslanovkh@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Paleogeography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: ign38@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Department of Lithology and Marine Geology, Scientific Researcher; e-mail: paleo@inbox.ru

REFERENCES

- Andrusov N.I.* Geologicheskoe stroenie dna Kerchenskogo proliva [Geological structure of the Kerch Strait bottom] // *Izv. AN SSSR*. 1918. Ser. 6. T. 12. № 1. P. 23–28. (in Russian).
- Andrusov N.I.* Geologicheskoe stroenie i istoriya Kerchenskogo proliva [Geological structure and history of the Kerch Strait] // *Bull. MOIP. Otd. Geologii*. 1926. T. 4. № 3–4. P. 294–332 (in Russian).
- Arkhangelskij A.D., Strakhov N.M.* Geologicheskoe stroenie i istoriya razvitiya Chernogo morya [Geological structure and history of evolution of the Black Sea]. M.-L.: Izd-vo AN SSSR, 1938. 226 p. (in Russian).
- Arslanov Kh.A., Balabanov I.P., Gei N.A. et al.* Metody i rezultaty kartirovaniya i geokhronologicheskie privyazki drevnikh beregovykh liniy na sushe i shelfe Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i Kerchensko-Tamanskogo rajona [Methods and results of mapping and geochronological linkages of ancient coastlines on land and shelf of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch-Taman region] // *Kolebaniya urovnya morej i okeanov za 15 000 let*. Moscow: Nauka, 1982. P. 144–150 (in Russian).
- Barg I.M., Yalovenko I.P., Yatsenko Yu.G.* Novye dannye k istorii geologicheskogo razvitiya Kerchenskogo proliva [New data on the history of geological evolution of the Kerch Strait] // *Stratigrafiya kajnozoya Severnogo Prichernomor'ya i Kryma*. Dnepropetrovsk, 1978. V. 2 (in Russian).
- Blagovolin N.S.* Proiskhozhdenie i istoriya razvitiya Kerchenskogo proliva [Origin and history of the evolution of the Kerch Strait] // *Izv. Akademii nauk SSSR, ser. geomorfologicheskaya*. 1960. Iss. № 2. P. 105–109 (in Russian).
- Dolukhanov P.M., Arslanov H.A.* Ecological crises and early human migration in the Black Sea area // *Quaternary International*. 2009. V. 197. P. 35–42.
- Esin N.V., Yanko-Hombach V.* Mathematical model of the Late Pleistocene and Holocene transgressions of the Black Sea // *Quaternary International* 2010. V. 225. P. 180–190.
- Fedorov P.V.* Plejstocen Ponto-Kaspiya [The Ponto-Caspian Pleistocene]. M.: Nauka, 1978. 165 p. (in Russian).
- Fedorov P.V.* Poslednikovaya transgressiya Chernogo morya i problema izmenenij urovnya okeana za poslednie 15 000 let [Post-glacial transgression of the Black Sea and the problem of sea level changes during the last 15 000 years] // *Kolebaniya urovnya morej i okeanov za 15 000 let*. M.: Nauka, 1982. P. 151–156 (in Russian).
- Fedorov P.V.* Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenij Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ya i nekotorye voprosy geologicheskoy istorii Chernogo morya [Stratigraphy of Quaternary deposits of the Crimean-Caucasian coast and some questions of the geological history of the Black Sea] // *Tr. GIN AN SSSR*. M.: Nauka, 1963. 157 p. (in Russian).
- Geologiya shelfa Ukrainy. Kerchenskij proliv* [Geology of the shelf of Ukraine. The Kerch Strait] / Ed. by A.F. Shnyukov. K.: Naukova dumka, 1981. 186 p. (in Russian).
- Gidrologiya delty i ust'evogo vzmor'ya Kubani* [Hydrology of the delta and offshore of the Kuban River] / Ed. by V.N. Mikhailov. M.: GEOS, 2010. 728 p. (in Russian).
- Kaitamba M.D.* Izmenenie rastitel'nosti Vostochnogo Prichernomor'ya v pozdnem neopleistocene i golocene [Vegetation changes in the Eastern Black Sea area during the Late Neopleistocene and Holocene]. Avtoref. dis. ... cand. geogr. n. Moscow. 2005 (in Russian).
- Konikov E.G.* Kolebaniya urovnya Azovo-Chernomorskogo bassejna i migratsii beregovoy linii v novoevksine i golocene [Fluctuations of the level of the Azov-Black Sea basin and shoreline migrations during the New Euxine and Holocene] // *Geologiya i mineralnye resursy okeana*. 2005. № 2. P. 68–76 (in Russian).
- Mordukhai-Boltovskoi F.D.* Kaspijskaya fauna v Azovo-Chernomorskom bassejne [Caspian fauna in the Azov-Black Sea basin]. M.-L.: Nauka, 1960. 228 p. (in Russian).
- Neveskaya L.A.* Pozdnechetvertichnye dvustvorchatye mollyuski Chernogo morya, ikh sistematika i ekologiya [Late Quaternary bivalves of the Black Sea, their systematics and ecology] // *Tr. Paleontologicheskogo Instituta Akademii Nauk SSSR*. M.: Nauka, 1965. 392 p. (in Russian).
- Popov G.I.* Novye dannye po stratigraphii chetvertichnykh morskikh otlozhenij Kerchenskogo proliva [New data on the stratigraphy of Quaternary marine sediments of the Kerch Strait] // *Doklady AN SSSR*. 1973. T. 213. № 4 (in Russian).
- Popov G.I.* Plejstocen Chernomorsko-Kaspijskikh proливov [Pleistocene of the Black Sea-Caspian Straits]. M.: Nauka, 1983. 216 p. (in Russian).
- Popov G.I., Suprunova N.I.* Stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenij dna Kerchenskogo proliva [Stratigraphy of Quaternary deposits of the Kerch Strait bottom] // *Doklady AN SSSR*. 1977. T. 237. № 5 (in Russian).
- Ryan W.B.F., Pitman III W.C., Major C.O., Shimkus K., Moskalenko V., Jones G.A., Dimitrov P., Gorur N., Sakic M., Yuce H.* An abrupt downing of the Black Sea shelf // *Marine geology*. 1997. V. 138. P. 119–126.
- Shnyukov A.F., Alenkin V.M., Grigoriev A.V. et al.* Geologicheskaya istoriya Kerchenskogo proliva v pozdnechetvertichnoe vremya [Geological history of the Kerch Strait in the Late Quaternary] // *Pozdnechetvertichnaya istoriya i sedimentogenez okrainnykh i vnutrennikh morei*. M.: Nauka, 1979. P. 161–173 (in Russian).
- Skiba S.I., Shherbakov F.A., Kuprin P.N.* K paleogeografii Kerchensko-Tamanskogo rajona v pozdnem plejstocene i golocene [To the paleogeography of the Kerch-Taman region in the Late Pleistocene and Holocene] // *Okeanologiya*. 1975. T. XV. V. 5. P. 865–867 (in Russian).
- Svitoch A.A., Selivanov A.O., Yanina T.A.* Paleogeograficheskie sobytiya plejstocena Ponto-Kaspiya i Sredizemnomor'ya (materialy po rekonstrukcii i korrelyacii) [Pleistocene paleogeographic events of the Ponto-Caspian and the Mediterranean (materials for reconstruction and correlation)]. M.: RASKHN, 1998. 288 p. (in Russian).
- Yanina T.A.* Neoplejstocen Ponto-Kaspiya: biostratigrafiya, paleogeografiya, korrelyaciya [Neopleistocene of the Ponto-Caspian: biostratigraphy, paleogeography, correlation]. Moscow: MGU, 2012. 264 p. (in Russian).

Received 20.11.2017

Accepted 28.12.2017

УДК 911.2(574.2)

А.В. Хорошев¹, К.А. Ткач², Д.У. Муртазина³

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНЫХ УСЛОВИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В СТЕПНОЙ ЗОНЕ СЕВЕРНОГО КАЗАХСТАНА

Обоснована конструктивность представления об эмерджентных эффектах, возникающих в результате взаимодействия ландшафтных единиц при сельскохозяйственном планировании. Проверена гипотеза о значимости пропорции доминантных и субдоминантных урочищ полевого участка для урожайности зерновых культур и их межгодовой динамики. Для двух участков в поясе умеренно засушливых степей Северного Казахстана исследованы результаты синергического взаимодействия плоских поверхностей, западин, ложбин с формированием того или иного уровня грунтовых вод, обеспечивающим избыточную, оптимальную или недостаточную влагообеспеченность. Рассчитаны коэффициенты корреляции между урожайностью и долей каждого вида субдоминантного урочища за сухие и влажные годы, установлена зависимость величин урожайности и ее изменчивости от классов ландшафтной структуры. Наличие западин на плоских поверхностях обеспечивает накопление влаги и диффузию ее на примыкающие урочища, что способствует повышению урожайности в засушливые годы, но может понижать ее во влажные годы. Повышенная доля ложбин на слабосклонных склонах вызывает отток дефицитной влаги и элементов минерального питания в весенний период и способствует снижению урожайности в засушливые годы. Мозаичность ландшафтной структуры на полях с повышенной долей западин или ложбин способствует росту межгодовой изменчивости урожайности.

Ключевые слова: степь, ландшафт, пространственная структура, пропорции, урожайность, изменчивость, влажность.

Введение. Вопрос о связи между пространственной структурой ландшафта и урожайностью представляет практический интерес для сельскохозяйственной науки и фундаментальный – для ландшафтоведения. В сельскохозяйственной литературе подробно освещается влияние рельефа на урожайность. Как правило, основное внимание уделяется либо варьированию урожайности в зависимости от принадлежности поля к форме мезорельефа и ее соларной экспозиции [Половинко, 2010; Шарый с соавт., 2011; Абдулвалеев, Троц, 2015], либо варьированию урожайности внутри поля, неоднородного по микрорельефу [Внутрипольная ..., 2000; Шпедт, Никитина, 2008; Капустянчик, Добротворская, 2011; Капустянчик, 2014]. Внутрипольная неоднородность подробно исследуется в связи с организацией точного земледелия [Усовершенствованные ..., 2010]. Обращается внимание, что закономерность зависимости урожайности от рельефа и структуры почвенного покрова неодинакова в годы с разными погодными условиями, для степной зоны, прежде всего, – в зависимости от увлажнения [Якушева, 2013]. Для засушливых условий установлено, например, что в ложбинах урожайность увеличивается в сухие годы, но уменьшается во влажные [Шпедт, Пурлаур, 2008]. Для черноземной зоны выявлено различие режима влажности в течение вегетационного периода в дренируемых и слабодренируемых понижениях: последние сохраняют влагу в течение всего сезона [Куст с соавт., 2010].

Для снижения рисков, порождаемых неоднородностью почвенно-геоморфологических условий, была разработана концепция формирования высокопродуктивных экологически устойчивых агроландшафтов и совершенствования систем земледелия на ландшафтной основе [Каштанов, 1992; Лопырев, 1995]. В адаптивно-ландшафтной системе земледелия проблема неоднородности почвенного покрова внутри больших полей и сопутствующей пестроты урожайности решается двумя способами: выведением контрастных участков в иной тип использования или дифференциацией технологий применительно к участкам с различными условиями в границах одного производственного поля; предлагается изменение границ полей в соответствии с границами агроэкологических групп земель [Киришин, 2011; Власенко, Добротворская, 2013]. С другой стороны, монотонность ландшафта благоприятствует «разгоняющимся» потокам ветра и воды и, как следствие, развитию эрозии и дефляции при распашке, что вынуждает разрабатывать специальные системы технологических мер (например, [Бараев с соавт., 1963]).

Критерии рациональной пространственной организации угодий не вполне совпадают в науке о ландшафте и в земледелии. С точки зрения ландшафтного планирования оптимальная пространственная организация землепользования должна максимально соответствовать ландшафтной структуре [Хорошев, 2012]. Единый способ землепользования предпочтительно выбирать для морфологической еди-

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, докт. геогр. н.; e-mail: avkh1970@yandex.ru

² Международный научный комплекс «Астана», г. Астана, Казахстан, мл. науч. с.; e-mail: karinatkach@mail.ru

³ Университет Теннесси, Ноксвилль, США, аспирант; e-mail: murtazinadiliya@gmail.com

ницы ранга урочища или подурочища. С точки зрения земледелия оптимальные размеры полевых участков нередко превышают размеры урочищ и вынуждены охватывать целый ряд урочищ, существенно различных по плодородию, например – плоскую водораздельную поверхность, склон долины, делювиальный шлейф и террасу. С другой стороны, внутриурочищное разнообразие может создавать помехи для корректного расчета урожайности, норм внесения удобрений, затрат горючего и т. д.

Получается, на первый взгляд, что на применимость ландшафтной информации к сельскохозяйственному планированию накладываются серьезные ограничения. Однако конструктивное значение ландшафтоведения не сводится только к выявлению границ урочищ и подурочищ. *Цель данного исследования* – обосновать значимость эмерджентных эффектов, возникающих в результате взаимодействия ландшафтных единиц, для сельскохозяйственного планирования. В качестве эмерджентного эффекта в данном случае рассматривается урожайность сельскохозяйственных культур на полевых участках. По нашей гипотезе, она определяется не только свойствами рельефа и почв, но и особыми свойствами, которые не присущи каждому пространственному элементу по отдельности, а возникают только как следствие их взаимодействия между собой. Например, определенная пропорция и взаиморасположение урочищ или фаций с вогнутым, выпуклым и ровным рельефом может контролировать целый ряд эмерджентных свойств геосистемы более высокого ранга: уровень грунтовых вод, распределение снежного покрова, распределение температур, жизнеспособность популяций животных (как «вредных» для сельскохозяйственных культур грызунов, так и контролирующих их численность «полезных» хищников).

Перечисленные проблемы, хорошо известные в земледелии, перекликаются с одной из наиболее важных фундаментальных проблем, находящихся в сфере интересов и компетенции ландшафтоведения как науки о природных системах. Выявление эмерджентного эффекта, по мнению авторов, составляет «привилегированную» задачу ландшафтоведения в сравнении, например, с задачами агропочвоведения и агрохимии, которые в большинстве случаев вполне могут обойтись без привлечения ландшафтоведческой информации при определении пригодности земель для той или иной культуры и выборе приемлемых технологий. Ландшафтоведение же со своей стороны должно давать оценки земель, определяемые пропорциями, взаиморасположением, конфигурацией, размерами соседствующих ландшафтных комплексов внутри полевого участка или сельскохозяйственного предприятия.

Исходное теоретическое положение заключается в следующем. Свойства пространственной единицы ландшафта являются результатом синергизма во взаимодействиях группы ее пространственных элементов, упорядоченных в разные типы ландшафтных структур. Для того чтобы установить наличие

эмерджентного эффекта необходимо иметь данные измерения одного и того же показателя, отнесенного к единице площади, но при репрезентативном ряде разнообразных сочетаний пространственных элементов внутри этой площади. Удобным объектом являются измерения урожайности на полевых участках примерно одинакового размера в пределах генетически единого ландшафта с резким доминированием плоских водораздельных поверхностей, но с варьирующим в пространстве набором субдоминантных урочищ. Предполагается, что и межгодовая изменчивость урожайности зерновых культур также может зависеть от пропорции доминантных и субдоминантных фаций в пределах полевого участка.

Задача исследования – проверить гипотезу о значимости внутриполевой ландшафтной структуры для урожайности зерновых культур и их межгодовой динамики. Предполагается, что наличие субдоминантных урочищ (западин, ложбин, солонцов) оказывает влияние на урожайность примыкающих к ним или расположенных на них полей.

Материалы и методы. Исследование проведено для двух участков в поясе умеренно засушливых степей Северного Казахстана, расположенных в Костанайской и Акмолинской областях (рис. 1).

В Костанайской области участок «Перелески» расположен в Денисовском районе на территории ТОО «Сарыагаш», которое предоставило данные по урожайности зерновых культур за 2006–2012 гг. в пределах каждого поля (всего 60 полей). Участок расположен в восточной части Зауральской засушливой степной равнинной области в ландшафте озерно-аллювиальной плоской, местами волнистой равнины, с озерными котловинами, сложенной лессовидными суглинками и глинами, с разнотравно-красноковыльной растительностью на черноземах южных солонцеватых с луговыми почвами. Основную массу травостоя нераспаханных участков (в большинстве случаев до 10% площади полевого участка, изредка – до 30%) составляют ковыль Лессинга, ковыль тырса, ковыль красный, тонконог стройный, типчак, полны австрийская и белая. К пониженным участкам, где грунтовые воды находятся на глубине 3–6 м, приурочены черноземы луговые и лугово-черноземные почвы под разнотравно-ковыльно-типчакowymi и пырейными сообществами. Солонцы и темно-каштановые лугово-черноземные почвы редко залегают сплошными массивами, являются составными частями комплексов, состоящих из различных типов почв.

Урожайность зерновых составляет в среднем 14,7 ц/га с варьированием по годам от 9 до 23 ц/га. Урожайность 10 ц/га считается вполне приемлемой. Хозяйство применяет четырехпольный севооборот (поля по 570 га): пар – яровая пшеница – однолетние бобовые или бобово-злаковые на сено и зерно – яровая пшеница.

В Акмолинской области исследование проведено для модельного участка «Капитоновка» на территории Буландинского района (сельхозформирование Журавлевка-1). Сельхозформирование предос-

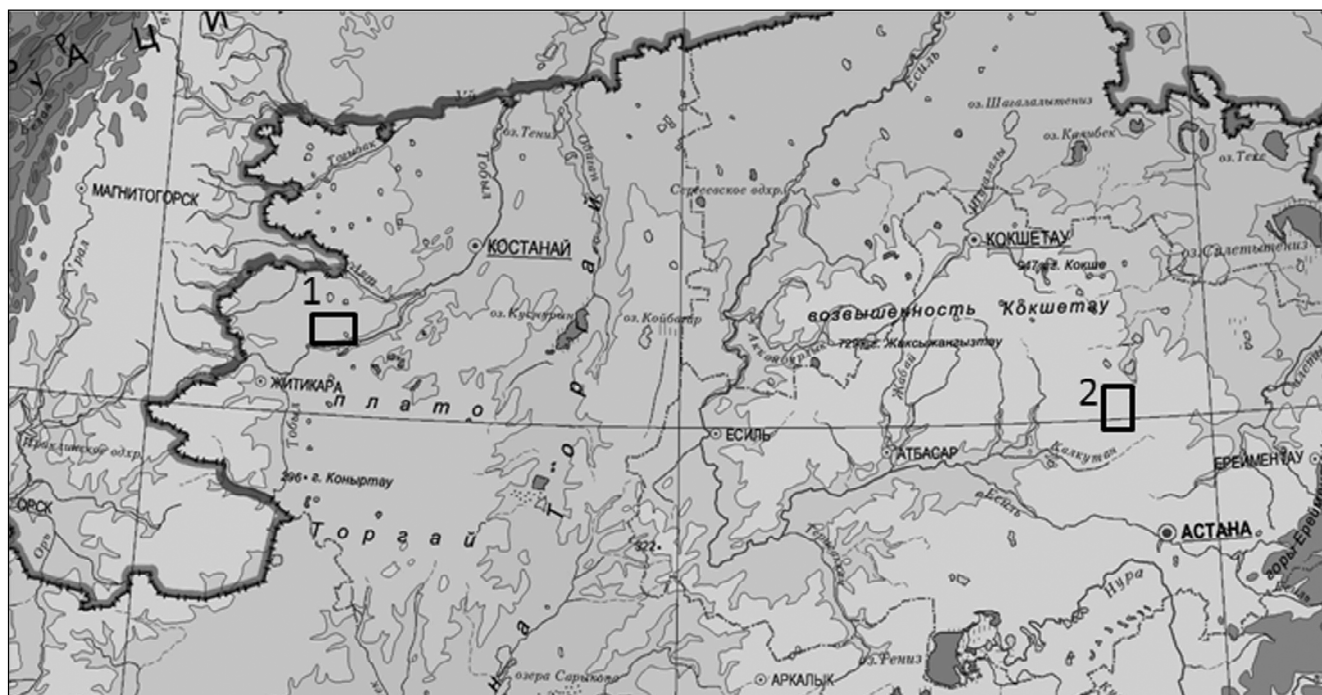


Рис. 1. Положение участков исследования: 1 – «Перелески», Костанайская область; 2 – «Капитоновка», Акмолинская область

Fig. 1. Location of study areas: 1 – «Pereleski», Kostanay region; 2 – «Kapitonovka», Akmolinsk region

тавило данные по урожайности зерновых культур за пять лет (2009–2013 гг.) в пределах каждого поля (всего 78 полей). Территория принадлежит ландшафту озерно-аллювиальной слабобрасчлененной равнины, сложенной глинами, перекрытыми четвертичными желто-бурыми лёссовидными суглинками, на черноземах южных карбонатных тяжелосуглинистых, в прошлом – под разнотравно-красноковыльной степью. На слабополгих склонах имеют небольшое распространение черноземы малогумусные карбонатные тяжелосуглинистые хрящеватые. По западинам, образующим пятнистый рисунок, встречаются лугово-черноземные тяжелосуглинистые почвы. На восьми полях присутствуют нераспахиваемые западины, занимающие от 0,5 до 4% площади поля, на 11 полях – распахиваемые (от 0,1 до 12% площади). Пологие склоны долин местами прорезаны неглубокими ложбинами; только на трех полях они остаются нераспаханными (3, 10 и 20% площади поля соответственно), а на 44 полях распахиваются (0,1–15%). Средняя урожайность пшеницы по хозяйству 13,4 ц/га с варьированием по годам от 8 до 22 ц/га.

Проверялась гипотеза о синергическом взаимодействии доминантных и субдоминантных фаций с формированием того или иного уровня грунтовых вод, обеспечивающим избыточную, оптимальную или недостаточную влагообеспеченность. Исследована серия полевых участков, отличающихся по доле суффозионных западин на плоских междуречных поверхностях, либо эрозионных ложбин на слабополгих склонах.

По данным личных наблюдений авторов, почвенной и топографической карты, интервью с аг-

рономами хозяйств, материалам дешифрирования и классификации многоканальных космических снимков были созданы карты урочищ. Для уточнения содержания контуров произведен расчет индекса NDVI, отражающего продуктивность, которая в степных условиях тесно связана с режимом увлажнения и засоленности.

Для каждого из двух участков проверялись гипотезы о зависимости урожайности пшеницы от доли площади полевого участка, занятого субдоминантными урочищами на фоне доминантных урочищ плоской озерно-аллювиальной равнины. Для участка «Перелески» рассматривались следующие виды субдоминантных урочищ: кластеры западин с периодическим переувлажнением; западины с галофитной растительностью на солончах; западины с лугами; западины с лугами, осложненными заболоченными микрозападинами; бугры. Для участка «Капитоновка» рассматривались урочища ложбин и замкнутых западин. Часть мелких субдоминантных урочищ при ведении посевных работ распахивается.

Средствами программы Statistica 7.0 рассчитаны параметрический (Пирсона) и непараметрический (Спирмена) коэффициенты корреляции между урожайностью и долей каждого вида субдоминантного урочища за каждый год.

Методом к-средних и вручную все полевые участки объединены в несколько классов по соотношению доминантных и разнотипных субдоминантных урочищ для проверки гипотезы о зависимости урожайности не только от доли субдоминантных урочищ конкретного вида, а от эмерджентного эффекта их взаимодействия (см. подписи к рис. 2).

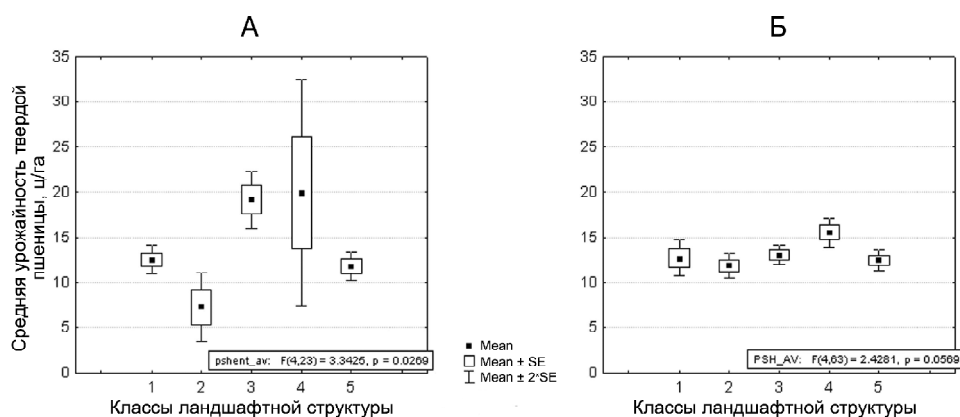


Рис. 2. Варьирование среднемноголетней урожайности твердой пшеницы в зависимости от ландшафтной структуры полевых участков: А – «Перелески», классы структуры: 1 – повышенная доля солонцовых западин; 2 – высокая доля плоских поверхностей при повышенной доле солонцовых западин; 3 – максимальная доля плоских поверхностей при небольшой доле переувлажненных западин; 4 – максимальная доля переувлажненных западин; 5 – максимальная доля солонцовых западин; Б – «Капитоновка», классы структуры: 1 – максимальная доля ложбин, минимальная – западин; 2 – высокая доля ложбин при отсутствии водосборных понижений, с небольшой долей западин; 3 – повышенная доля ложбин и водосборных понижений с небольшой долей западин; 4 – максимальная доля западин и водосборных понижений; 5 – плоские поверхности

Fig. 2. Variability of durum wheat average productivity depending on landscape pattern within a field. А – «Pereleski», pattern classes: 1 – larger proportion of solonets depressions; 2 – high proportion of flat surfaces with larger proportion of solonets depressions; 3 – maximum proportion of flat surfaces with low proportion of humid depressions; 4 – maximum proportion of humid depressions; 5 – maximum proportion of solonets depressions. Б – «Kapitonovka», pattern classes: 1 – maximum proportion of narrow gullies, minimum of depressions; 2 – high proportion of narrow gullies, absence of drained depressions, low proportion of non-drained depressions; 3 – larger proportion of narrow gullies and drained depressions with low proportion of non-drained depressions; 4 – maximum proportion of non-drained and drained depressions; 5 – flat surfaces

Для проверки гипотезы о влиянии ландшафтной структуры на изменчивость урожайности полевые участки разделены на классы стабильности: 1 – поля с урожайностью устойчиво выше средней по хозяйству; 2 – поля с высокой изменчивостью от года к году; 3 – поля с устойчиво средней урожайностью, никогда не достигающей максимальных или минимальных значений по хозяйству; 4 – поля с урожайностью устойчиво ниже средней, в некоторые годы минимальной, по хозяйству. Таким способом оценивалась степень вовлеченности исследуемой пространственной единицы в процессы, характерные для геосистемы вышестоящего ранга, в зависимости от условий года, то есть оценена межгодовая устойчивость межуровневых связей.

Выдвинутые гипотезы о причинах изменчивости урожайности проверялись путем построения регрессионных и дисперсионных моделей. В первом случае в качестве зависимых переменных выступала урожайность конкретного года; в качестве независимых – доли субдоминантных урочищ. В случае дисперсионного анализа как группирующие переменные использовались классы пространственной структуры или стабильности урожая.

Результаты. Для участка «Перелески» зависимость урожайности от доли доминантных урочищ плоских водораздельных поверхностей выявлена для твердой пшеницы в отдельные годы. Например, положительная зависимость проявлялась в умеренно влажном и умеренно холодном 2007 г. с коэффициентом корреляции Спирмена (ККС) 0,57. При доле доминантных плакорных урочищ менее 60% исклю-

чена урожайность выше 14 ц/га, что позволяет считать такую долю критическим значением. Для мягкой пшеницы доля доминантных урочищ не имеет определяющего значения: на урожайность влияют факторы, не связанные с ландшафтной структурой – внесение удобрений, микрорельеф, способы обработки почвы и т. п.

Установлена прямая положительная связь между долей луговых суффузионных западин и урожайностью. В сухом и очень теплом 2008 г. урожайность твердой и мягкой пшеницы близкая к среднемноголетней (12–14 ц/га) наблюдалась только на полях с повышенной (5–25%) долей луговых западин; поля без луговых западин дали более низкую урожайность 4–11 ц/га; ККС 0,36 (рис. 3, А). В прохладном и влажном 2011 г. урожайность на полях с луговыми западинами – 26–30 ц/га, то есть существенно выше средней по хозяйству. В экстремально жарком и сухом 2010 г. поля с западинами имели урожайность мягкой пшеницы не ниже 8 ц/га (выше средней для года по хозяйству), поля без западин 4–7 ц/га.

Гипотеза о зависимости урожайности от доли солонцовых западин была подтверждена для твердой пшеницы: присутствие солонцов снижает урожайность (ККС –0,55; выше среднемноголетней (14 ц/га) она может быть только при их отсутствии (рис. 3, Б). Для мягкой пшеницы, при отсутствии достоверной зависимости от доли солонцовых западин, повышенной урожайностью выделяются поля, расположенные в западной части территории, где в почвенных комплексах доля солонцов понижена. Наиболее высокая урожайность (19 ц/га и бо-

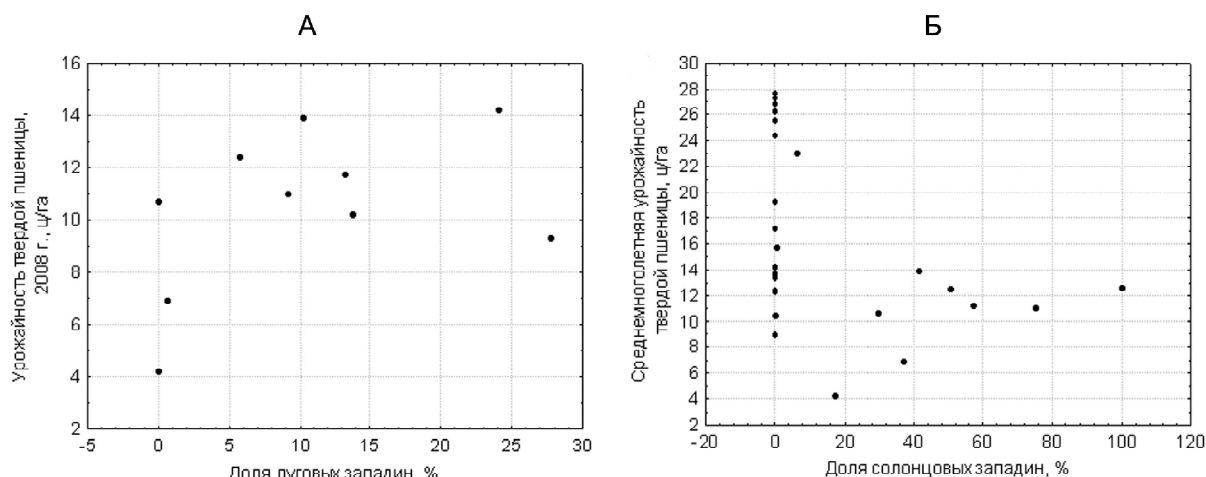


Рис. 3. Зависимость урожайности твердой пшеницы от доли урочищ луговых западин (А) и от доли солонцовых западин (Б) на полевом участке «Перелески», Костанайская область

Fig. 3. Dependence of durum wheat productivity on the proportion of meadow depressions (А) and solonets depressions (Б) within a field «Pereleski», Kostanay region

лее) характерна для полевых участков с преобладанием доминантных урочищ и кластеров западин с периодическим переувлажнением, западин с лугами, осложненными заболоченными микрозападинами (рис. 2, А). Понижена урожайность твердой пшеницы обычно при повышенной доле солонцовых урочищ.

Анализ ландшафтной структуры для классов стабильности показал, что поля с устойчиво высокой урожайностью выделяются минимальной долей заболоченных западин. Группа полей с устойчиво низкой урожайностью, наоборот, характеризуется повышенной долей заболоченных западин. Доля солонцовых и луговых западин не влияет на изменчивость урожайности во времени.

Для участка «Капитоновка» в сухом и очень теплом 2012 г. при повышенной доле западин и во-

досборных понижений исключалась урожайность ниже 10 ц/га (рис. 4, А), но урожайность падала с увеличением доли ложбин при ККС $-0,29$ (рис. 4, Б). Повышенная урожайность была характерна для полей с большой долей западин, минимальная – с малой долей западин и отсутствием водосборных понижений (рис. 2, Б). Анализ совместной встречаемости классов стабильности урожайности и классов пространственной структуры показал следующее. Из 67 полей почти половина (30) характеризуется высокими колебаниями урожайности, то есть в зависимости от погодных условий конкретного года урожайность может быть как существенно ниже, так и существенно выше средней по хозяйству. Только 7 полей во все годы имели урожайность существенно выше средней. Наибольшая встречаемость полей с высокой урожайностью наблюдается при мо-

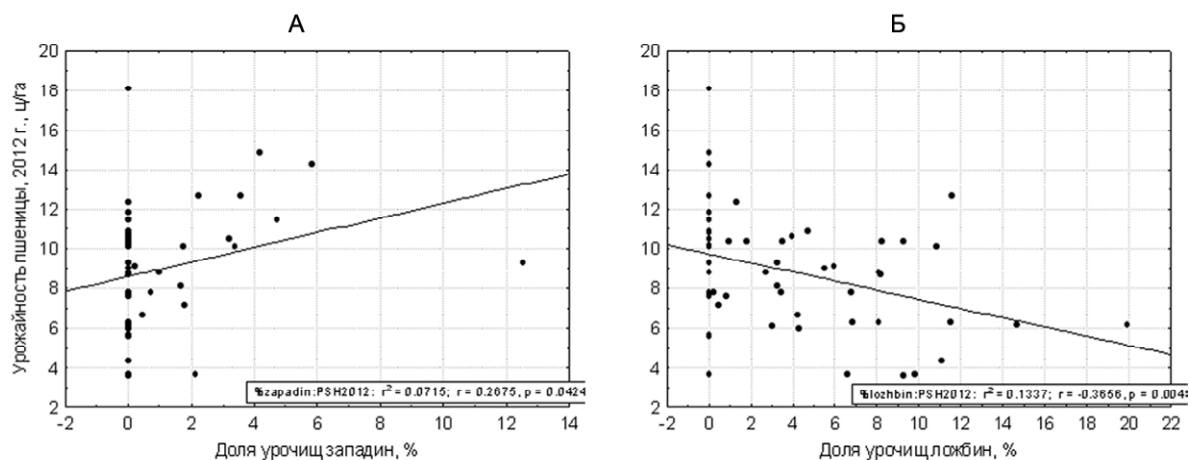


Рис. 4. Зависимость урожайности пшеницы в 2012 г. от доли западин (А) и ложбин (Б) от площади полевого участка на участке «Капитоновка», Акмолинская область

Fig. 4. Dependence of wheat productivity in 2012 on the proportion of depressions (А) and narrow gullies (Б) in relation to field area. «Kapitonovka», Akmolinsk region

нодоминантной ландшафтной структуре, наименьшая – на полях с западинами. Наибольшая встречаемость полей с низкой урожайностью наблюдается при доле ложбин более 10%. При большой доле западин и минимальной доле других субдоминантных урочищ поля не могут попадать в группу с устойчиво низкой урожайностью, но изменчивость урожайности высокая, что связывается с повышенной зависимостью от погодных условий года. Поля на плоских поверхностях без ложбин имели в 2010, 2012, 2013 гг. тем большую урожайность, чем большую долю поверхности занимали замкнутые западины (с разницей в 2–3 раза). Однако в 2011 г. с оптимальными погодными условиями и максимальной средней урожайностью рост доли западин не давал заметного прироста урожайности. Стабильно средняя урожайность наиболее характерна для полей с небольшой долей ложбин (до 8%). При доле ложбин 10–22% повышается риск минимальных урожаев. Поля со значительными колебаниями урожайности от года к году чаще всего встречаются либо на плоских поверхностях, либо при доле ложбин до 8%. При доле ложбин более 10% в годы с любыми погодными условиями наличие на поле еще и западин способствовало повышению урожайности. В годы с низкой урожайностью (2010, 2012, 2013) доля ложбин более 10% исключала урожайность выше средней, в отличие от полей с меньшей долей ложбин. При максимальной урожайности прохладного и влажного 2011 г., наоборот, высокая доля ложбин способствовала высокой урожайности выше средней на всех полях. Среди полей с низкой долей ложбин (менее 8%) при повышенной доле западин урожайность была ниже, чем при отсутствии западин.

Обсуждение результатов. Урожайность зерновых культур в степях Северного Казахстана зависит от количественного соотношения урочищ, способных рассеивать либо накапливать влагу. Ландшафтной структурой полевых участков в большой степени определяется как пространственная, так и временная вариабельность урожайности пшеницы. Полученные результаты позволяют представить механизмы зависимости продуктивности от ландшафтной структуры.

В степных ландшафтах континентальных регионов с характерным риском засух и высокой зависимостью урожайности от влажности почв принципиальное значение имеет распределение снежного покрова, который контролирует глубину промерзания почв, время готовности почв к посеву, обеспеченность почв влагой на жаркий период. Сдувание снега зимой в понижения может иметь негативное значение для урожайности плоских и выпуклых участков. Если отрицательные формы рельефа незамкнуты (то есть представляют собой эрозионные формы), то накопившийся за зиму снег весной быстро уходит по ним с полей по еще не оттаявшей почве: механизм задержки снеговой влаги на летний период отсутствует. В период весеннего снеготаяния вынос с полей влаги по ложбинам может одновременно вызывать дефицит элементов минераль-

ного питания, внесенных с удобрениями. Поэтому наличие ложбин в пределах слабонаклонного полевого участка (более 10% его площади) является значимым фактором снижения урожайности. С другой стороны, возможен и позитивный микроклиматический эффект: повторяемость заморозков на полях зависит от наличия, количества и размеров ложбин, способных принять холодный воздух и отвести его ниже по рельефу в долины. Видимо, это одна из причин, по которой в наиболее прохладном 2011 г. урожайность выше средней наблюдалась на всех полях с долей ложбин более 10%, а при меньшей доле ложбин варьировала в значительно более широком диапазоне значений.

Замкнутые понижения (западины) способны накапливать снеговую влагу, что поддерживает благоприятный уровень грунтовых вод в соседних распахиваемых урочищах при отсутствии явных уклонов. Это происходит за счет диффузии вод из западин. Это один из важных механизмов латеральных связей, создающий эмерджентный эффект для группы урочищ в пределах полевого участка. Наличие западин на полях не гарантирует стабильно высокий урожай. Однако в случае засушливого лета дополнительный запас влаги обеспечивает повышение урожайности по сравнению с полями без западин. Во влажные прохладные годы (что в целом благоприятно для земледелия в Казахстане) этот эффект не столь заметен. В экстремально влажный год при большой доле западин урожайность может даже снижаться за счет фильтрации избыточной влаги за их пределы. Если в западинах присутствуют озера, то, как правило, близ озер наблюдаются комплексы засоленных почв, которые негативно влияют на урожайность пшеницы. При повышенной доле солонцовых западин урожайность как мягкой, так и твердой пшеницы сильно снижается.

Наиболее благоприятные условия для стабильно высоких показателей урожайности твердой пшеницы преимущественно складываются на полях с доминированием урочищ плоской, местами волнистой равнины без солонцов и западин, однако сам факт плоского рельефа не означает обязательности высокой урожайности.

Выводы:

– пространственная и временная изменчивость урожайности пшеницы в степях Северного Казахстана определяется ландшафтной структурой полей; латеральное взаимодействие урочищ создает эмерджентный эффект накопления или оттока влаги;

– наличие западин на плоских поверхностях обеспечивает накопление влаги в периоды снеготаяния и летних дождей и диффузию ее на примыкающие урочища, что способствует увеличению урожайности в засушливые годы, но может уменьшать ее во влажные годы;

– повышенная доля ложбин на слабопологих склонах вызывает отток дефицитной влаги и элементов минерального питания в весенний период и способствует уменьшению урожайности в засушливые годы;

– сложная ландшафтная структура на полях с повышенной долей западин или ложбин способствует росту межгодовой изменчивости урожайности;

поля с плоским рельефом без субдоминантных урочищ чаще характеризуются более стабильно высокой урожайностью.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект № 17-05-00447). Авторы благодарят сотрудников сельхозформирования Журавлевка-1 и ТОО «Сарыагаш» за предоставленные данные по урожайности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдулвалеев Р.Р., Троц В.Б. Влияние рельефа на режим увлажнения почвы и урожайность яровой пшеницы и ячменя // *Зерновое хозяйство России*. 2015. № 3. С. 57–60.
- Бараев А.И., Зайцева А.А., Госсен Э.Ф. Борьба с ветровой эрозией почв. Алма-Ата: Казсельхозгиз, 1963. 35 с.
- Власенко А.Н., Доброворская Н.И. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия (опыт проектирования) // *Инновации и продовольственная безопасность*. 2013. № 1. С. 136–142.
- Внутрипольная пестрота почвенного покрова и урожайность в центре Черноземной зоны России. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2000. С. 330–362.
- Воропаев В.В., Лекомцев П.В., Якушева О.И. Управление продуктивностью и качеством зерна яровой пшеницы на фоне почвенной неоднородности // *Методическое и экспериментальное обеспечение адаптивно-ландшафтных систем земледелия*. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН. 2007. 264 с.
- Капустянич С.Ю. Ландшафтный подход в оценке агроценоза яровой пшеницы // *Пермский аграрный вестник*. 2014. № 2(6). С. 18–23.
- Капустянич С.Ю., Доброворская Н.И. Микроклимат почв и урожайность яровой пшеницы в плакорном микрозападном агроландшафте // *Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та*. 2011. № 2(88). С. 32–35.
- Капитанов А.Н. Концепция ландшафтной контурно-мелиоративной системы земледелия // *Земледелие*. 1992. № 4. С. 2–5.
- Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 443 с.
- Куст Г.С., Розов С.Ю., Кутузова Н.Д. Агрогенная деградация черноземов как причина развития почвенной засухи, сни-

- жающей продуктивность сельскохозяйственных культур // *Аридные экосистемы*. 2010. Т. 16. № 1(41). С. 16–27.
- Лопырев М.И. Основы агроландшафтоведения. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1995. 182 с.
- Половинко В.В. Ландшафтно-экологические основы оптимизации землепользования на разных иерархических территориальных уровнях его организации. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. Белгород, 2010. 23 с.
- Усовершенствованные теоретические и практические основы формирования пространственно-дифференцированных технологий точного земледелия. Курск: ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2010. 65 с.
- Хорошев А.В. Географическая концепция ландшафтного планирования // *Изв. РАН. Сер. географическая*. 2012. № 4. С. 103–112.
- Шарый П.А., Рухович О.В., Шарая Л.С. Методология анализа пространственной изменчивости характеристик урожайности пшеницы в зависимости от условий агроландшафта // *Агрохимия*. 2011. № 11. С. 57–81.
- Шнедт А.А., Никитина В.И. Агрохимические свойства чернозема и продуктивность зерновых культур в условиях микрорельефа // *Аграрный вестник Урала*. 2008. № 7(49). С. 36–38.
- Шнедт А.А., Пурлаур В.К. Влияние мезорельефа на урожайность и качество зерновых культур // *Вестник Алтайского гос. аграрного ун-та*. 2008. № 5(43). С. 18–22.
- Якушева О.И. Влияние внутрипольной почвенной неоднородности и уровня интенсификации агротехнологий на урожайность яровой пшеницы. Автореф. дис. ... канд. с.-х. н. СПб, 2013. 24 с.

Поступила в редакцию 08.09.2017
Принята к публикации 28.12.2017

A.V. Khoroshev¹, K.A. Tkach², D.U. Murtazina³

INFLUENCE OF LANDSCAPE PATTERN ON PRODUCTIVITY OF GRAIN CROPS IN THE STEPPE ZONE OF NORTHERN KAZAKHSTAN

The research provides rationales for relevance of the concept of emergent effects that arise as a result of interaction between landscape units under agricultural planning. We test the hypothesis that proportion of dominant and subdominant landscape units within a model area controls the productivity of grain crops and its interannual dynamics. For two areas in the moderately dry steppes of Northern Kazakhstan we studied effects of synergetic interactions between units of flat surfaces, depressions and narrow gullies which result in a groundwater level ensuring abundant, optimum or insufficient humidity on fields. Correlation coefficients between productivity and share of each subdominant unit type were calculated. Dependence of productivity and its temporal variability on the classes of landscape pattern was revealed. Occurrence of depressions on flat surfaces ensures water accumulation and its expansion to adjacent units. This favors

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, Associate Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: avkh1970@yandex.ru

² International science complex «Astana», Kazakhstan, Junior Scientific Researcher; e-mail: karinatkach@mail.ru

³ University of Tennessee, Knoxville, USA, PhD student; e-mail: murtazinadiliya@gmail.com

productivity increase in dry years but can result in its decrease in wet years. High occurrence of narrow gullies on gentle slopes causes water and nutrients output in spring resulting in the productivity decrease in dry years. Mosaic landscape pattern at fields with a higher share of depressions or low gullies favors the increasing variability of productivity.

Key words: steppe, landscape, spatial pattern, proportions, grain crops, productivity, variability, humidity.

Acknowledgments. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 17-05-00447). We are grateful to the employees of Saryagash and Zhuravlyovka-1 agricultural firms for providing the data on crop yields.

REFERENCES

- Abdolvaleev R.R., Troc V.B.* Vliyaniye rel'efa na rezhim uvlazhneniya pochvy i urozhajnost' yarovoj pshenicy i yachmenya [Influence of topography on the regime of soil humidity and the yields of summer wheat and barley] // *Zernovoe hozjajstvo Rossii*. 2015. № 3. S. 57–60 (in Russian).
- Baraev A.I., Zajceva A.A., Gossen Je.F.* Bor'ba s vetrovoj eroziej pochv. [Fight against soil deflation]. Alma-Ata, 1963. 35 s. (in Russian).
- Kapustjanchik S.Ju.* Landshaftnyj podhod v ocenke agrocenoza yarovoj pshenicy [Landscape approach in the assessment of summer wheat agrocoenosis] // *Permskij agrarnyj vestnik*. 2014. № 2(6). S. 18–23 (in Russian).
- Kapustjanchik S.Ju., Dobrotvorskaya N.I.* Mikroklimat pochv i urozhajnost' yarovoj pshenicy v plakornom mikrozapadinnom agrolandshafte [Soil microclimate and productivity of summer wheat in a flat interfluvial agrolandscape with microdepressions] // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011. № 2(88). S. 32–35 (in Russian).
- Kashanov A.N.* Konceptiya landshaftnoj konturno-meliorativnoj sistemy zemledeliya. [Concept of landscape-based contour-amelioration system of agriculture] // *Zemledelie*. 1992. № 4. S. 2–5 (in Russian).
- Khoroshev A.V.* Geograficheskaya koncepciya landshaftnogo planirovaniya [Geographical concept of landscape planning] // *Izv. RAN. Ser. geograficheskaya*. 2012. № 4. S. 103–112 (in Russian).
- Kiryushin V.I.* Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya i proektirovanie agrolandshtov. [Theory of landscape-adaptive agriculture and agrolandscape design]. M.: KolosS, 2011. 443 s. (in Russian).
- Kust G.S., Rozov S.Ju., Kutuzova N.D.* Agrogennaya degradaciya chernozyomov kak prichina razvitiya pochvennoj zasuhi, snizhayushhej produktivnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur [Agriculture-induced degradation of chernozems as a reason for development of soil draught suppressing the productivity of agricultural crops] // *Aridnye ekosistemy*. 2010. T. 16. № 1(41). S. 16–27 (in Russian).
- Lopyrev M.I.* Osnovy agrolandshtovedeniya. [Fundamentals of agrolandscape science]. Voronezh: Izd-vo VGU, 1995. 182 s. (in Russian).
- Polovinko V.V.* Landshaftno-ekologicheskie osnovy optimizacii zemlepol'zovaniya na raznykh ierarhicheskikh territorial'nykh urovnnyah ego organizacii. [Landscape-ecological fundamentals of land use optimization at the different hierarchical territorial levels of its organization]. Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. Belgorod, 2010. 23 s. (in Russian).
- Sharyj P.A., Ruhovich O.V., Sharaya L.S.* Metodologiya analiza prostranstvennoj izmenchivosti harakteristik urozhajnosti pshenicy v zavisimosti ot uslovij agrolandshta [Methodology of analysis of spatial variability in wheat productivity depending on the agrolandscape conditions] // *Agrohimiya*. 2011. № 11. S. 57–81 (in Russian).
- Shpedt A.A., Nikitina V.I.* Agrohicheskie svoystva chernozema i produktivnost' zernovykh kul'tur v usloviyakh mikrorel'efa [Agrochemical properties of chernozem and productivity of grain crops under microrelief conditions] // *Agrarnyj vestnik Urala*. 2008. № 7(49). S. 36–38 (in Russian).
- Shpedt A.A., Purlaur V.K.* Vliyaniye mezorel'efa na urozhajnost' i kachestvo zernovykh kul'tur [Influence of mesorelief on productivity and quality of grain crops] // *Vestnik Altajskogo gos. agrarnogo unta*. 2008. № 5(43). S. 18–22 (in Russian).
- Usovershenstvovannye teoreticheskie i prakticheskie osnovy formirovaniya prostranstvenno-differencirovannykh tehnologij tochnogo zemledeliya. [Improved theoretical and practical basics of spatially-differentiated technologies of precise agriculture]. Kursk: VNIIZiPJe RASHN, 2010. 65 s. (in Russian).
- Vlasenko A.N., Dobrotvorskaya N.I.* Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya (opyt proektirovaniya) [Landscape-adaptive systems of agriculture (design experience)] // *Innovacii i prodovol'stvennaya bezopasnost'*. 2013. № 1. S. 136–142 (in Russian).
- Vnutripol'naya pestrota pochvennogo pokrova i urozhajnost' v centre Chernozemnoj zony Rossii. [Intra-field mosaics of soil cover and productivity in the centre of the Chernozem zone of Russia]. Voronezh: Izd-vo VGU, 2000. S. 330–362 (in Russian).
- Voropaev V.V., Lekomcev P.V., Yakusheva O.I.* Upravlenie produktivnost'yu i kachestvom zerna yarovoj pshenicy na fone pochvennoj neodnorodnosti [Management of productivity and grain quality of summer wheat under soil heterogeneity] // *Metodicheskoe i eksperimental'noe obespechenie adaptivno-landshaftnykh sistem zemledeliya*. SPb.: Izd-vo PIJaF RAN. 2007. 264 s. (in Russian).
- Yakusheva O.I.* Vliyaniye vnutripol'noj pochvennoj neodnorodnosti i urovnya intensifikacii agrotehnologij na urozhajnost' yarovoj pshenicy. [Influence of intra-field soil heterogeneity and level of agrotechnology intensification on productivity of summer wheat]. Avtoref. diss. ... kand. s.-h. n. SPb, 2013. 24 s. (in Russian).

Received 08.09.2017

Accepted 28.12.2017

УДК 911.2+910.3

Д.И. Люри¹, А.С. Некрич², Д.В. Карелин³

ИЗМЕНЕНИЕ ПАХОТНЫХ ПЛОЩАДЕЙ В РОССИИ В 1990–2015 гг. И ПОЧВЕННАЯ ЭМИССИЯ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Показано, что для России, начиная с 1990 г. (период кризиса и реформ), типична пространственно-факторная матрица динамики площадей сельскохозяйственных земель, которая характерна и для второй половины XIX в. Установлено, что ведущими факторами, влияющими на процесс изменения площадей аграрных угодий, являются биоклиматический потенциал (БКП) и численность сельского населения. Выявлено, что за период 1990–2015 гг. в российских регионах сформировались 3 типа изменений посевных площадей: «устойчивое сокращение», «смена сокращения на стабилизацию», «смена сокращения на увеличение». Модели показывают, что изменение почвенной эмиссии CO_2 в результате распашки залежей может оказаться значительным и сопоставимым с вкладом изменений климата за тот же период наблюдений. Для областей, где распашка залежей не проводится, характерен больший вклад климатических факторов в изменение почвенной эмиссии CO_2 , а для областей с активным возвращением залежей в оборот – вклад землепользования.

Ключевые слова: изменение площадей посевов, распашка залежей, биоклиматический потенциал, изменение численности сельского населения, аграрное освоение Российской Федерации, почвенная эмиссия CO_2 .

Введение. Площади посевов являются одним из индикаторов, лучше всего отражающих уровень аграрного развития большинства сельскохозяйственных регионов РФ, поскольку представляют собой наиболее интенсивно эксплуатируемую и продуктивную категорию сельскохозяйственных угодий. С начала 1990-х гг. во всех регионах РФ произошло сокращение сельскохозяйственных земель (50 млн га к 2015 г.). Его закономерности исследованы [Люри с соавт., 2010; Мухин, 2012; Некрич, Люри, 2016], выявлена связь изменения площадей аграрных угодий, резервуаров углерода и почвенной эмиссии CO_2 [Люри с соавт., 2010, 2013; Карелин с соавт., 2015, 2017]. С середины 2000-х гг. во многих регионах РФ началось возвращение ранее заброшенных угодий в аграрный оборот, однако географические особенности и экологические последствия этого процесса слабо изучены. Россию следует рассматривать как крупнейшую страну мира, которая за четверть века испытала масштабное сокращение площадей аграрных угодий и сравнимое по размеру их возвращение в сельскохозяйственный оборот.

Цель работы – выявление географических особенностей, природных и социально-экономических факторов, определяющих процессы вывода и возвращения в оборот пахотных земель, и оценка изменения величины почвенной эмиссии CO_2 при возвращении залежей в аграрный оборот. Поставлены задачи: 1) выявить закономерности изменения площадей посевов в РФ за 1990–2015 гг., оценить площади земель, возвращаемых в аграрный оборот; 2) определить природные и демографические факторы, кото-

рые формируют современные процессы забрасывания и возвращения в оборот сельхозземель в России; 3) оценить изменение почвенной эмиссии CO_2 в результате возвращения пахотных территорий в аграрный оборот.

Изменение площадей посевов обычно рассматривается специалистами как процесс, связанный с характеристиками природной среды и антропогенно-историческими преобразованиями [Люри с соавт., 2010; Прищепов с соавт., 2012; Болданов, Мухин, 2015; Некрич, Люри, 2016]. Исследуется динамика площадей пахотных земель в связи с изменениями систем землепользования и сельского расселения [Нефедова, 2012], отслеживается ход постагрогенного восстановления почвенно-растительного покрова на залежных землях и изучаются возможности вовлечения их в аграрный оборот [Люри с соавт., 2010], анализируются зависимости деградации земель от климатических факторов и этапов социально-экономического развития общества [Чибилев, Рябуха, 2016], изучаются закономерности изменений углеродного обмена в ходе восстановления залежей [Карелин с соавт., 2015, 2017].

Баланс CO_2 залежей и активно эксплуатируемых пашен постоянно находится в центре внимания исследователей, но этот вопрос практически не исследовался с точки зрения сравнения реакции на распашку разновозрастных залежей в пределах неодинаковых географических зон. В случае с забрасыванием пахотных земель в России в конце XX в. был фактически дан почти единовременный старт столь же масштабной сукцессии в хозяйственно-

¹ ФГБУН Институт географии РАН, отдел физической географии и проблем природопользования, гл. науч., с., докт. геогр. н.; e-mail: dmitry.luri@gmail.com

² ФГБУН Институт географии РАН, отдел физ. географии и проблем природопользования, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: a.s.nekrich@igras.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра общей экологии, проф., докт. биол. н.; Институт географии РАН; Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН; e-mail: dkarelin@igras.ru

важных географических зонах страны. Однако, несмотря на почти единовременное начало самовосстановления залежей в регионах, распашка «застает» агроэкосистемы на разных сукцессионных стадиях. Из этого, в свою очередь, следует, что и баланс CO_2 этих экосистем может значительно отличаться. Если запасы углерода в почвах таких экосистем после начала повторной распашки первоначально остаются в малоизмененном состоянии (инерционная компонента С-баланса), то дыхание почвы, как одна из основных мобильных компонентов С-баланса, с высокой вероятностью изменится. Задача, в таком случае, состоит в оценке влияния зональных и «возрастных» различий на почвенное дыхание залежей, возвращенных в агрооборот.

Материалы и методы исследований. В основе исследования – динамические ряды площадей аграрных угодий в регионах России с 1990 по 2015 гг. с шагом в 1 год [Информационный ..., 2017]. Для анализа был выбран параметр «площадь посевов», так как параметры «площадь сельскохозяйственных угодий» и «площадь пашен» являются элементами земельной статистики, инвентаризация которых происходит редко. В то время как данные о посевных площадях – это ежегодные отчеты сельскохозяйственных предприятий, отражающие фактическую ситуацию. Всего было проанализировано 67 аграрно-освоенных субъектов РФ (рис. 1), где сосредоточено около 97% площадей посевов страны. Из анализа были исключены: 1) слабо освоенные в аграрном отношении регионы РФ (менее 10 тыс. га пашни на субъект); 2) крупные субъекты Сибирс-

кого и Дальневосточного округов, для которых приписывать закономерности изменения небольших площадей посевов неправомерно по отношению ко всему субъекту; и 3) регионы с отсутствием подробных рядов статистических сведений.

Для предварительной оценки различий в уровнях почвенной эмиссии CO_2 , связанных с доминирующим зональным типом почв (условиями географических зон) и возрастом залежей, были использованы полученные нами ранее регрессионные модели, служащие для описания наблюдаемых изменений почвенной эмиссии CO_2 в ходе восстановительных сукцессий в основных зонах распашки ЕТР. Такие модели, основанные на полевых наблюдениях, были получены для подзолов южной тайги [Люри с соавт., 2013], черноземов [Карелин с соавт., 2015] и серых лесных почв [Карелин с соавт., 2017]. В них использованы три независимые переменные: температура воздуха (или почвы в слое 0–10 см), объемная влажность почвы в слое 0–10 см (или текущая сумма осадков), и сезон года (период со снежным покровом – «зимний», или без него – «вегетационный»). Минимальный шаг моделей во времени – четырехчасовой, что соответствует доступному разрешению стандартных срочных метеоданных. При наличии данных по влажности и температуре почвы соответствующего разрешения, этот шаг может быть уменьшен до нескольких минут. Поскольку сбор первичных данных по потокам CO_2 происходил в период выраженного потепления, это расширяет пределы применимости моделей [Люри с соавт., 2013; Карелин с соавт., 2015; Карелин с соавт., 2017].

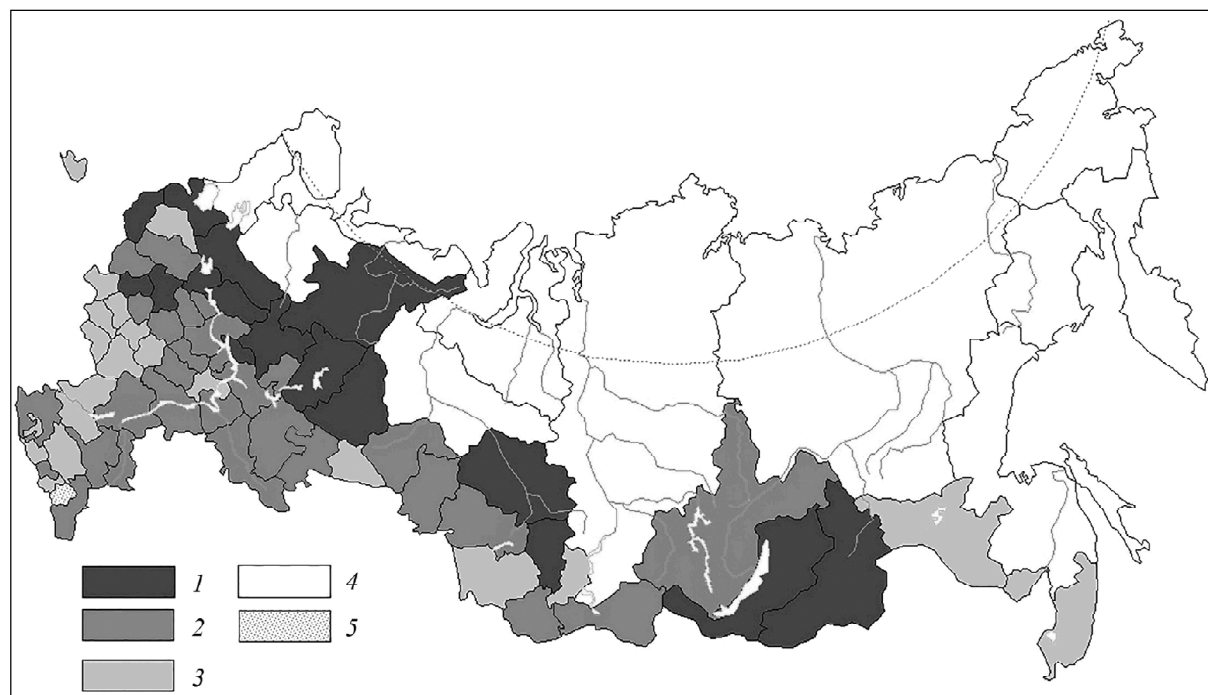


Рис. 1. Пространственное распределение основных вариантов изменения площадей посевов сельскохозяйственных культур в России (1990–2015 гг.): 1 – «устойчивое сокращение», 2 – «смена сокращения на стабилизацию», 3 – «смена сокращения на рост», 4 – слабоосвоенные, 5 – нет данных

Fig. 1. Spatial pattern of the main types of cropland dynamics in Russia in 1990–2015: 1 – «sustainable decrease», 2 – «decrease then stabilization», 3 – «decrease then growth», 4 – poorly developed, 5 – no data

Для оценки итогового эффекта распашки на эмиссию углерода в составе CO_2 необходимо знать: 1) площади возвращенных в эксплуатацию земель в разных географических зонах; 2) распределение их по стадиям (возрастам) сукцессии; 3) величины почвенной эмиссии CO_2 на разных возрастах сукцессии в различных зонах. Последнее зависит не только от типа почвы и стадии сукцессии, но и от климатических условий данного года, что учтено в структуре моделей. Весь необходимый набор таких данных имеется только для европейской части России, на которую, тем не менее, приходится подавляющее большинство возвращенных в аграрный оборот земель в России (73%). При этом большая их часть приходится на зоны серых лесных почв и черноземов, где в результате распашки общая площадь залежей уже сократилась на 26% (табл.). В рассматриваемый период (2006–2015 гг.) распахивались преимущественно молодые залежи, находящиеся на ранних стадиях сукцессии, не достигшие состояния молодых лесов. К ним относятся луговые, рудеральные и рыхлокустовые стадии.

Распределение возвращаемых в эксплуатацию залежей по стадиям сукцессии проводилось на основе данных официальной статистики, анализа спутниковых снимков, полевых маршрутов и учетов на автомобилях общей протяженностью более 15 тыс. км в Новгородской (Валдайский район), Орловской (Орловский, Урицкий и Шаблыкинский районы) и Курской (Курский район) областях [Люри с соавт., 2013; Карелин с соавт., 2015, 2017]. Эти районы и области послужили в качестве модельных для дальнейшей экстраполяции на территории зональных залежей.

Поскольку мы не располагали полными сведениями по годам распашки конкретных залежей в исследуемых районах, для расчетов были использованы усредненные метеоданные за период 2006–2015 гг. В качестве метеоданных использовали среднесуточные температуры воздуха и посуточные суммы осадков, а также сроки установления и схода снежного покрова по метеостанциям Орловской области (г. Орел, п. Нарышкино, п. Шаблыкино), г. Курск, и метеостанции ГТИ Росгидромета РФ в г. Валдай (Новгородская обл.).

Результаты исследований и их обсуждение. Особенности изменения посевных площадей и их географического распространения в РФ.

Выявлено 3 характерных варианта изменений посевных площадей в регионах (рис. 1): 1) «устойчивое сокращение», начавшееся до 1990 г. и продолжающееся по настоящее время [Люри с соавт., 2010]. В ходе него утрачено 9,6 млн га (почти 60% от состояния в 1990 г.). Эта зона захватывает Нечерноземье, Томскую и Кемеровскую области, Забайкальский край; 2) «сокращение – стабилизация» – вариант, характерный для Поволжья, юга Западной и Восточной Сибири и запада Нечерноземья. В этом случае уменьшение площадей посевов сменяется стабилизацией. Начало стабилизации площадей в этом варианте неравномерное: в частности, оно происходит раньше в Краснодарском крае (с 1998 г.), позже – в Смоленской области (с 2008 г.). Сокращение общей площади посевных площадей в этом случае достигло 19,8 млн га (32,7% от состояния 1990 г.). 3) «сокращение – рост» наблюдается в Черноземье, Предкавказье и на Кавказе, степях южного Урала, Алтайском крае, а также в Приморье. Увеличение площадей раньше проявилось в Еврейской АО и Амурской области (2004 г.), позже – в Калининградской области (2011 г.). Начавшееся расширение площадей посевов не компенсировало их уменьшения (на территории этих административных единиц в настоящее время утрачено 7,9 млн га, или 21,3% от исходного состояния).

Многие исследования свидетельствуют о наличии связи между изменениями площади аграрных угодий и финансово-экономической ситуацией в стране [Люри с соавт., 2010; Некрич, Люри, 2016; Нефедова, 2012]. Однако ведущими факторами этого процесса являются природные условия, описываемые биоклиматическим потенциалом [Гордеев с соавт., 2006], и изменение численности сельского населения. По этим показателям регионы были разделены на варианты с различными типами динамики площадей посевов (рис. 2).

Для большинства субъектов (14 из 16) с вариантом изменения площадей посевов «устойчивое сокращение» характерны низкие значения БКП и

Состояние фонда залежных земель в России за период с 1990 по 2015 гг.

Залежные земли	Залежи, тыс га		Доля от общей площади распаханых залежей в России	Сокращение залежей в 2006–2015 гг.
	образовавшиеся в 1990–2006 гг.	вернувшиеся в оборот в 2006–2015 гг.		
			%	
Дерново-подзолистые почвы южной тайги	10 700	299	6,3	2,8
Серые лесные почвы широколиственных лесов и черноземы лесостепей	8 900	2 311,7	49,0	26,0
Обыкновенные и южные черноземы степной зоны	13 900	701,5	14,9	5,0
Северо-Кавказская горная почвенная провинция с горно-долинными лугами и степями	600	129,8	2,7	21,6
Азиатская территория России	18 000	1 278,7	27,1	7,1
ВСЕГО	52 100	4 721	100,0	??

уменьшение численности сельского населения. Исключение составляют Калужская и Московская области, где происходит расширение селитебных территорий и развитие инфраструктуры за счет площади аграрных земель. Большинство регионов (3/4) с ростом площадей посевных земель характеризуется высокими значениями БКП при различной динамике численности сельского населения (нижняя часть матрицы на рис. 2). Области с вариантом изменений «сокращение – стабилизация» распределены по пространству матрицы достаточно равномерно.

Матрица для регионов с вариантом динамики посевных площадей «устойчивое сокращение» не демонстрирует ясных закономерностей. Уменьшение площади посевов составляет в этом случае от 43 до 63%. Причина состоит в том, что здесь возникают новые факторы влияния – институциональные,

инфраструктурные, инвестиционные, демографические и другие [Люри с соавт., 2010]. Напротив, для варианта изменения площадей «сокращение – стабилизация», независимо от значений местного БКП, посевные площади тем стабильнее, чем больше численность сельского населения. Для регионов с характером динамики «сокращение – рост» в анализ были включены данные, начиная с года расширения площадей посевов в конкретной области (длина рядов наблюдений составляет от 4 до 11 лет). Еврейская АО, Приморская и Амурская области были исключены из анализа, так как уменьшение численности коренного сельского населения здесь компенсируется притоком мигрантов-земледельцев из Китая и Южной Кореи [Информационный ..., 2017]. Наименьший рост площадей посевов отмечается в регионах с низкими значениями БКП и чис-

БКП (баллы)	Динамика численности сельского населения, %		
	падение более 10%	падение менее 10%	рост
40–95	Вологодская область Костромская область Псковская область Кировская область Забайкальский край Хабаровский край	Пермский край Томская область Кемеровская область	Ленинградская область Республика Бурятия Свердловская область
	Саратовская область Новосибирская область Республика Калмыкия Омская область Республика Тыва Курганская область Новгородская область	Республика Саха (Якутия) Волгоградская область Иркутская область Тюменская область Челябинская область Алтайский край	Астраханская область Самарская область Оренбургская область Республика Алтай Республика Удмуртия Республика Хакасия
96–100	Ярославская область Республика Марий Эл Тверская область Ивановская область Смоленская область Красноярский край Чувашская Республика Республика Мордовия	Республика Татарстан Владимирская область	Калининградская область
105–120	Калужская область Нижегородская область Пензенская область Рязанская область Ульяновская область Брянская область Орловская область Тамбовская область Еврейская АО Амурская область Приморский край	Московская область Липецкая область	Тульская область Республика Башкортостан Кабардино-Балкарская Республика Республика Дагестан Республика Адыгея Республика Северная Осетия-Алания Карачаево-Черкесская Республика Ставропольский край Ростовская область
125–170	Воронежская область Курская область		Краснодарский край Белгородская область

1 2 3

Рис. 2. Распределение аграрно-освоенных субъектов Российской Федерации в зависимости от факторов динамики численности сельского населения и величина биоклиматического потенциала (БКП) (1990–2015 гг.) по вариантам изменения посевных площадей: 1 – «устойчивое сокращение», 2 – «смена сокращения на стабилизацию», 3 – «смена сокращения на рост»

Fig. 2. Types of dynamics of cultivated territories in different Russian regions driven by the numbers of rural population and regional bioclimatic potential (BCP) in 1990–2015: 1 – «sustainable decrease», 2 – «decrease then stabilization», 3 – «decrease then growth»

ленности сельского населения (7–12%), наибольший – в областях с высокими значениями БКП и численности сельского населения (от 20 до 30%). 4,2 млн га (то есть 89% роста) приходится на регионы, расположенные в благоприятных природных условиях (БКП > 100) и лишь 0,5 млн га (11%) на области с БКП < 100. Увеличение площадей посевов в этих регионах объясняется, в том числе, влиянием современного климатического тренда: здесь, начиная с 1970-х, отмечены значительные приросты среднегодовых температур и количества осадков, что вызвало увеличение урожайности зерновых и расширение площадей посевов [Киселев с соавт., 2016].

Описанная матрица устойчива, достаточно быстро восстанавливается после прекращения воздействия и является принципиальной для сельскохозяйственной карты страны [Люри с соавт., 2010; Прищепов с соавт., 2012].

Оценка изменений почвенной эмиссии диоксида углерода на залежах в результате их распашки в ЕТР. Приведенные ниже результаты расчетов являются условными, поскольку они основаны на допущении, что уровень эмиссии диоксида углерода на восстановленной пашне не зависит от стадии сукцессии, на которой она была распахана, и остается относительно постоянным из года в год. Тем не менее, этими расчетами мы хотели привлечь внимание к новому аспекту данной проблемы.

В результате обобщения статистической информации и собственных наблюдений было выяснено, что в зоне южной тайги (Новгородская обл.) на рудеральную стадию восстановительных сукцессий в распахке недавних залежных земель приходится 10, на луговую – 90%. В зонах широколиственных лесов (Орловская обл.), лесостепей и степей (Курская обл.) рудеральная стадия в распахке составляет 30%, рыхлокустовая – 70%. Применение этих выборочных оценок к суммарным площадям распаханных в 2006–2015 гг. залежей в рассматриваемых зонах, позволяет с помощью моделей⁴ оценить, насколько на этих территориях изменились потоки почвенной эмиссии CO₂ в результате распашки залежей.

Как и ожидалось, в подзоне южной тайги ввод в эксплуатацию залежных земель, при наименьшем масштабе возврата среди других зон ЕТР (2,8%), не повлиял на годовой уровень почвенной эмиссии CO₂: для подзоны южной тайги в целом ее изменение (в данном случае уменьшение) составляет лишь 0,9%. Но если бы распахке вновь подверглись все залежи этой подзоны, образовавшиеся в 1990–2015 гг., то сокращение почвенной эмиссии CO₂, согласно моделям, составило бы 42,8%! Уменьшение эмиссии связано с тем, что в настоящий период в этой зоне доминируют залежи, находящиеся на стадиях сукцессии, для которых характерны более высокие уровни почвенной эмиссии, по сравнению с местными пашнями [Люри с соавт., 2013]. Для срав-

нения, вклад наблюдаемого потепления климата в изменения (усиление) почвенной эмиссии за тот же период, по тем же моделям составил в подзоне южной тайги для восстанавливающихся залежей последнего «поколения» (1990–2006 гг.): 5,4%. В данном случае сравнивались суммы почвенной эмиссии CO₂ за год из всех разновозрастных залежей для каждой из рассматриваемых областей, при условии сохранения климатической нормы 1960–1990 гг. и в результате фактического потепления 1990–2015 гг. Последнее оценивалось через построение трендов по температурам воздуха, годовым суммам осадков и продолжительности снежного покрова. Величины полученных изменений (наклоны регрессий) были использованы в уже упомянутых моделях для расчетов новых годовых сумм эмиссии CO₂.

По-иному это выглядит для хозяйственно более ценных серых лесных почв в зоне широколиственных лесов. Здесь распахке за последнее десятилетие подверглось уже 26% полей, заброшенных в 1990–2006 гг. (табл.). Поэтому неудивительным выглядит результат, что для зоны широколиственных лесов ЕТР изменение (уменьшение) почвенной эмиссии CO₂ за счет повторной распашки составляет уже 2,8%. Полная распахка молодых залежей, согласно расчетам, сократила бы эмиссию CO₂ в этой зоне на 10,9%. Аналогично рассчитанный вклад регионального потепления (включая не только увеличение температуры, но и уменьшение количества осадков) усиливает почвенную эмиссию CO₂ в этом случае на сравнимую величину: +5,6%. Для черноземов лесостепей и степной зоны ЕТР вклад распашки залежей в сокращение почвенной эмиссии CO₂, судя по расчетам, оказался наибольшим: –4,8%. Тем не менее, если распахке подвергнутся все имеющиеся в этой зоне молодые залежи, то эта величина может составить –82,9%! Согласно аналогичным расчетам, вклад регионального потепления увеличил эмиссию CO₂ в этом случае на 4,4%.

Поскольку в этих случаях сравнивались сходные периоды наблюдений, то в качестве итоговой оценки, в которой учтены эффекты изменения климата и распашки залежей, можно рассматривать сумму рассчитанных приращений. То есть в случае южно-таежной подзоны на площади занятой залежами, образовавшимися в 1990–2006 гг., согласно используемым моделям, наблюдается увеличение почвенной эмиссии CO₂ на 4,5%, в зоне широколиственных лесов – на 2,8%, на черноземах степной зоны – незначительное уменьшение на 0,4% (взаимная компенсация влияния изменений климата и землепользования).

Выводы:

– анализ изменения посевных площадей за 1990–2015 гг. для 67 субъектов РФ показал, что выделяется три основных типа динамики: «устойчивое сокращение», «смена сокращения на стабилизацию», и «смена сокращения на рост». Для большинства регионов

⁴ Использованы регрессивные уравнения, которые были разработаны нами для прогноза скорости почвенной эмиссии в зависимости от температуры и влажности почвы на залежах разного возраста, для различных типов почв, и в разные сезоны года [Люри с соавт., 2013; Карелин с соавт., 2017].

характерна замена масштабного повсеместного сокращения площадей посевов в стране за предшествующий кризисный период на их стабилизацию и рост;

– БКП и изменение численности сельского населения являются основными факторами, сочетание которых определяет 3 наблюдаемых типа динамики площадей возделываемых угодий и хорошо описывает их изменение за последние 25 лет. Таким образом, с середины 2000-х гг. наблюдается восстановление пространственно-факторной матрицы изменения аграрных площадей, которая сформировалась в России во второй половине XIX века и пережила все социальные катастрофы прошлого и начала текущего столетия;

– изменение почвенной эмиссии диоксида углерода в результате распахивания залежей может оказывать весьма значительным и сопоставимым с вкладом изменений климата за тот же период, что необходимо учитывать при региональных оценках бюджета CO_2 . При этом имеет значение, какие именно стадии залежных сукцессий, какие именно почвы, и в каких масштабах начали вновь распахиваться. Согласно моделям, для областей, где залежи не распахиваются, для региональных потоков дыхания почвы важнее оказывается климатический фактор, а для регионов с активной распахкой молодых залежей – вклад изменений землепользования.

Благодарности. Выполнено по теме НИР 0148-2018-0015 «Выявление закономерностей пространственной структуры и динамики ландшафтов под влиянием природных и антропогенных факторов для рационализации природопользования». Рег. № 01201352471.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болданов Т.А., Мухин Г.Д. Эколого-экономическая оценка трансформации сельскохозяйственного землепользования в республике Бурятия (1990–2013 гг.) // Проблемы региональной экологии. 2015. № 3. С. 55–61.

Гордеев А.В., Клеценко А.Д., Черняков Б.А., Сиротенко О.Д. Биоклиматический потенциал России: теория и практика. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 512 с.

Информационный портал Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gks.ru/> (дата обращения: 14.04.2017).

Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудилов А.В., Лопес де Гереню В.О., Лукин В.Н., Долгих А.В., Люри Д.И. Изменения запасов углерода и эмиссии CO_2 в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в европейской части России // Почвоведение. 2017. № 5. С. 580–594.

Карелин Д.В., Люри Д.И., Горячкин С.В., Лукин В.Н., Кудилов А.В. Изменение почвенной эмиссии диоксида углерода в ходе постагрогенной сукцессии в черноземной лесостепи // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1354–1366.

Киселев С.В., Строков А.С., Белугин А.Ю. Прогнозирование развития сельского хозяйства России в условиях изменения климата // Проблемы прогнозирования. 2016. № 5. С. 86–97.

Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваяева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX в. и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.

Люри Д.И., Карелин Д.В., Кудилов А.В., Горячкин С.В. Изменение почвенного дыхания в ходе постагрогенной сукцессии на песчаных почвах в южной тайге // Почвоведение. № 9. 2013. С. 1060–1072.

Мухин Г.Д. Эколого-экономическая оценка трансформации сельскохозяйственных земель Европейской территории России в 1990–2009 гг. // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012. № 5. С. 19–28.

Некрич А.С., Люри Д.И. Факторы динамики посевных земель в кризисный период во внутриобластном масштабе (на примере Курской области) // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2016. № 1. С. 123–130.

Нефедова Т.Г. Основные тенденции изменения сельского пространства России // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2012. № 3. С. 7–13.

Прищепов А.В., Раделов Ф., Бауман М., Кюммерле Т. Влияние институциональных и социо-экономических изменений после распада СССР на сельскохозяйственное землепользование в Восточной Европе // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. М.: Сканекс, 2012. № 14. С. 7–14.

Цветков А.М. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1941 год. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 213 с.

Чибилев А.А., Рябуха А.Г. История хозяйственного освоения и антропогенной трансформации песчаных земель степной зоны Оренбургской области // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22. № 1(66). С. 48–55.

Поступила в редакцию 06.06.2017
Принята к публикации 28.12.2017

D.I. Lyuri¹, Nekrich A.S.², Karelin D.V.³

CROPLAND DYNAMICS IN RUSSIA IN 1990–2015 AND SOIL EMISSION OF CARBON DIOXIDE

It was demonstrated that since the 1990-s (the period of crisis and reforms) the characteristic spatial-factor matrix of cropland dynamics in Russia is much the same as in the second half of the 19th century. The regional bioclimatic potential (BCP) and the numbers of rural population are major factors defining the type of cropland area changes in a particular region. Three types of cropland area dynamics have formed in

¹ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Department of Physical Geography and Problems of Environment Management, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Biology; e-mail: dmitry.luri@gmail.com

² Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Department of Physical Geography and Problems of Environment Management, Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: a.s.nekrich@igras.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Biology, Department of General Ecology, Professor, D.Sc. in Biology; Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Department of Physical Geography and Problems of Environment Management, Senior Scientific Researcher; Centre for Problems of Ecology and Forest Productivity, Russian Academy of Sciences, Laboratory of Productivity and Biosphere Functions of Forests, Scientific Researcher; e-mail: dkarelin@igras.ru

the regions of Russia during 1990–2015, i.e. «sustainable decrease», «decrease then stabilization», and «decrease then growth». The models show that changes in regional soil emission of CO₂ as a result of the plowing of fallow lands can be significant (1–5%) and comparable with the contribution of climate change during the same period. For the areas where fallow lands are not cultivated the contribution of climate to CO₂ soil emission is greater than in the areas with active plowing of young fallows where the land use is more important factor.

Key words: dynamics of cropland area, plowing of fallow lands, bioclimatic potential, rural population dynamics, agrarian development of the Russian Federation, soil emission of CO₂.

Acknowledgements. The study was carried out under the scientific research theme 0148-2018-0015 «Identification of regularities of the spatial structure and dynamics of landscapes under the influence of natural and anthropogenic factors for the optimization of environmental management» (Reg. № 01201352471).

REFERENCES

- Boldanov T.A., Mukhin G.D.* Ekologicheskaya i ekonomicheskaya ocenka transformacii selskohozyajstvennogo zemlepolzovaniya v respublike Buryatia (1990–2013 gg.) [Ecological and economic assessment of agricultural land use transformation in the Republic of Buryatia (1990–2013)] // Problems of regional ecology. 2015. № 3. P. 55–61 (in Russian).
- Chibilyov A.A., Ryabukha A.G.* Istoriya hozyajstvennogo osvoeniya i antropogennoj transformacii peschanyh zemel stepnoj zony Orenburgskoj oblasti [The history of economic development and anthropogenic transformation of the sandy lands in the steppe zone of the Orenburg oblast] // Aridnie ekosistemy. 2016. V. 22. № 1(66). P. 48–55 (in Russian).
- Gordeev A.V., Kleshchenko A.D., Chernyakov B.A., Sirotenko O.D.* Bioklimaticheskij potencial Rossii: teoriya i praktika [Bioclimatic potential of Russia: theory and practice]. Moscow: Association of scientific editions KMK Publ. 2006. 512 p. (in Russian).
- Informacionnyj portal Federalnoj sluzhby gosudarstvennoj statistiki [Web resource]. URL: <http://www.gks.ru/> Accessed: 14.04.17).
- Karelin D.V., Goryachkin S.V., Kudikov A.V., Lopes de Gerenu V.O., Lunin V.N., Dolgikh A.V., Lyuri D.I.* Izmenenie zapasov ugleroda i emissii CO₂ v hode postagrogennoj sukcesii v rastitelnosti na seryh lesnih pochvah v evropejskoj chasti Rossii [Changes in carbon pool and CO₂ emission in the course of postagrogenic succession on gray forest soils (Luvic Phaeozems) in European Russia] // Eurasian Soil Science. 2017. V. 50. № 5. P. 580–594 (in Russian).
- Karelin D.V., Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Lunin V.N., Kudikov A.V.* Izmenenie pochvennoj emissii dioksida ugleroda v hode postagrogennoj sukcesii v chernozemnoj lesostepi [Changes of the carbon dioxide emission from soils in the course of postagrogenic succession in the Chernozem forest-steppe] // Eurasian Soil Science. 2015. V. 48. P. 1354–1366 (in Russian).
- Kiselev S.V., Stokov A.S., Belugin A.Yu.* Prognozirovanie razvitiya selskogo hozajstva Rossii v usloviyah izmeneniya klimata [Forecasting of agriculture development in Russia under the climate change] // Problemy prognozirovaniya. 2016. № 5. P. 86–97 (in Russian).
- Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G.* Dinamika selskohozyajstvennyh zemel Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitelnosti i pochv [Dynamics of agricultural lands of Russia in the 20th century and postagrogenic restoration of vegetation and soils]. Moscow: GEOS (Publ.), 2010. 416 p. (in Russian).
- Lyuri D.I., Karelin D.V., Kudikov A.V., Goryachkin S.V.* Izmenenie pochvennoy dyhaniya v hode postagrogennoj sukcesii na peschanyh pochvah v yuzhnoj tajge [Changes in soil respiration in the course of postagrogenic succession on sandy soils in the southern taiga zone] // Eurasian Soil Science. 2013. V. 46. № 9. P. 1060–1072 (in Russian).
- Mukhin G.D.* Ekologo-ekonomicheskaya ocenka transformacii selskohozyajstvennyh zemel Evropejskoj territorii Rossii v 1990–2009 gg. [Environmental-economical assessment of transformation of agricultural lands of the European territory of Russia in 1990–2009] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya. 2012. № 5. P. 19–28 (in Russian).
- Nefedova T.G.* Osnovnye tendencii izmeneniya selskogo prostranstva Rossii [Main trends of changes in the rural space of Russia] // Izv. Ross. Akad. Nauk. Ser. Geogr. 2012. № 3. P. 7–13 (in Russian).
- Nekrich A.S., Lyuri D.I.* Faktory dinamiki posevnyh zemel v krizisnyj period vo vnutrioblastnom masshtabe (na primere Kurskoj oblasti) [Factors of local-scale dynamics of croplands during the crisis period: case study of the Kursk oblast] // Izv. Ross. Akad. Nauk. Ser. Geogr. 2016. № 1. P. 123–130 (in Russian).
- Prishhepov A.V., Radeloff F., Baumann M., Kuemmerle T.* Vliyanie institucionalnyh i socio-ekonomicheskikh izmenenij posle raspada SSSR na selskohozyajstvennoe zemlepolzovanie v Vostochnoj Evrope [Effects of institutional changes on land use: Agricultural land abandonment during the transition from state-command to market-driven economies in post-Soviet Eastern Europe] // Zemlya iz kosmosa – effektivnye resheniya. Skanex. 2012. № 14. P. 7–14 (in Russian).
- Tsvetkov A.M.* Izmenenie lesistosti Evropejskoj Rossii s konca XVII stoletiya po 1941 god [Changes of forest coverage in the European Russia since the end of the 17th century till 1941]. Moscow: AS USSR, 1957. 213 p. (in Russian).

Received 06.06.2017

Accepted 28.12.2017

УДК 551.79; 551.351

Р.Н. Курбанов¹, Т.А. Янина², А.С. Мюррей³, О.К. Борисова⁴

ГИРКАНСКИЙ ЭТАП В ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ИСТОРИИ МАНЫЧСКОЙ ДЕПРЕССИИ

Изучение керна двух скважин глубиной 40 и 42 м из центральной части Манычской депрессии комплексом методов (гранулометрический, фаунистический, спорово-пыльцевой анализы, радиоуглеродное и оптико-люминесцентное датирование) внесло вклад в решение вопроса о существовании гирканского пролива в Манычской депрессии в позднем плейстоцене. Начало позднего плейстоцена (межледниковье, МИС 5e) было охарактеризовано глубоким проникновением в Манычскую депрессию ингрессионного залива карангатской трансгрессии Черного моря. Его воды имели сравнительно высокую (не менее 18–20‰) соленость, позволившую существование богатого черноморского комплекса моллюсков. Завершение межледниковья и переходный этап к ледниковой эпохе (МИС 5d) привел к постепенному отступанию вод карангатского залива из Манычской депрессии и стягиванию их в Черноморскую котловину. Этот этап датирован методом оптически стимулированной люминесценции (ОСЛ, optical stimulated luminescence) в 119 ± 7 тыс. лет. Завершился он развитием гирканского пролива Каспия. Пролит имел опресненные солоноватые каспийские воды (соленость 8–7‰). Его фаунистический облик составляли моллюски *D. cristata*, *D. hyrcana*, *D. subcatillus*, *Monodacna caspia*, *Dreissena polymorpha*. Дно в центральной части Манычской депрессии находилось на абсолютных отметках от –13 до –9 м. Пролит имел спокойные условия осадконакопления, очевидно, обусловленные его значительным расширением в центральной части депрессии. Ландшафты отвечали интерстадиальным (относительно прохладным, с меньшими сезонными контрастами и большим увлажнением по сравнению с современными) климатическим условиям. Впервые полученная для гирканских отложений (средняя часть толщи) ОСЛ датировка составляет 107 ± 7 тыс. лет назад, определяя эпоху существования пролива как МИС 5c. Морская эпоха развития центральной части депрессии сменилась во второй половине позднего плейстоцена длительной озерной фазой (Буртасское озеро) ее развития.

Ключевые слова: Манычская депрессия, скважины, осадки, моллюски, пыльца, радиоуглеродные даты, ОСЛ датирование, палеогеография.

Введение. Манычская депрессия, расположенная между Прикаспийской низменностью и низовьем Дона (рис. 1), приурочена к Маныч-Гудилловскому тектоническому прогибу. С севера она ограничена Ергенями, с юга – Ставропольской возвышенностью, образующими тектоническую ось. Фрагментами оси являются поднятия Зунда-Толга и Сальское, служившие в плейстоцене «порогами» для проникновения как каспийских, так и черноморских вод в депрессию. В истории Понто-Каспия депрессия играла важную роль, периодически служа ложем проливов, функционировавшим в плейстоцене. В ее строении выделяется серия морских осадков, переслаивающихся с озерными, аллювиальными, субаэральными отложениями, что предоставляет уникальную возможность для изучения непосредственных соотношений каспийских и черноморских отложений, для стратиграфических построений и палеогеографических реконструкций.

В настоящее время в результате создания системы искусственных водоемов большинство естественных обнажений плейстоценовых осадков оказались затопленными, поэтому буровым материа-

лам по строению новейших отложений придается очень большое значение. Гидротехнические работы в середине прошлого века позволили получить обширный банк данных, анализ которых привел к решению важных вопросов строения и корреляции каспийских и черноморских отложений и событий [Горецкий, 1953, 1957, 1970; Попов, 1955, 1957, 1967, 1977, 1983; Федоров, 1978 и др.]. Эти результаты и ныне являются основными при реконструкции событий в Манычской долине, и разными исследователями интерпретируются по-разному [Свиточ с соавт., 1998, 2010, 2017; Янина, 2006, 2012; Dolukhanov et al., 2009 и др.]. Один из остро дискуссионных вопросов – существование гирканского пролива Маныча, имевшего место в эпоху развития гирканской трансгрессии Каспия, существование которой также находится под большим вопросом (см. статью [Янина с соавт., 2014]).

Гирканские слои были установлены Г.И. Горецким [1957] на основании материалов бурения в долине Западного Маныча. В долине Восточного Маныча гирканские слои на основании этих же мате-

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

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

³ Орхусский университет, Дания, отдел геонаук, Северная Люминесцентная лаборатория, проф.; e-mail: andrew.murray@geo.au.dk

⁴ Институт географии РАН, лаборатория эволюционной географии, главный науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: olgakborisova@gmail.com

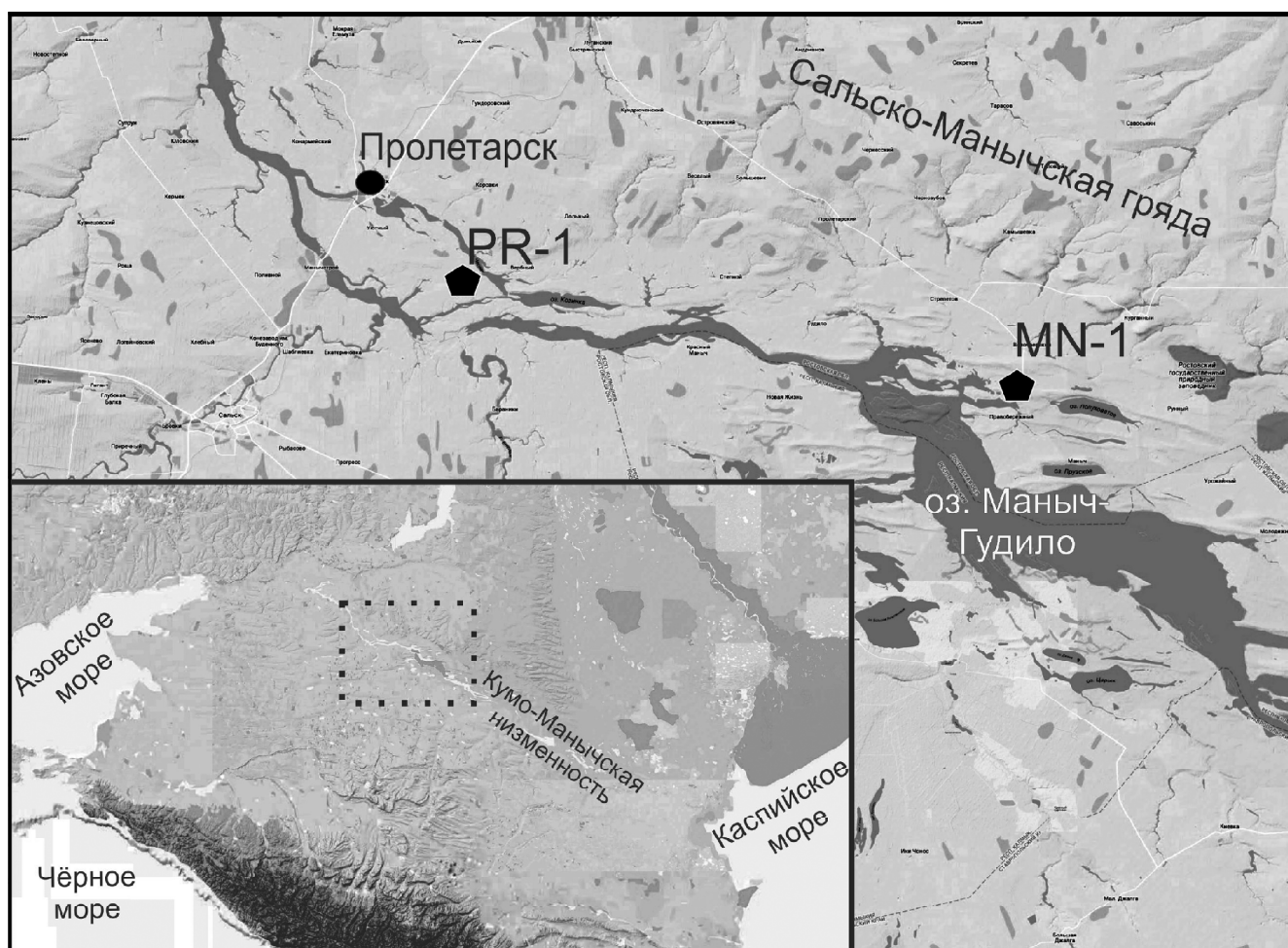


Рис. 1. Район исследования, изученные скважины MN-1 и PR-1

Fig. 1. Study area, cores MN-1 and PR-1

риалов описаны Г.И. Поповым [1957, 1961, 1967]. Г.И. Горецкий отождествлял их с верхнехазарскими отложениями Прикаспия; Г.И. Попов – сначала с хвалынскими [Попов, 1957, 1961], затем им сделано заключение о самостоятельной гирканской трансгрессии Каспия [Попов, 1967, 1983]. Характерные черты ее малакофаунистического облика – преобладание в составе дидакн *Didacna cristata*, *D. subcattillus*, *D. hircana*, присутствие тепловодного пресноводного вида *Corbicula fluminalis*. П.В. Федоров [1978], проанализировав материалы бурения, отнес «гирканские» осадки к позднехазарской трансгрессии Каспия. Большинство исследователей [Свиточ с соавт., 1997, 1998, 2010; Шкатова, 2005, 2006; Shkatova, 2010; Dolukhanov et al., 2009 и др.] приняли точку зрения П.В. Федорова, «исключив» гирканский трансгрессивный бассейн из плейстоценовой истории Каспия и, соответственно, Маныча.

В последние годы вернуться к проблеме существования самостоятельного гирканского этапа в плейстоценовой истории Каспия позволили материалы бурения в акватории Северного Каспия [Янина с соавт., 2014; Bezrodnykh et al., 2015; Sorokin et al., 2017]. В научной литературе вновь открыта дискус-

сия по этому вопросу [Лаврушин с соавт., 2014; Бадюкова, 2015; Рычагов, 2016; Свиточ, Макшаев, 2017; Yanina et al., 2017]. Вопрос о гирканском этапе в истории Каспийского региона не теряет своей остроты.

В 2016 г. совместной экспедицией Института географии РАН и географического факультета МГУ в центральной части Манычской депрессии (Ростовская область) было выполнено бурение двух скважин глубиной около 40 м (рис. 1). Комплексное изучение керна позволило нам внести вклад в решение вопроса о существовании гирканского пролива в Манычской депрессии в позднем плейстоцене.

Материал и методы исследований. Скважина 1 (PR-1) глубиной 40,2 м пробурена ударно-канатным способом в 7 км к юго-западу от г. Пролетарск (Пролетарский район), абс. высота 17,50 м. Скважина 2 (MN-1) глубиной 42,0 м пробурена в 5 км к северо-северо-западу от пос. Маныч (Орловский район), абсолютная высота 19,17 м. Плановая и высотная фиксация скважин, а также съемка прилегающих к ним характерных форм и элементов рельефа выполнены с использованием дифференциальной системы приемников спутникового позиционирования Leica

System 1200. Диаметр керна 15 см. Из керна произведен сплошной отбор образцов на комплексный палеогеографический анализ. Нами выполнены гранулометрический, фаунистический, спорово-пыльцевой, геохронологический (радиоуглеродное и опτικο-люминесцентное датирование) анализы.

Гранулометрический анализ выполнен в лаборатории ИГ РАН методом лазерной дифрактометрии на приборе Malvern Masterizer 3000. Изучение механического состава проводилось для каждого десяти сантиметров керна, без предварительной обработки. Изучено 200 образцов для скважин MN-1 и PR-1, полностью охватывающих интервал гирканских отложений, а также верхнюю часть подстилающих карангатских и основание вышележащих буртасских осадков.

Фаунистическими (малакофаунистическими) исследованиями охвачены все включающие раковины моллюсков и их обломки отложения керна: изучение тафономических особенностей раковинного материала, его систематический и статистический анализ, биостратиграфические и палеоэкологические реконструкции.

Палинологические исследования полученных кернов носят предварительный характер. Применение сепарационного метода подготовки образцов с использованием тяжелой жидкости [Гричук, 1940] позволило выделить из отложений гирканского интервала скважины MN-1 пыльцу и споры в достаточном для анализа количестве, тогда как из большинства других слоев получить репрезентативные материалы для анализа не удалось.

Радиоуглеродное датирование раковин моллюсков выполнено сцинтилляционным методом в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана Института наук о Земле СПбГУ. Значения календарного возраста получены на основании калибровочной программы «OxCal 4.2» (калибровочная кривая «IntCal 13»). Christopher Bronk Ramsey (<https://c14.arch.ox.ac.uk>).

Датирование разновозрастных отложений из керна скважины MN-1 методом оптически-стимулированной люминесценции (ОСЛ) выполнено в Северной люминесцентной лаборатории Riso Орхусского Университета. Это первый опыт ОСЛ-датирования осадочных образований Манычской депрессии. Образцы для него отобраны в светонепроницаемый материал из интервалов керна с наиболее сохранной структурой осадков. В лабораторных условиях выполнена их стандартная подготовка [Murray, Wintle, 2000] к датированию. Образцы из гирканских отложений представлены суглинками и глинами с незначительной примесью алеврита и мелкого песка. Методом влажного ситования материал разделен на фракции 63–90, 90–180, 180–250 микрон. Дальнейшая работа выполнена с осадками фракций 90–180 и 63–90 микрон. После последовательной их обработки раствором перекиси водорода, соляной и плавиковой кислот, при помощи тяжелой жидкости (поливольфрамата натрия) проведена сепарация зерен полевого

шпата и кварца, по которым и выполнялось датирование.

Естественная оптическая люминесценция полученных образцов полевого шпата и кварца измерена на стандартном ТЛ/ОСЛ-ридере Riso (модель DA-20). Для построения кривой насыщения и определения эквивалентной дозы зерна подверглись воздействию излучения бета-источника – изотопа стронций-90. В обоих образцах эквивалентные дозы для зерен кварца оказались близкими к насыщению, отражая возраст, близкий к пределу метода. В связи с этим абсолютный возраст был получен по полемому шпату с применением лабораторного протокола post-IR IRSL при температуре 290 °C [Buylaert et al., 2012]. Определение скорости накопления дозы – активности радионуклидов в образцах выполнено на высокоточном гамма-спектрометре с полупроводниковым детектором на основе особо чистого германия по методике [Murray, Wintle, 2000].

Результаты исследований и их обсуждение. В керне скважины MN-1 (рис. 2) в интервале 35,50–31,80 м залегают суглинки и глины темно-серого цвета с примесью алеврита, включающие раковины морских карангатских моллюсков. Над ними вскрыт маломощный (31,80–29,20 м) слой суглинка с заметным увеличением примеси тонкозернистого песка, светло-серого цвета, с многочисленными, равномерно распределенными по слою, раковинами как каспийских (преобладают), так и черноморских моллюсков. Выше (29,20–24,70 м) залегают легкие суглинки-супеси с прослоями алеврита и раковинами каспийских моллюсков. Они перекрыты (24,70–15,60 м) однородными серыми глинами с конкрециями карбонатов, с крупными зернами гипса, с пятнами ожелезнения, с мелкими обломками пресноводных раковин.

Гранулометрический анализ описанного интервала керна показал (рис. 3), что отложения представлены переходными разностями от суглинков до глин. Отложения карангатского горизонта в основании изученного разреза скважины MN-1 в интервале 35,0–33,4 м представлены глинами алевритовыми, содержание глинистых частиц 50–55%, алеврита 40–45%, тонкого и мелкого песка до 5%. Выше до глубины 32,1 м отмечается постепенное увеличение содержания алеврита (до 70%), отложения представлены алевритом сильноглинистым. Фациальные особенности отложений с карангатской фауной отвечают спокойным условиям глубокого ингрессионного залива.

Выше по разрезу происходит резкая смена характера отложений. В интервале глубин 32,0–31,1 м породы представлены алевритом песчаным, отмечается резкое увеличение содержания частиц песчаной размерности (9% мелкозернистого и 15 тонкого песка) при общем доминировании алеврита (60–65%). Обогащенный песком горизонт залегает в основании слоя с включениями фауны как каспийских, так и черноморских моллюсков. Выше по разрезу отмечается постепенный переход к алевритам

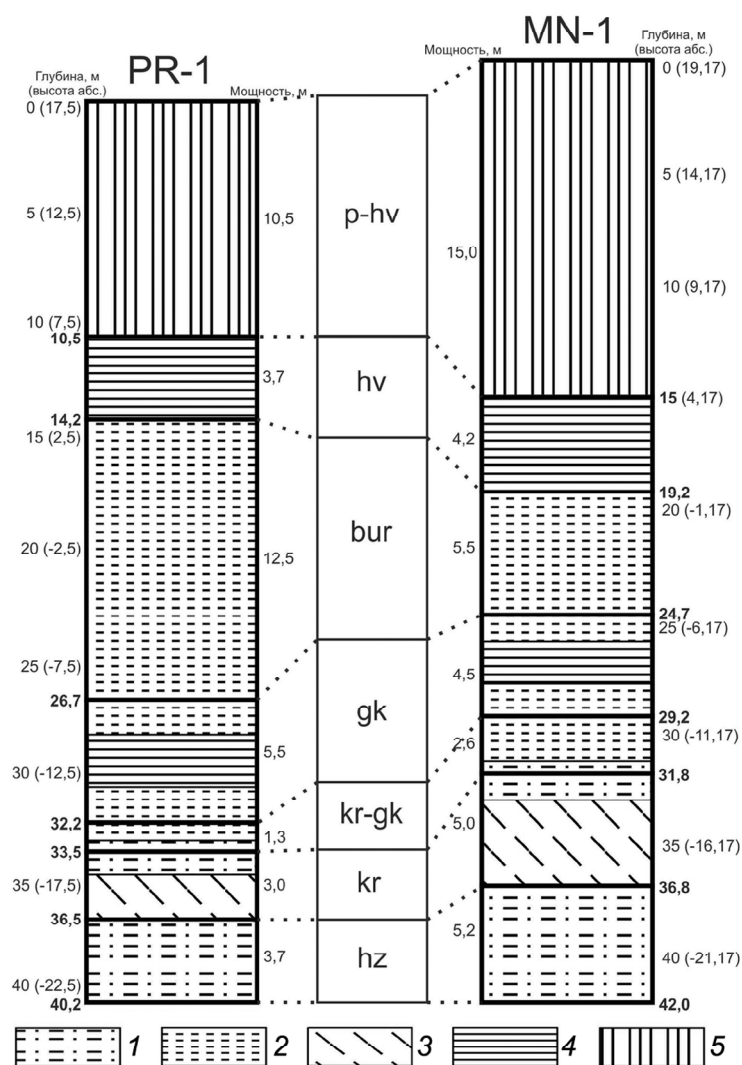


Рис. 2. Схема строения скважин MN-1 и PR-1. Условные обозначения: 1 – супесь, 2 – алевроит и суглинок, 3 – глина и суглинок, 4 – суглинок, 5 – лессовидные суглинки. Стратиграфические подразделения: p-hv – пост-хвалынский горизонт; hv – хвалынский горизонт; bur – буртасский горизонт; gk – гирканский горизонт; gk-kr – переходный гирканский-карангатский горизонт; kr – карангатский горизонт; hz – хазарский горизонт

Fig. 2. Diagram of the structure of MN-1 and PR-1 cores: 1 – sandy loam, 2 – aleurite/loam, 3 – clay and loam, 4 – loam, 5 – loess-like loam. Stratigraphic units: p-hv – Post-Khvalynian horizon; hv – Khvalynian horizon; bur – Burtas horizon; gk – Hyrcanian horizon; gk-kr – transitional Hyrcanian-Karangatian horizon; kr – Karangatian horizon; hz – Khazarian horizon

сильноглинистым и с 31,1 до 29,5 м в составе пород доминируют алевроитовая (60%) и пелитовая (30%) составляющие. Содержание мелкого и тонкого песка не превышает 8–9%. Гранулометрический состав интервала указывает на существование потока в центральной части Маньчской депрессии в начальные этапы проникновения каспийских вод. Далее условия осадконакопления сменились на более спокойные глубоководные, для которых, однако, неоднородность состава указывает на незначительную смену в динамическом режиме. Верхняя часть разреза, в которой отмечается наличие раковин каспийских моллюсков гирканского облика, представлена глинами алевроито-песчаными (29,5–27,6 м), постепенно переходящими в глины алевроитовые (27,6–25,7 м)

и алевроит глинистый (25,7–24,0 м). Доминирование глинистых и алевроитовых частиц отражает наиболее спокойные и глубоководные условия озерного осадконакопления – время существования в центральной части Маньчской депрессии широкого пролива и относительно глубоководного озера.

В керне скважины PR-1 строение разреза аналогичное (рис. 2). В интервале 36,20–32,70 м залегают супесчано-глинистые осадки с раковинами морских карангатских моллюсков. Над ними до глубины 31,80 м – слой глинистых отложений, содержащих смесь раковин морских и каспийских моллюсков. Он перекрыт (31,80–26,70 м) супесями серо-бежевого цвета, с тонкими прослоями алевроита, с многочисленными раковинами каспийских моллюсков. Выше залегают озерные осадки.

Очевидно, что в строении описанной части керна обеих скважин последовательно отражены 4 палеогеографических события в истории центральной части Маньчской депрессии: (1) ингрессионный залив карангатской трансгрессии Черного моря, характеризующийся спокойными (до застойных) условиями осадконакопления; (2) водоем, указывающий на смешение черноморских и каспийских вод, с усилившейся активностью водной среды; (3) бассейн с каспийскими водами, довольно хорошо аэрируемый за счет активности водной массы; (4) водоем озерного типа, сильно опресненный или пресноводный, отвечающий буртасскому (гудиловскому) озеру [Горецкий, 1953; Попов, 1955, 1983].

Малакофаунистический анализ выполнен для всех отложений, содержащих как целые раковины моллюсков, так и их обломки разной размерности (вплоть до детрита). Результаты для предположительно гирканских осадков, а также для подстилающих и перекрывающих их слоев, показаны в табл. 1. Анализ выполнен для каждых 10 см в выбранных интервалах керна. Видовой состав в них близок, что позволило не выделять в составе интервалов дробные составные части.

Керн скважины PR-1 в интервале 36,20–32,70 м включает раковины морских черноморских видов, в составе которых преобладают эвригалинные (*Cardium edule*, *Mytilaster lineatus*) и умеренно стеногалинные (*Ostrea edulis*, *Chione gallina*) виды, определяющие фаунистический облик сообщества в целом. Раковины других морских видов (*Cardium exiguum*, *Loripes lacteus*, *Paphia senescens*) встречаются редко. Стеногалинные виды отсутствуют. Сообщество малакофауны характеризует морские условия с соленостью бассейна 20–22‰. Его тафономические особенности: преобладание целых раковин разного размера и толщины створок, наличие раковин как взрослых особей, так и молоди, их хао-

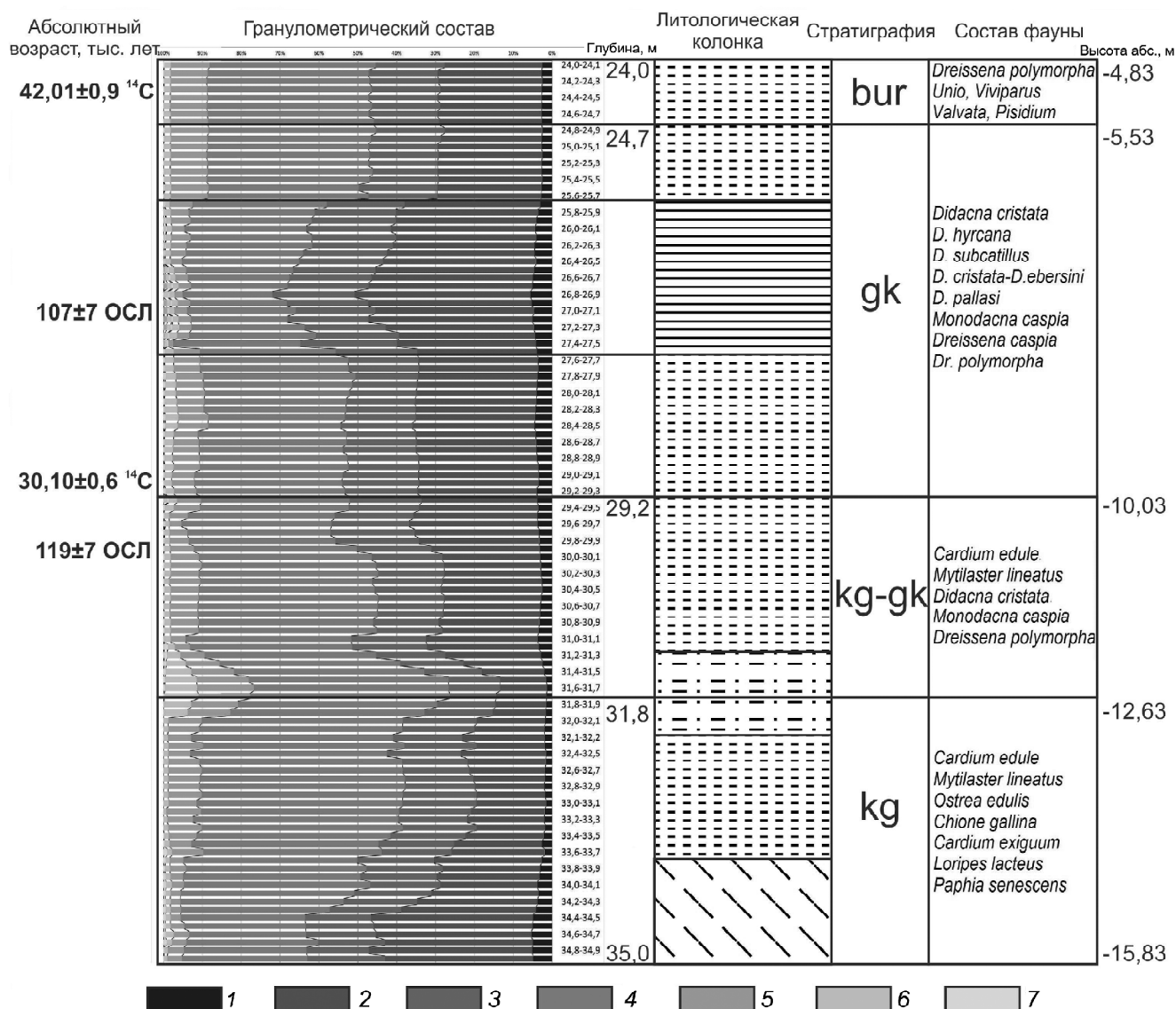


Рис. 3. Схема строения изученного интервала ядра скважины MN-1. Условные обозначения: размер фракции, мм: 1 – 0,0001–0,001; 2 – 0,001–0,005; 3 – 0,005–0,01; 4 – 0,01–0,05; 5 – 0,05–0,1; 6 – 0,1–0,2; 7 – 0,25–0,5

Fig. 3. Structure of the studied interval of MN-1 core. Fraction size, mm: 1 – 0,0001–0,001; 2 – 0,001–0,005; 3 – 0,005–0,01; 4 – 0,01–0,05; 5 – 0,05–0,1; 6 – 0,1–0,2; 7 – 0,25–0,5

тичное положение, присутствие обломочного материала разной размерности, отсутствие следов окатанности и переотложения – свидетельствуют о близости тафоценоза биоценозу и о его обитании в слабо динамичных условиях бассейна. Его глубина, судя по экологическим предпочтениям преобладающих видов, не превышала 20 м. На основании вида *Paphia senescens*, характерного только для карангатской трансгрессии Понта, возраст сообщества определен как карангатский. Аналогичная малакофауна определена в ядре скважины MN-1 в интервале 35,50–31,80 м.

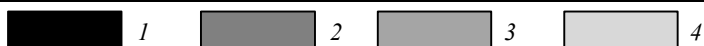
Осадки интервала 32,70–31,80 м скважины PR-1 и интервала 31,80–29,20 м скважины MN-1 содержат как представителей морской черноморской фауны (*Cardium edule*, *Mytilaster lineatus*, обломки *Ostrea edulis*), так и раковины солоноватоводных

каспийских видов (*Didacna cristata*, *Monodacna caspia*), присутствуют пресноводные (слабо солоноватоводные) *Dreissena polymorpha*. Морские виды (*Cardium edule* и *Mytilaster lineatus*) являются представителями самой эвригалинной карангатской фауны. Представители каспийских моллюсков (*Didacna cristata*) относятся к характерным видам гирканской трансгрессии Каспия. Тафономические особенности комплекса: залегание раковин *Cardium* в двух створках, хорошей сохранности целые створки дидакн и даже тонкостворчатых монодакн – характеризуют условия спокойного водоема и близкое соответствие биоценозу. Редкие обломки устриц, не отвечающие экологическим предпочтениям остальных видов, очевидно, переотложены. Видовой состав сообщества моллюсков свидетельствует о смешении вод карангатской трансгрес-

Таблица 1

Малакофаунистический анализ керна

Состав малакофауны		Скважины							
		PR-1				MN-1			
		Интервалы керна, см							
		36,20–32,70	32,70–31,80	31,80–26,70	26,70–16,50	35,50–31,80	31,80–29,20	29,2–24,7	24,70–15,60
<i>Cardium edule</i>	Морская черноморская								
<i>C. exiguum</i>									
<i>Ostrea edulis</i>									
<i>Mytilaster lineatus</i>									
<i>Chione gallina</i>									
<i>Loripes lacteus</i>									
<i>Paphia senescens</i>									
<i>Donax sp.</i>									
<i>Bittium reticulatum</i>									
<i>Didacna cristata</i>	Солоноватоводная каспийская								
<i>D. cristata-D. ebersini</i>									
<i>D. subcatillus</i>									
<i>D. pallasi</i>									
<i>D. hyrcana</i>									
<i>Monodacna caspia</i>									
<i>Dreissena caspia</i>									
<i>Dreissena polymorpha</i>	Пресноводная								
<i>Unio sp.</i>									
<i>Viviparus fasciatus</i>									
<i>Valvata piscinalis</i>									
<i>Sphaerium</i>									
<i>Pisidium</i>									
Фаунистические комплексы		Карангатский	Карангатско-гирканский	Гирканский	Буртасский	Карангатский	Карангатско-гирканский	Гирканский	Буртасский



Относительное количество раковин вида в слое: 1 – преобладают (60–80%), 2 – многочисленные (40–60%), 3 – редкие (10–30%), 4 – единичные (1–10%)

сии Понта и гирканской трансгрессии Каспия, соленость бассейна не превышала 10–12‰.

Отложения интервалов керна 31,80–26,70 м в скважине PR-1 и 29,2–24,7 м в скважине MN-1 включают только представителей каспийской фауны: *Didacna cristata*, *D. hyrcana*, *D. subcatillus*, *D. cristata-D. ebersini*, *D. pallasi*, *Monodacna caspia*, *Dreissena caspia*, а также полиморфные дрейссены, которые отлично приспособились к обитанию в опресненных каспийских водах. Все раковины прекрасной сохранности, некоторые из них находятся в двух створках, что не вызывает сомнений об инситу нахождении фаунистического сообщества и его близости биоценозу. Бассейн характеризовался спокойными условиями осадконакопления, его соленость была 7–8 ‰. Видовой состав раковин дидакн характерен для гирканской фауны, описанной Г.И. Поповым [1983] в отложениях Маныча и северо-западного Прикаспия.

В залегающих выше осадках керна обеих скважин (26,70–16,50 м и 24,70–15,60 м) содержатся раковины пресноводных моллюсков: *Dreissena polymorpha*, виды родов *Unio*, *Viviparus*, *Valvata*, *Sphaerium*, *Pisidium*. Они характеризуют пресноводный водоем, очевидно, буртасское озеро, описанное Г.И. Горецким [1953] и Г.И. Поповым [1957, 1983].

На основании фаунистического анализа описанных выше интервалов керна двух скважин можно выделить четыре разновозрастных комплекса, характеризующих разные в палеогеографическом отношении бассейны: карангатский, карангатско-гирканский, гирканский и буртасский. Гирканский фаунистический комплекс не вызывает сомнения в его идентичности гирканскому комплексу (фауне), впервые систематически описанному Г.И. Поповым [1983].

Спорово-пыльцевой анализ. По соотношению пыльцы древесных и травянистых растений

пыльцевые спектры гирканской толщи в скв. MN-1 относятся к степному типу (содержание пыльцы трав и кустарничков составляет 66%, причем внутри этой группы преобладает пыльца маревых (48%), полыней (30%) и злаков (21%). Пыльца полыней в этом горизонте принадлежит в основном к *Artemisia* s. g. *Seriphidium*. Представители этого подрода полыни характерны для зоны степей. Большим разнообразием здесь отличается пыльца разнотравья – растений из семейств астровых, гречишных, яснотковых (губоцветных), мареновых, лютиковых, сельдерейных (зонтичных), гвоздичных, и др. Находки пыльцы хвойника (*Ephedra*), терескена (*Eurotia Myriophyllum* и др.), а также многоклеточные зеленые водоросли – *Botryococcus* и *Pediastrum*.

Пыльца деревьев и кустарников составляет менее трети (27%) спектра. Около 37% древесной пыльцы принадлежит сосне (*Pinus sylvestris*). Кроме того, обнаружена пыльца ольхи (21%), березы, широколиственных пород (дуба, вяза, липы, лещины) и, единично, граба, ясеня и ивы. Лесные сообщества в это время, вероятно, играли небольшую роль в растительности территории и были сосредоточены в речных долинах и по днищам балок, в условиях лучшего грунтового увлажнения (пойменные и байрачные леса). В небольшом количестве встречается также дальнезаносная пыльца (*Picea*, *Abies*, *Fagus* и др.), источником которой могли быть леса в предгорьях Кавказа. Немногочисленная группа спор (около 5% спектра) представлена почти исключительно спорами папоротников *Polypodiaceae*.

Обилие переотложенных древних (третичных и мезозойских) микрофоссилий свидетельствует о процессах размыва, происходивших на водосборе гирканского бассейна, и о динамичной обстановке осадконакопления в водной среде.

Радиоуглеродное и ОСЛ-датирование. Радиоуглеродное датирование раковин гирканских каспийских и буртасских пресноводных моллюсков, отобранных из керна скважины MN-1, выполнено сцинтилляционным методом (табл. 2). Значения календарного возраста получены на основании калибровочной программы «OxCal 4.2» (калибровочная кривая «IntCal 13»). Christopher Bronk Ramsey (<https://c14.arch.ox.ac.uk>).

Согласно результатам радиоуглеродного датирования, время существования гирканского бассейна в центральной части Манычской депрессии оце-

нивается около 30 тыс. лет назад. Возраст сменившего его буртасского озерного бассейна – 42–43 тыс. лет назад.

Датирование ОСЛ методом гирканских отложений показало иной результат. В изученных образцах из скважины MN-1 люминесцентный сигнал в зернах кварца оказался близок к пределу насыщения, отражая возраст более 50 тыс. лет, что при столь высоких скоростях накопления дозы не позволяет использовать стандартный SAR-протокол для определения абсолютного возраста гирканских отложений Маныча. В связи с этим была изучена оптическая люминесценция полевых шпатов. Применен протокол pIRIR290 [Buylaert et al., 2012], нашедший в настоящее время широкое применение при датировании отложений возрастом более 50 тыс. лет. Восемь навесок полевого шпата для каждого образца были предварительно нагреты до температуры 320 °C, после чего измерена естественная накопленная доза при температуре 50 °C и 290 °C. Для построения кривой насыщения зерна полевых шпатов были облучены фиксированной дозой бета-излучения: 100, 300 и 1000 Гр. Полученная кривая насыщения позволила определить эквивалентную дозу 357,3 Гр для образца 170 845 и 359,0 Гр для 170 846 (табл. 3). Из тринадцати аликвот образца 170 845 лишь для одной измеренные показатели дозы отличались от тестовой более чем на 10%, в связи с чем результат был отбракован. Остальные 12 аликвот показали результат со стандартным отклонением ±6%. Еще более точно удалось определить эквивалентную дозу для образца 170 846 (стандартное отклонение ±4,5% для 12 навесок). Стандартные тесты, восстановление дозы и скорости обнуления, показали высокую однородность люминесцентного сигнала, высокую надежность определения накопленной дозы. Таким образом, определенные эквивалентные дозы характеризуются высокой степенью надежности.

Измерения активности образцов на гамма-спектрометре показали высокие значения скорости накопления дозы от 3,35 до 3,03 Гр в тысячу лет. Столь высокие показатели определены повышенным содержанием изотопов U-238, Th-232 и K-40. В целом, указанные величины характерны для морских глинистых отложений.

Интервал керна с глубины 27,0–27,1 м по результатам ОСЛ-датирования охарактеризован возрас-

Таблица 2

Результаты радиоуглеродного датирования, скважина MN-1

Лабораторный номер	Интервал керна, м	Материал датирования	Радиоуглеродный возраст, лет	Калиброванный возраст, кал.лет
ЛУ-8673	24,2–24,5	Раковины <i>Viviparus</i> sp., <i>Dreissena polymorpha</i>	37600±1070	42010±910
ЛУ-8553	29,2–29,3	Раковины <i>Didacna cristata</i> , <i>Dreissena polymorpha</i>	25970±590	30100±580

Таблица 3

Результаты ОСЛ-датирования карангатско-гирканских и гирканских отложений, скважина MN-1

Номер образца			Интервал керн	Эквивалентная доза, Гр	Скорость накопления дозы, Гр/тыс. лет	Количество аликвот	Весовая влажность, %	ОСЛ возраст, тыс. лет
17	08	45	27,0–27,1	357,3±18	3,35±0,14	12	15	107±7
17	08	46	29,9–30,0	359,0±12	3,03±0,14	12	15	119±7

том 107±7 тыс. лет, для интервала керн 29,9–30,0 м получена датировка 119±7 тыс. лет (табл. 3).

При сравнении ^{14}C и ОСЛ датировок гирканских отложений керн очевидно их значительное расхождение. Согласно результатам радиоуглеродного датирования, гирканский бассейн существовал в эпоху брянского межстадиала (МИС 3); по данным ОСЛ анализа – в переходную эпоху от микулинского межледникового к калининскому оледенению (МИС 5с).

По нашему мнению верны результаты ОСЛ датирования. Обоснованием этому служит следующее:

1. В строении отложений Манычской депрессии наблюдается сложное сочетание карангатских и гирканских осадков, а также перекрытие карангатских отложений гирканскими. Это свидетельствует об относительной синхронности завершающих стадий развития карангатской трансгрессии Понта и начальных стадий развития гирканской трансгрессии Каспия, а также о достижении центральной части Манычской депрессии ее водами в эпоху спада уровня карангатского бассейна и его регрессивной тенденции. Время существования карангатского бассейна всеми специалистами определяется как МИС 5. Серией торий-урановых датировок возраст всей карангатской эпохи оценен в 140–70 тыс. лет [Арсланов с соавт., 1975; Arslanov, 1993]. Ни у кого из исследователей не вызывает сомнений, что трансгрессия достигла своих максимальных значений в эпоху микулинского межледникового (МИС 5е). Именно в этот период образовался глубокий ингрессионный залив в Манычской депрессии. Снижение уровня карангатского межледникового бассейна началось вслед за снижением уровня Мирового океана в условиях начальных стадий ледниковой эпохи. Снижение его уровня привело к освобождению Манычской депрессии от карангатских вод и заполнению ее водами наступающей гирканской трансгрессии. Палеогеографическая ситуация, характеризующая отступление карангатского залива до центральной части депрессии, отражена в строении керн скважин.

2. В Северном Каспии гирканские отложения с размывом залегают на верхнехазарских, обе толщи достоверно охарактеризованы фаунистически [Янина с соавт., 2014; Sorokin et al., 2017]. Временной интервал развития двух этих бассейнов определен ОСЛ методом в Нижнем Поволжье [Янина с соавт.,

2017]: он отвечает МИС 5. Максимум позднехазарской трансгрессии датирован уран-ториевым методом в 127–122 тыс. лет [Шкатова, 2005]. Отсюда следует, что гирканская трансгрессия имела место во вторую половину МИС 5.

3. Косвенно о справедливости ОСЛ датировок свидетельствуют и полученные нами результаты спорово-пыльцевого анализа. Палинологический спектр из гирканских осадков отвечает более теплой климатической эпохе, близкой к межледниковой, нежели эпоха межстадиала МИС 3.

Радиоуглеродная дата буртасских озерных отложений, перекрывающих гирканские, близка к предельной для датирования сцинтилляционным методом. Более поздняя (на 12 тыс. лет) дата для залегающих ниже осадков, очевидно, является существенно омоложенной, реальный возраст гирканских отложений находится вне пределов возможностей радиоуглеродного метода.

Таким образом, в строении керн скважин, пробуренных в центральной части Манычской депрессии, нами установлены каспийские гирканские отложения. Для их фаунистического состава характерны виды рода *Didacna* Eichwald: *D. cristata*, *D. hyrcana*, *D. subcatillus*. Видовой состав моллюсков свидетельствует о его принадлежности к гирканской фауне Каспия и о солености бассейна около 7–8 ‰. Гранулометрический состав осадков указывает на существование потока в центральной части Манычской депрессии. Очевидно, это был гирканский пролив, что доказывается залеганием гирканских отложений на всем протяжении депрессии [Попов, 1983], а также находками представителей гирканской малакофауны в тарханкутских отложениях (завершение карангатской эпохи) приманычского района Понта [Янина, 2005]. Согласно результатам ОСЛ анализа, время существования пролива оценивается серединой и второй половиной эпохи МИС 5: дата 107±7 тыс. лет для средней части гирканской толщи.

Гирканскому проливу предшествовал этап первого проникновения вод гирканской трансгрессии в центральную часть Манычской депрессии. Об этом свидетельствует смешанный (карангатско-гирканский) состав малакофауны в отложениях керн, подстилающих осадки гирканского пролива: *Didacna cristata*, *Monodacna caspia*, *Cardium edule*, *Mytilaster lineatus*. Вряд ли в палеогеографическом отношении это начальный этап пролива, размывшего карангатские отложения, ибо ракови-

ны черноморских моллюсков часто имеют неразомкнутые створки. По-видимому, в строении кер-на отражен этап впадения гирканского пролива в карангатский залив Понта, отступивший к этому времени в центральную часть Манычской депрессии. Гранулометрический анализ подтверждает условия залива с усилением динамики водной среды. Этап датирован ОСЛ методом в 119 ± 7 тыс. лет назад.

Гипсометрическое положение отложений гирканского возраста в обеих скважинах соответствует высотам от $-15 \dots -13$ м до $-9,5 \dots -8,9$ м (абс.). Литологическая характеристика осадков – плотные однородные суглинки и глины, а также наличие ин-ситной фауны, иногда в двух створках, позволяет говорить о донном характере осадков, их естественном ненарушенном положении. Таким образом, дно гирканского пролива в центральной части Манычской депрессии находилось на абсолютных высотах от -13 до -9 м (абс.). Тип отложений и распределение фауны позволяет говорить о спокойном характере осадконакопления и существовании значительного расширения пролива в центральной части Манычской депрессии.

Результаты палинологического изучения гирканских слоев из скважины MN-1 позволяют заключить, что во время их накопления данная территория принадлежала к степной зоне. Разнотравно-злаковые степи, распространенные на междуречьях и пологих склонах, сочетались с небольшими участками сосновых и березовых остепненных лесов на почвах легкого механического состава, с байрачным и лесами и кустарниками и с разнообразными прибрежными и пойменными сообществами. Участие интразональных лесных сообществ в растительном покрове не достигало «лесостепного уровня», однако растительность была более мезофильной по сравнению с дерновинно-злаковыми и полынно-типчачовыми сухими степями, характерными для данной территории в настоящее время. Такая реконструкция отражает интерстадиальные (относительно прохладные, с меньшими сезонными контрастами и большим увлажнением) климатические условия второй поло-

вины морской изотопной стадии 5 – МИС 5с-5а, что вполне соответствует полученным ОСЛ-датировкам.

Выводы:

– в истории Манычского пролива начало позднего плейстоцена (MIS 5e) было охарактеризовано глубоким проникновением в Манычскую депрессию ингрессионного залива карангатской межледниковой трансгрессии Черного моря. Его воды имели довольно высокую (не менее 18–20‰) соленость, позволившую существование богатого черноморского комплекса моллюсков;

– переходный этап к ледниковой эпохе (MIS 5d) привел к постепенному отступанию вод карангатского залива из Манычской депрессии и стягиванию их в Черноморскую котловину. Завершился этот этап развитием гирканского пролива Каспия;

– гирканский пролив имел опресненные солоноватые каспийские воды (соленость 8–7‰). Его фаунистический облик составляли моллюски *D. cristata*, *D. hyrcana*, *D. subcatillus*, *Monodacna caspia*, *Dreissena polymorpha*;

– дно гирканского пролива в центральной части Манычской депрессии находилось на абсолютных отметках от -13 м до -9 м. Пролит имел спокойные условия осадконакопления, очевидно, обусловленные его значительным расширением в центральной части депрессии;

– впервые полученные для карангатско-гирканских и гирканских отложений ОСЛ датировки составляют, соответственно, 119 ± 7 и 107 ± 7 тыс. лет назад, определяя эпоху существования пролива как вторую половину стадии МИС 5;

– ландшафты центральной части Манычской депрессии в эпоху функционирования гирканского пролива отвечали интерстадиальным (относительно прохладным, с меньшими сезонными контрастами и большим увлажнением по сравнению с современными) климатическим условиям;

– морская эпоха развития центральной части Манычской депрессии сменилась во второй половине позднего плейстоцена длительной озерной фазой ее развития – периодом существования Буртасского озера.

Благодарности. Экспедиционные исследования и начальные этапы аналитической работы были выполнены в рамках проекта РНФ № 14-17-00705. В настоящее время они ведутся при финансовой поддержке проекта РНФ № 16-17-10103. Авторы искренне признательны старшим научным сотрудникам кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ В.Р. Беляеву и Е.В. Гаранкиной за помощь в организации и проведении полевых работ, а также студентам кафедры, принявшим в них участие. Наша благодарность профессору Х.А. Арсланову за радиоуглеродное датирование раковинного материала, старшему научному сотруднику ИГ РАН Е.А. Константинову и студентке А. Рудинской за организацию и выполнение гранулометрического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арсланов Х.А., Герасимова С.А., Измайлов Я.А. О возрасте голоценовых и верхнеплейстоценовых отложений черноморского побережья Кавказа и Керченско-Таманского района // Бюл. комис. по изуч. четверт. периода. 1975. № 44. С. 107–110.
- Бадюкова Е.Н. История колебаний уровня Каспия в плейстоцене (была ли великая хвалынская трансгрессия?) // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода. 2015. № 74. С. 111–120.
- Горецкий Г.И. Аллювиальная летопись великого Пра-Днепра. М.: Наука, 1970. 492 с.
- Горецкий Г.И. О гирканском этапе в истории Прикаспия // Новости нефтяной техники. 1957. № 6. С. 3–5.
- Горецкий Г.И. О палеогеографии Приазовья и Западного Приманьчья в узунларско-гирканский и буртасский века // Вопросы географии. 1953. Сб. 33. С. 190–221.
- Гричук В.П. Методика обработки осадочных пород, бедных органическими остатками, для целей пылецевого анализа // Проблемы физической географии. 1940. Вып. 8. С. 53–58.
- Лаврушин Ю.А., Спиридонова Е.А., Тудрун А., Шали Ф., Антипов М.П., Кураленко Н.П., Курина Е.Е., Тухолка П. Каспий: гидрологические события позднего квартала // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. 2014. № 73. С. 19–51.
- Попов Г.И. Гирканская трансгрессия в Северном Прикаспии // Бюл. Комис. по изуч. четверт. периода. 1967. Т. 33. С. 77–86.
- Попов Г.И. История Маньчского пролива в связи со стратиграфией черноморских и каспийских отложений // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1955. Т. 20. Вып. 2. С. 31–49.
- Попов Г.И. Корреляция морских и континентальных четвертичных отложений Понто-Каспийской области // Геология четвертичного периода (плейстоцен). Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1977. С. 163–169.
- Попов Г.И. Корреляция черноморских и каспийских четвертичных отложений // Материалы Всесоюз. совещ. по изучению четвертичного периода. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 2.
- Попов Г.И. Плейстоцен Черноморско-Каспийских проливов. М.: Наука, 1983. 216 с.
- Попов Г.И. Сравнительная стратиграфия четвертичных отложений Маньчского пролива, Каспия и Эвксина // Тр. Комис. по изуч. четверт. периода. 1957. Т. 13. С. 65–73.
- Рычагов Г.И. Гирканский этап в истории Каспийского моря // Геоморфология. 2016. № 1. С. 3–17.
- Свиточ А.А., Селиванов А.О., Янина Т.А. Палеогеографические события плейстоцена Понто-Каспия и Средиземноморья (материалы по реконструкции и корреляции). М.: РАСХН, 1998. 288 с.
- Свиточ А.А., Янина Т.А. Четвертичные отложения побережий Каспийского моря. М.: РАСХН, 1997. 264 с.
- Свиточ А.А., Янина Т.А., Новикова Н.Г. и др. Плейстоцен Маньча (вопросы строения и развития). М.: Географический факультет МГУ, 2010. 136 с.
- Свиточ А.А., Макшаев Р.Р. Взаимосвязи палеогеографических событий в Понт-Маньч-Каспийской системе в позднем плейстоцене–голоцене // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 2. С. 24–32.
- Федоров П.В. Плейстоцен Понто-Каспия. М.: Наука, 1978. 165 с.
- Шкатова В.К. Палеогеографическая реконструкция и хронология позднеплейстоценовых бассейнов Каспия // Квартер-2005. Сыктывкар: Геопринт, 2005. С. 463–466.
- Шкатова В.К. Региональная стратиграфическая схема квартала Нижневолжского (Каспийского) региона // Позднекайнозойская геологическая история севера аридной зоны. Ростов-на-Дону. 2006. С. 175–180.
- Янина Т.А. Депрессия Маньча как область миграций фауны Понто-Каспия в плейстоцене // Геоморфология. 2006. № 4. С. 97–106.
- Янина Т.А. Дидакны Понто-Каспия. М.-Смоленск: Маджента, 2005. 300 с.
- Янина Т.А. Неоплейстоцен Понто-Каспия: биостратиграфия, палеогеография, корреляция. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012. 264 с.
- Янина Т.А., Свиточ А.А., Курбанов Р.Н., Мюррей А.С., Ткач Н.Т., Сычев Н.В. Опыт датирования плейстоценовых отложений Нижнего Поволжья методом оптически стимулированной люминесценции // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2017. № 1. С. 21–29.
- Янина Т.А., Сорокин В.М., Безродных Ю.П., Романюк Б.Ф. Гирканский этап в плейстоценовой истории Каспийского моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 3. С. 3–9.
- Arslanov Kh.A. Late Pleistocene geochronology of European Russia // Radiocarbon. 1993. V. 35. № 3. P. 421–427.
- Bezrodnykh Yu.P., Deliya S.V., Romanyuk B.F., Sorokin V.M., Yanina T.A. New data on the Upper Quaternary stratigraphy of the North Caspian Sea // Dokl. Earth Sci. 2015. V. 462(1). P. 479–483.
- Buylaert J.P., Jain M., Murray A.S., Thomsen K.J., Thiel C., Sohbat R. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments // Boreas. 2012. № 41. P. 435–451.
- Dolukhanov P.M., Chepalyga A.L., Shkatova V.K., Lavrentiev N.V. Late Quaternary Caspian: sea levels, environments and human settlement // Open Geography J. 2009. № 2. P. 1–15.
- Murray A.S., Wintle A.G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol // Radiation Measurements. 2000. V. 32. № 1. P. 57–73.
- Shkatova V.K. Paleogeography of the late Pleistocene Caspian basins: Geochronometry, paleomagnetism, paleotemperature, paleosalinity and oxygen isotopes // Quaternary International. 2010. № 225. P. 221–229.
- Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F. Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (Upper Pleistocene) in the Caspian Sea // Quaternary International. 2017. № 465A. P. 152–157.
- Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., Romanyuk B. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data) // Quaternary International. 2017. № 465A. P. 130–141.

Поступила в редакцию 01.12.2017
Принята к публикации 28.12.2017

R.N. Kurbanov¹, T.A. Yanina², A.S. Murrey³, O.K. Borisova⁴HYRCANIAN EPOCH IN THE LATE PLEISTOCENE HISTORY
OF THE MANYCH DEPRESSION

Studying of the cores of two boreholes (40 and 42 m in depth) from the central part of the Manych depression by the complex of methods (granulometric, faunistic, sporous and pollen analyses, radiocarbon and optic-luminescent dating) contributed to the solution of a problem of existence of the Hyrcanian passage during the late Pleistocene. The beginning of the period (interglacial epoch, MIS 5e) was characterized by deep penetration of an ingressive gulf of the Black Sea Karangian transgression into the Manych depression. Its waters were rather saline (not less than 18–20‰), thus supporting a rich Black Sea complex of mollusks. The transitional stage to the glacial epoch (MIS 5d) led to a gradual retreat of the Karangian gulf waters from the Manych depression to the Black Sea one. The stage is dated by OSL method as 119±7 thousand years and it ended with the development of the Hyrcanian passage of the Caspian Sea. The passage had brackish Caspian waters (8–7‰). Its faunistic profile was dominated by mollusks *D. cristata*, *D. hyrcana*, *D. subcatillus*, *Monodacna caspia*, *Dreissena polymorpha*. The bottom of the passage in the central part of the Manych depression had absolute elevations of –13 to –9 m. Sedimentation in the passage was smooth, obviously due to its considerable width in the central part of depression. Landscapes of the central part of the Manych depression were in line with the interstadial climatic conditions (rather cool, with smaller seasonal contrasts and higher moistening than today). OSL dating received for the first time for the Hyrcanian deposits (middle part of the stratum) is 107±7 thousand years, thus relating the existence of the passage to MIS 5c-a epoch. The marine period of development of the central part of the depression was followed by a long-term lacustrine phase (the Burtass lake) in the second half of the Late Pleistocene.

Key words: Manych depression, boreholes, sediments, mollusks, pollen, radiocarbon dating, OSL dating, paleogeography.

Acknowledgements. Field research and the initial stages of analytical work were financially supported by the Russian Scientific Foundation (project № 14-17-00705). At present they are financially supported by the Russian Scientific Foundation (project № 16-17-10103). Authors are sincerely grateful to V.R. Belyaev and E.V. Garankina, Senior Scientific Researchers of the Department of Geomorphology and Paleogeography of the MSU Faculty of Geography, for the help in the organization and carrying out field works, and also to the students who took part in them. Our gratitude to Prof. Kh.A. Arslanov for radiocarbon dating of shell material, and to E.A. Konstantinov, Senior Scientific Researcher of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, and the student A. Rudinskaya for the organization and implementation of the granulometric analysis.

REFERENCES

- Arslanov Kh.A. Late Pleistocene geochronology of European Russia // Radiocarbon. 1993. V. 35. № 3. P. 421–427.
- Arslanov Kh.A., Gerasimova S.A., Izmajlov Ya.A. O vozraste golocenovykh i verkhnepleistocenovykh otlozhenij chernomorskogo poberezhia Kavkaza i Kerchensko-Tamanskogo raiona [About the age of the Holocene and the Upper Pleistocene deposits of the Black Sea coast of the Caucasus and the Kerch and Taman area] // Bulletin of the Commission on Studying the Quaternary Period. 1975. № 44. P. 107–110 (in Russian).
- Badyukova E.N. Istoriya kolebanij urovnya Kaspiya v Pleistotsene (byla li velikaya khvalynskaya transgressiya?) [History of fluctuations of the Caspian Sea level in the Pleistocene (whether there was a Great Khvalynian transgression?)] // Bulletin of the Commission on Studying the Quaternary Period. 2015. № 74. P. 111–120 (in Russian).
- Bezrodnikh Yu.P., Deliya S.V., Romanyuk B.F., Sorokin V.M., Yanina T.A. New data on the upper quaternary stratigraphy of the north Caspian sea // Dokl. Earth Sci. 2015. V. 462(1). P. 479–483.
- Buylaert J.P., Jain M., Murray A.S., Thomsen K.J., Thiel C., Sohbati R. A robust feldspar luminescence dating method for Middle and Late Pleistocene sediments // Boreas. 2012. № 41. P. 435–451.
- Dolukhanov P.M., Chepalyga A.L., Shkatova V.K., Lavrentiev N.V. Late Quaternary Caspian: sea levels, environments and human settlement // Open Geography J. 2009. № 2. P. 1–15.
- Fedorov P.V. Pleistocen Ponto-Kaspiya [Pleistocene of the Ponto-Caspian]. Moscow: Nauka, 1978. 165 p. (in Russian).
- Goretskiy G.I. O paleogeografii Priazoviya i Zapadnogo Primanych'ya v uzunlarsko-girkanskij i burtasskij veka [About paleogeography of the Azov Sea area and the Western Manych area]

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

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

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

⁴ Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Evolutionary Geography, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: olgakborisova@gmail.com

in the Uzunlarian-Hyrcanian and Burtass epochs] // Questions of Geography. 1953. № 33. P. 190–221 (in Russian).

Goretskiy G.I. O girkanskom etape v istorii Prikaspiya [About the Hyrcanian stage in the history of the Caspian Sea area] // Novosti neftyanoy tekhniki. 1957. № 6. P. 3–5 (in Russian).

Goretskiy G.I. Alluvialnaya letopis' velikogo Pra-Dnepra [Alluvial chronicle of the Great Pra-Dnieper River]. Moscow: Nauka, 1970. 492 p. (in Russian).

Grichuk V.P. Metodika obrabotki osadochnykh porod, bednykh organicheskimi ostatkami, dlya celey pyl'cevogo analiza [A technique of processing the sedimentary breeds poor in fossils for the pollen analysis] // Problem of physical geography. 1940. V. 8. P. 53–58 (in Russian).

Lavrushin Yu.A., Spiridonova E.A., Tudrun A., Shali F., Antipov M.P., Kuralenko N.P., Kurina E.E., Tukholka P. Kaspij: gidrologicheskie sobytiya pozdnego kvartera [The Caspian Sea: hydrological events of the Late Quaternary] // Bulletin of the Commission on Studying the Quaternary Period. 2014. № 73. P. 19–51 (in Russian).

Murray A.S., Wintle A.G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol // Radiation Measurements. 2000. V. 32. № 1. P. 57–73.

Popov G.I. Istoriya Manychskogo proliva v svyazi so stratigrafiej chernomorskih i kaspijskih otlozhenij [History of the Many Strait in relation with stratigraphy of the Black Sea and Caspian deposits] // Bulletin MOIP. Otd. geologii. V. 20. № 2. 1955. P. 31–49 (in Russian).

Popov G.I. Sravnitel'naya stratigrafiya chetvertichnykh otlozhenij Manychskogo proliva, Kaspiya i Evksina [Comparative stratigraphy of the Quaternary deposits of the Many Strait, Caspian Sea and Euxinian] // Trudy of the Commission on Studying the Quaternary Period. 1957. V. 13. P. 65–73 (in Russian).

Popov G.I. Korrelyaciya chernomorskih i kaspijskih chetvertichnykh otlozhenij [Correlation of the Black Sea and Caspian Quaternary deposits] // Materials of the All-Russian conference on Studying the Quaternary Period. V. 2. Moscow: Publishing house of Academy of Sciences of the USSR, 1961 (in Russian).

Popov G.I. Girkanskaya transgressiya v Severnom Prikaspii [Hyrcanian transgression in the Northern Caspian Sea area] // Bulletin of the Commission on studying of the Quaternary Period. 1967. № 33. P. 77–86 (in Russian).

Popov G.I. Korrelyaciya morskikh i kontinental'nykh otlozhenij Ponto-Kaspijskoj oblasti [Correlation of the marine and continental Quaternary deposits of the Ponto-Caspian area] // Geology of the Quaternary Period (Pleistocene). Erevan: Publishing house of Academy of Sciences of the Armenia Soviet Socialist Republic, 1977. P. 163–169 (in Russian).

Popov G.I. Plejstocen Chernomorsko-Kaspijskih proливov [Pleistocene of the Black Sea and Caspian passages]. Moscow: Nauka, 1983. 216 p. (in Russian).

Rychagov G.I. Girkansky etap v istorii Kaspijskogo morya [Hyrcanian stage in the history of the Caspian Sea] // Geomorphology. 2016. № 1. P. 3–17 (in Russian).

Shkatova V.K. Paleogeograficheskaya rekonstrukciya i hronologiya pozdneplejstocenovykh bassejnov Kaspiya [Paleogeographical reconstruction and chronology of the Late Pleistocene basins of the Caspian Sea] // Quarter-2005. Syktyvkar: Geoprint, 2005. P. 463–466 (in Russian).

Shkatova V.K. Regional'naya stratigraficheskaya shema kvartera Nizhnevolzhskogo (Kaspijskogo) regiona [Regional scheme

of the Quaternary in the Lower Volga (Caspian Sea) region] // Late Cenozoic geological history of the north of an arid zone. Rostov-on-Don. 2006. P. 175–180 (in Russian).

Shkatova V.K. Paleogeography of the late Pleistocene Caspian basins: Geochronometry, paleomagnetism, paleotemperature, paleosalinity and oxygen isotopes // Quaternary International. 2010. № 225. P. 221–229.

Sorokin V.M., Yanina T.A., Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F. Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (Upper Pleistocene) in the Caspian Sea // Quaternary International. 2017. № 465A. P. 152–157.

Svitoch A.A., Makshaev R.R. Vzaimosvyazi paleogeograficheskikh sobytij v Ponto-Manych-Kaspijskoj sisteme v pozdnem pleistocene-golocene [Interrelations of the paleogeographical events in the Ponto-Manych-Caspian system during the Late Pleistocene and Holocene] // Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya. 2017. № 2. P. 24–32 (in Russian).

Svitoch A.A., Selivanov A.O., Yanina T.A. Paleogeograficheskiye sobytiya plejstocena Ponto-Kaspiya i Sredizemnomor'ya (materialy po rekonstruktsii i korrelyacii) [Paleogeographical events of the Pleistocene in the Ponto-Caspian Sea and the Mediterranean (materials on reconstruction and correlation)]. Moscow: Russian Academy of Agrarian Sciences, 1998. 288 p. (in Russian).

Svitoch A.A., Yanina T.A. Chetvertichnye otlozheniya poberezhij Kaspijskogo morya [Quaternary deposits of the coasts of the Caspian Sea]. Moscow: Russian Academy of Agrarian Sciences, 1997. 264 p. (in Russian).

Svitoch A.A., Yanina T.A., Novikova N.G. etc. Plejstocen Manycha (voprosy stroeniya i razvitiya) [Pleistocene of the Many Depression (questions of the structure and development)]. Moscow: Geographical faculty of MSU, 2010. 136 p. (in Russian).

Yanina T.A. Didakny Ponto-Kaspiya [Didacna of the Ponto-Caspian]. M.; Smolensk: Madzhenta, 2005. 300 p. (in Russian).

Yanina T.A. Depressiya Manycha kak oblast' migraciy faun Ponto-Kaspiya v plejstocene [Manych Depression as an area of migrations of faunas of the Ponto-Caspian Sea in the Pleistocene] // Geomorphology. 2006. № 4. P. 97–106 (in Russian).

Yanina T.A. Neoplejstocen Ponto-Kaspiya: biostratigrafiya, paleogeografiya, korrelyaciya [Neopleistocene of the Ponto-Caspian: biostratigraphy, paleogeography, correlation]. Moscow: Publishing house of the Moscow University, 2012. 264 p. (in Russian).

Yanina T.A., Svitoch A.A., Kurbanov R.N., Murray A.S., Tkach N.T., Sychev N.V. Opyt datirovaniya plejstocenovykh otlozhenij Nizhnego Povolzh'ya metodom opticheskii stimulirovannoy luminescencii [Experience of dating of the Pleistocene deposits of the Lower Volga area using the optically stimulated luminescence] // Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya. 2017. № 1. P. 21–29 (in Russian).

Yanina T.A., Sorokin V.M., Bezrodnykh Yu.P., Romanyuk B.F. Girkanskiy etap v plejstocenovoy istorii Kaspijskogo morya [Hyrcanian stage in the Pleistocene history of the Caspian Sea] // Vestnik Moskovskogo Unviersiteta. Seriya 5. Geografiya. 2014. № 3. P. 3–9 (in Russian).

Yanina T., Sorokin V., Bezrodnykh Yu., Romanyuk B. Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data) // Quaternary International. 2017. № 465A. P. 130–141.

Received 01.12.2017

Accepted 28.12.2017

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 911.3

В.С. Тикун¹, В.С. Белозеров², С.О. Антипов³, И.П. Супрунчук⁴СОЦИАЛЬНЫЕ МЕДИА КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА ПОСЕЩАЕМОСТИ
ТУРИСТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ (НА ПРИМЕРЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ)

Анализ социальных медиа – развивающееся направление в западной рекреационной географии. Интерес к нему связан со статистическими данными, которые сложно получить при проведении исследований классическими методами.

Рассмотрена авторская методика анализа туристической деятельности с помощью геотегов фотографий. В рамках работы сформирована база данных, состоящая из 147 308 геотегов туристических фотографий, расположенных на территории Кавказских Минеральных Вод и г. Ставрополя с прилегающими муниципальными районами. На примере четырех пространственных уровней проведен анализ пространственно-временного распределения геотегов фотографий. Определена половозрастная структура туристического потока. Выявлены самые посещаемые туристско-рекреационные центры, зоны и объекты исследуемой территории. Проанализирована сезонность туристского потока в Центральном парке г. Ставрополя и Кисловодском национальном парке. Установлено, что специализация парка влияет на количество туристских посещений в течение года. Проведена классификация туристско-рекреационных зон и объектов, выделены преобладающие виды туризма в дестинациях Ставропольского края.

Ключевые слова: социальные медиа, туристические дестинации, туризм в Ставропольском крае, геоинформационный анализ, геотеги, туризм, социальные сети.

Введение. За последние двадцать лет расширились функциональные возможности сети Интернет. В 90-е годы XX в. сайты состояли из HTML-страниц с текстом и изображениями. Сейчас появилось множество сервисов, начиная от просмотра видео и заканчивая мгновенным переводом документов.

Интернет стал как средством получения информации, так и средством коммуникации. Сайты, основанные на принципе взаимодействия людей друг с другом обобщенно называют социальными медиа [Лебедев, Петухова, 2010]. К ним относятся социальные сети (Facebook, ВКонтакте), блоги (Livejournal, Blogspot), видеохостинги (Youtube), фотохостинги (Flickr, Instagram) и форумы (drom и др.).

Социальные медиа содержат большой массив информации. К примеру, социальной сетью «ВКонтакте» ежемесячно пользуется более 97 млн человек. Ежедневно они отправляют 5 млрд сообщений, ставят 1 млрд отметок «Нравится», вступают в 28 млн сообществ [Аудитория ВКонтакте, 2017]. Эти данные используются для исследований в различных областях, в том числе в туризме.

Зафиксировать туристическую деятельность при помощи социальных сетей позволяют геотеги. Геотегинг (англ. tag «ярлык, метка») – процесс присоединения географических метаданных к различ-

ным информационным ресурсам, таким как веб-сайты, RSS, фотографии, видео. Как правило, эти данные состоят из координат (широты и долготы), но также могут включать высоту, расстояние, географические названия и др. [Что такое геотегинг ..., 2017].

В исследованиях, посвященных туризму, чаще всего используются геотеги фотографий. К примеру, Indaco и Manovich проанализировали 7 млн 442 тыс. геотегов фотографий, расположенных в Манхэттене для того, чтобы сравнить неравенство в распределении изображений «Инстаграмма» с уровнем доходов населения, безработицей и арендной платой за жилье [Indaco, Manovich, 2016]. В другом исследовании, Kadar и Gede выявили наиболее привлекательные туристические места в Будапеште с помощью геотегированных фотографий, полученных из сервиса Flickr [Kadar, Gede, 2013]. Помимо оценки привлекательности туристических достопримечательностей, проводились исследования, посвященные анализу перемещения туристов. Было установлено, что в большинстве случаев туристы идут к близлежащим достопримечательностям [Vu с соавт., 2015].

Материалы и методы исследований. В рамках сбора геотегированных данных на территорию России, актуальной проблемой является выбор социаль-

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: tikunov@geogr.msu.ru

² Северо-Кавказский федеральный университет, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: vsbelozеров@yandex.ru

³ Северо-Кавказский федеральный университет, аспирант; e-mail: antistas@yandex.ru

⁴ Северо-Кавказский федеральный университет, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: ilia_suprunchuk@mail.ru

ной сети. Большинство зарубежных ученых использовали сервисы Flickr и Panoramio. Однако они не популярны среди российских пользователей сети Интернет, а другие социальные сети требуют получения согласия на обработку данных или не поддерживают доступ к геотегам для разработчиков.

Для получения геотегов фотографий использована социальная сеть «ВКонтакте». Она является самой крупной площадкой социальных медиа в России. Сбор геотегов проводился с помощью авторского программного обеспечения «Программа автоматизированного сбора геотегов туристических фотографий» (свидетельство о регистрации № 2017615067).

На территорию Ставропольского края ежедневно загружается более двух тысяч геотегов (рис. 1).

Для работы с таким объемом данных необходимо использовать геоинформационные системы с поддержкой «BigData». Исходя из этого, в качестве базового ГИС-пакета нами был выбран ArcGISPro версии 1.3.

Еще одним важным аспектом работы с геотегированной информацией является проектирование полимасштабной базы геоданных в геоинформационной системе. В этом случае появляется возможность проводить пространственно-временной анализ геотегов туристических фотографий на различных

территориальных уровнях. Каждый из таких уровней связан между собой правилами топологии баз геоданных и обладает уникальным набором информации, характерным для своего масштаба [Панин, Тикунов, Фурщик, 2014].

В Ставропольском крае большое число дестинаций, которые пользуются популярностью среди местного населения, но в перспективе имеют потенциал для привлечения туристического потока из других регионов страны. К примеру, в Петровском и Александровском районах расположены соленые озера с лечебной грязью. В селе Казьминское и станице Суворовской находятся термальные источники. Перечисленные ресурсы используются в лечебно-оздоровительных целях. В Апана-сенковском районе получил развитие орнитологический туризм на озере Маныч-Гудило – центре миграции многих видов птиц. Арзгирский и Левокумский районы представлены рыболовно-охотничьим туризмом.

Рассмотрим две дестинации: Кавказские Минеральные Воды (КМВ) и г. Ставрополь с прилегающими муниципальными районами (Шпаковским, Изобильненским, Грачевским). На их примере проведем анализ территориального распределения геотегов в разрезе следующих территориальных уровней:

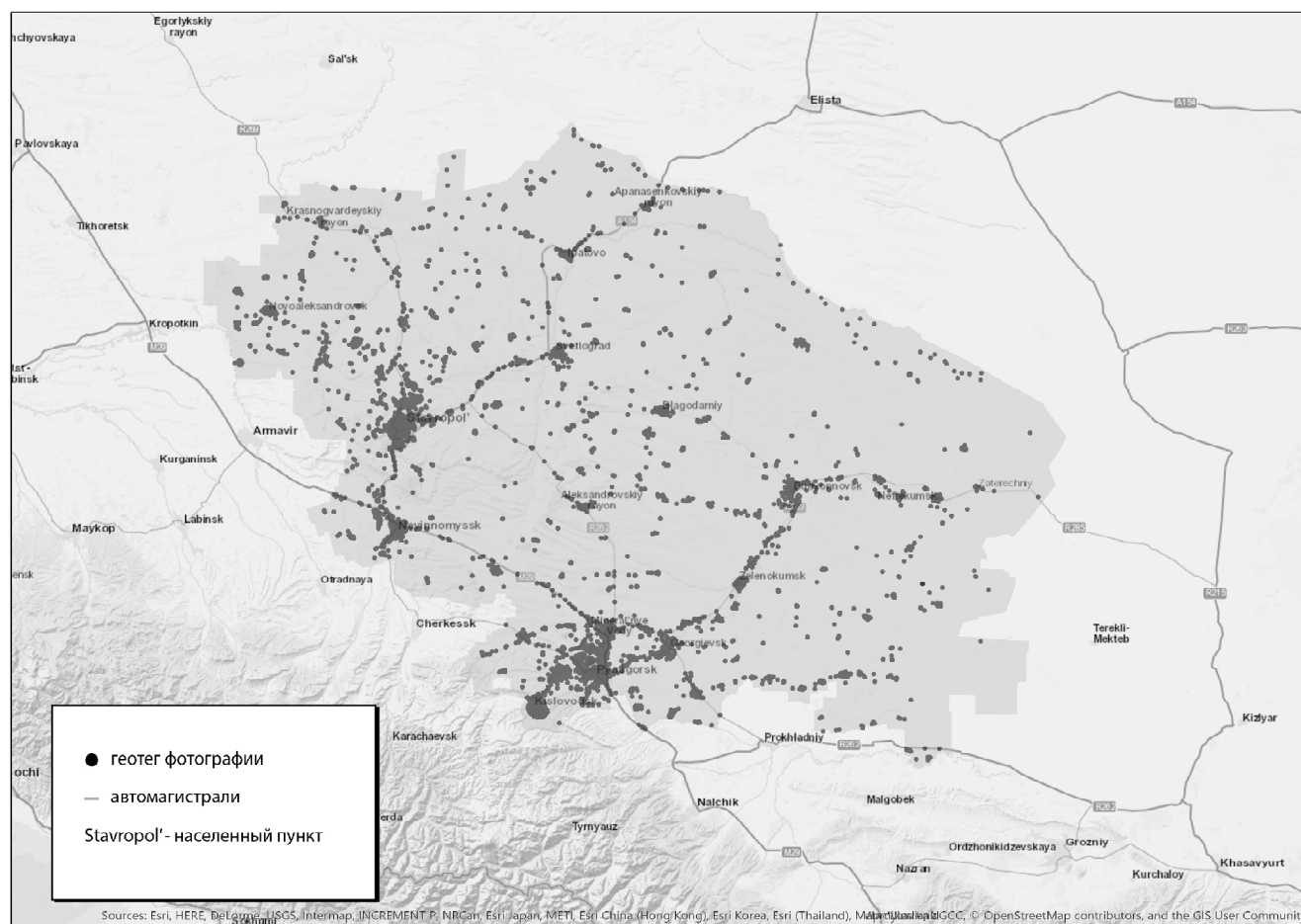


Рис. 1. Недельное распределение геотегов фотографий на территорию Ставропольского края

Fig. 1. Weekly distribution of geotagging photos for the territory of the Stavropol Kraj

– туристских центров: Пятигорск, Железноводск, Ессентуки, Кисловодск, Ставрополь;
– туристско-рекреационных зон, которые расположены в дестинациях: гора Машук, гора Бештау и туристских центрах: Кисловодский национальный парк и др.;

– туристских объектов.

Результаты исследований и их обсуждение. За период наблюдения (с сентября 2015 г. по сентябрь 2016 г.) на территорию края было загружено 146 108 геотегов туристических фотографий. По предложенным выше полимасштабным уровням геотеги распределились следующим образом: КМВ – 111 584 (76,5%); Ставрополь и прилегающие районы – 34 178 (23,5%).

Среди туристских центров выделяются Пятигорск, Кисловодск и Ставрополь – на их суммарную долю приходится 81,1% всего объема туристических фотографий (табл. 1).

На уровне туристско-рекреационных зон отметим гору Бештау (7 480 геотегов фотографий), гору Змейка (731 геотегов фотографий); горы Острая, Кабанка, Медовая (429 геотегов фотографий).

По количеству опубликованных геотегов на уровне туристских объектов лидирует Казанский кафедральный собор г. Ставрополя (1 482 геотега фотографий) и Бальнео-грязелечебница им. Н.А. Семашко г. Ессентуки (1 141 геотег).

Важным аспектом геоинформационного мониторинга является анализ специализации туристских центров. Экспертами выделяются следующие виды туризма: культурно-познавательный, деловой, лечебно-оздоровительный, развлекательный, экологический, религиозный, спортивный [Рассохина, 2014]. При применении данной классификации к туристско-рекреационным зонам и объектам выявляются виды туризма, которые преобладают в туристских центрах и дестинациях Ставропольского края.

Как видно из данных, приведенных в табл. 2, большая доля фотографий относится к экологическому туризму, что, возможно, связано с высокой эстетической привлекательностью объектов; лечебно-оздоровительный туризм находится на втором месте и уступает экологическому, несмотря на ведущую роль в реальном развитии туристско-рекре-

Таблица 2

Распределение геотегов фотографий по видам туризма в Ставропольском крае, 2015–2016 гг.

Вид туризма	Количество фотографий	Доля, %
Экологический	40 529	27,80
Лечебно-оздоровительный	37 631	25,82
Культурно-познавательный	33 280	22,83
Развлекательный	31 592	21,67
Религиозный	2 730	1,87
Всего	145 762	100,00

ационного комплекса Ставропольского края. Предположительно, это объясняется тем, что лечебно-оздоровительный туризм интересен населению среднего и пожилого возраста, менее активному в социальных сетях.

Анализ, проведенный с помощью геотегов фотографий, показывает преобладание четырех видов туризма – экологического, лечебно-оздоровительного, культурно-познавательного и развлекательного. Их показатели довольно близки, а соотношение может меняться в зависимости как от времени, так и от территории.

Анализ внутренней структуры туристских центров позволяет сделать следующие выводы. Во-первых, четко выделяется «специализация» трех туристских центров. Ессентуки, Кисловодск и Железноводск имеют во внутренней структуре долю лечебно-оздоровительных зон и объектов, составляющую более 60% (рис. 2). Во-вторых, Пятигорск

Таблица 1

Распределение геотегов фотографий по туристским центрам Ставропольского края в 2015–2016 гг.

Туристские центры	Количество фотографий	Доля, %
Ессентуки	12 202	9,37
Железноводск	6 665	5,67
Кисловодск	34 906	24,94
Пятигорск	49 599	35,38
Ставрополь	32 202	24,64
Всего	143 786	100,00

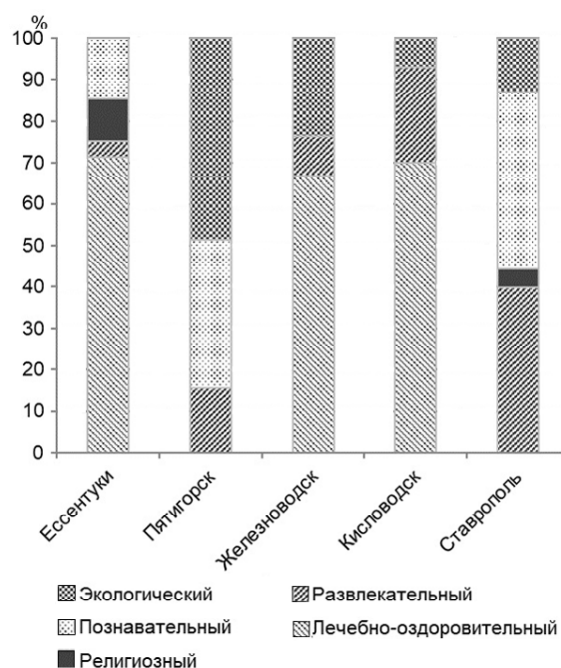


Рис. 2. Преобладающие виды туризма в туристских центрах Ставропольского края

Fig. 2. The prevailing types of tourism in the tourist centers of the Stavropol Krai

имеет более диверсифицированную структуру, характерную для административных городов, курортных и обслуживающих центров. При этом в Пятигорске отмечается самая высокая доля геотегов, расположенных в зонах экологического туризма. В-третьих, Ставрополь можно признать типичным региональным центром с ведущей ролью культурно-познавательного и развлекательного туризма.

Возможности методики позволяют анализировать демографическую структуру туристического потока. В половой структуре туристического потока во всех пяти туристских центрах преобладают женщины, в Пятигорске их доля составляет 62,9%, в Ессентуках 68,6% (табл. 3). Это обусловлено, как минимум, двумя факторами. Первый можно назвать «демографическим», заключающемся в том, что численность женщин больше, чем численность мужчин. В России из 146,3 млн населения 78,5 млн (53,6%) составляют женщины [Женщины ..., 2016]. Второй фактор – активность в социальных сетях. По данным BrandAnalytics, среди пользователей социальной сети «ВКонтакте» женщин – 57%, а мужчин – 43% [Статистика ..., 2017].

Проведенный анализ возрастной структуры туристического потока позволяет разделить туристские центры на две группы. В первую группу можно отнести Пятигорск и Ставрополь, интересные молодым туристам – доля туристов старше 40 лет в них находится на уровне 5%. Во вторую группу попадают Кисловодск, Ессентуки и Железноводск. Доля туристов старше 40 лет здесь в 3 раза больше, а самых молодых туристов (моложе 25 лет) – меньше в 2 раза.

Как было отмечено выше, методика анализа геотегов реализует принцип полимасштабности – позволяет рассматривать не только крупные дестинации, но и отдельные туристско-рекреационные зоны и объекты. Среди них наиболее популярны у туристов Кисловодский национальный парк и гора Машук (табл. 4).

Важным аспектом туристско-рекреационной деятельности является сезонность. Рассмотрим, к примеру, два парка – Центральный парк города Ставрополя и Кисловодский национальный парк. В целом, можно предположить, что в весенне-летний период их посещаемость больше, чем в осенне-зимнее время.

Таблица 3

Половозрастной состав туристов, посетивших туристские центры Ставропольского края в 2015–2016 гг.

Дестинации	Пол, %		Возраст, %		
	мужской	женский	моложе 25 лет	25–40 лет	старше 40 лет
Ессентуки	31,4	68,6	40,4	44,6	14,9
Пятигорск	37,1	62,9	72,0	22,2	5,8
Железноводск	35,9	64,1	35,9	48,8	15,3
Кисловодск	32,7	67,3	39,8	42,2	18,0
Ставрополь	35,2	64,8	64,9	30,1	5,1

Таблица 4

Наиболее посещаемые туристско-рекреационные зоны Ставропольского края в 2015–2016 гг.

Туристско-рекреационные зоны	Туристские центры	Количество фотографий	Вид туризма
Кисловодский национальный парк	Кисловодск	24 460	Лечебно-оздоровительный
г. Машук	Пятигорск	24 102	Экологический
пр. Кирова, Цветник и др.	Пятигорск	13 237	Культурно-познавательный
Парк Победы	Ставрополь	8 575	Развлекательный
Курортный бульвар и ул. К. Маркса	Кисловодск	7 978	Развлекательный
Театральный сквер, Ангел, Площадь Ленина	Ставрополь	6 488	Познавательный
Курортный парк	Ессентуки	6 109	Лечебно-оздоровительный
Дом Лермонтова, Сквер	Пятигорск	4 533	Культурно-познавательный
Курортный парк	Железноводск	4 462	Лечебно-оздоровительный
Парк им. Кирова	Пятигорск	3 741	Развлекательный
Крепостная гора	Ставрополь	3 739	Культурно-познавательный
пр. Карла Маркса, бульвар Генерала Ермолова	Ставрополь	3 502	Культурно-познавательный
Урочище Таманская дача	Ставрополь	3 032	Экологический
Центральный парк, пр. Октябрьской Революции	Ставрополь	2 861	Развлекательный

Однако в первом парке преобладает развлекательный туризм, а во втором – лечебно-оздоровительный, что накладывает свой отпечаток на сезонность.

Так, в Центральном парке Ставрополя явно выделяется летний период и два пика посещаемости – май и сентябрь. Это объясняется тем, что основную часть посетителей составляют дети, а два пика приурочены последнему звонку в школах (май) и 1 сентября и Дню города (сентябрь) (рис. 3).

Кисловодский национальный парк имеет схожий характер сезонности, при этом туристический поток распределен более равномерно, без явных пиков. Максимум приходится на период с мая по август, затем происходит постепенное снижение к минимальным значениям в октябре–декабре (рис. 4).

Аналогичные данные с помощью предложенной методики можно получать и для других территорий Российской Федерации. Использование таких

данных в перспективе позволит судить о реальной посещаемости туристических объектов, а также эффективно выстраивать систему управления туристско-рекреационной деятельностью с учетом сезонности, структуры и объема туристского потока.

Выводы:

– анализ социальных медиа представляется перспективным направлением в туризме, особенно в условиях дефицита статистической информации. Для территории Российской Федерации наиболее репрезентативным представляется анализ геотегов на основе социальной сети «ВКонтакте»;

– сформированные базы данных геотегов позволяют проводить оценку аттрактивности туристских дестинаций, зон и объектов. В будущем – оценивать количество туристских посещений, структуру и объем туристского потока, выявлять особенности функционирования дестинаций;

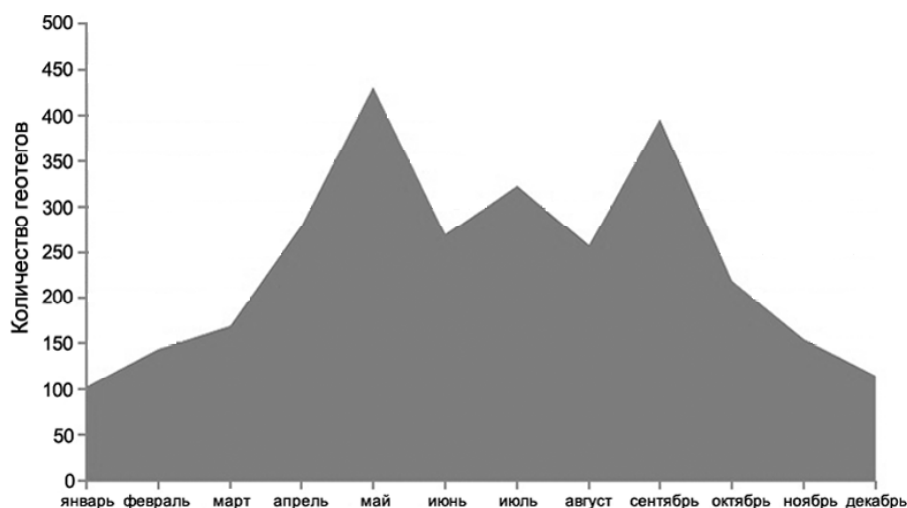


Рис. 3. Сезонная динамика количества геотегов фотографий в Центральном парке Ставрополя

Fig. 3. Seasonal dynamics of the number of geotagged photographs in the Central Park (Stavropol)

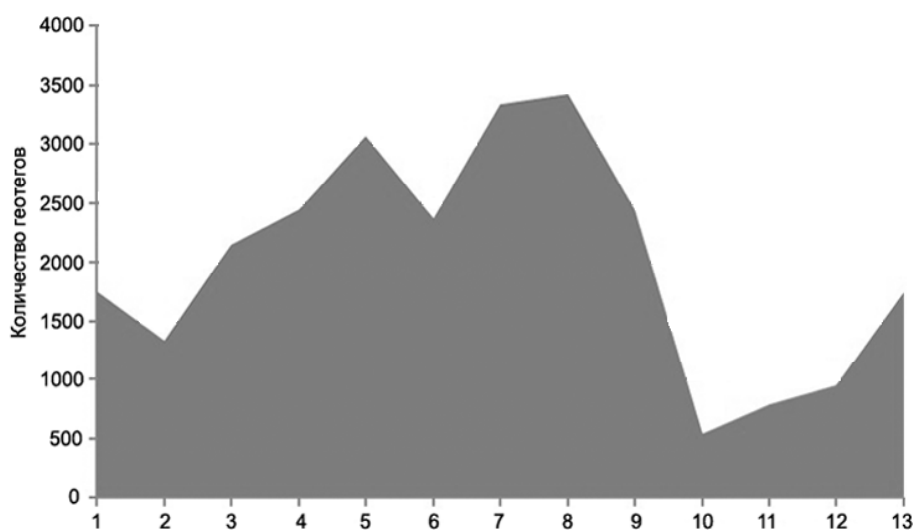


Рис. 4. Сезонная динамика количества фотографий в Кисловодском национальном парке

Fig. 4. Seasonal dynamics of the number of photos in the Kislovodsk National Park (Kislovodsk)

– проведенный анализ показал, что крупнейшими туристско-рекреационными центрами Ставропольского края являются Пятигорск, Кисловодск и Ставрополь – на их суммарную долю приходится 80,06% от общего числа опубликованных геотегов;

– по количеству опубликованных геотегов в Ставропольском крае выделяется экологический туризм, за ними следуют лечебно-оздоровительное и познавательное направления. При этом каждый из центров имеет свой туристический «портрет», отражающий внутреннюю структуру;

– при анализе данных на уровне туристских центров можно сделать предположение об их внутренних особенностях. Ессентуки, Железноводск и Кис-

ловодск имеют много сходств и подтверждают статус городов-курортов. В их составе преобладает лечебно-оздоровительный туризм, туристический поток более «возрастной». Пятигорск и Ставрополь, при наличии некоторых особенностей, являются крупными туристскими центрами. При этом в Пятигорске больше выражен экологический туризм, в Ставрополе – развлекательный. Также они выделяются и более «молодой» структурой туристического потока;

– аналитические возможности предложенного подхода и методики на данный момент не полностью изучены, требуют дальнейшего уточнения и апробирования, а также широкого научно-практического осмысления.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-55-53109).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аудитория ВКонтакте // ВКонтакте URL: https://vk.com/page-47200925_44240810 (дата обращения: 11.08.2017).

Женщины и мужчины России. 2016: Статистический сборник / Ред. колл.: Л.И. Агеева, М.А. Забатурина и др. М.: Росстат, 2016.

Лебедев П.А., Петухова С.И. Социальные медиа: показатель развития информационного общества? // Мониторинг общественного мнения: экономические и социальные перемены. 2010. № 5. С. 16–25.

Панин А.Н., Тикунов В.С., Фуриц М.А. Геоинформационное обеспечение туризма в России: подходы, методы, технологии. М.: Диалог культур, 2014.

Рассохина Т.В. Менеджмент туристских дестинаций. М.: Советский спорт, 2014.

Статистика социальных сетей // BrandAnalytics URL: <https://br-analytics.ru/statistics/author> (дата обращения: 11.08.2017).

Что такое геотегинг? // GPSClub URL: <http://gps-club.ru/detail.php?ID=16234> (дата обращения: 09.12.2016).

Indaco A., Manovich L. Urban social media inequality: definition, measurements, and application // Городские исследования и практики. 2016. № 1. С. 11–23.

Internet World Stats // Internetworldstats URL: <http://www.internetworldstats.com/top20.htm> (дата обращения: 11.08.2017).

Kadar B., Gede M. Where do tourists go? Visualizing and analysing the spatial distribution of geotagged photography // Cartographica. The International J. Geographic Information and Geovisualization. 2013. V. 48. № 2. P. 78–88.

Vu H.Q., Li G., Law R., Ye B.H. Exploring the travel behaviors of inbound tourists to Hong Kong using geotagged photos // Tourism Management. 2015. V. 46. P. 222–232.

Поступила в редакцию 22.11.2017
Принята к публикации 28.12.2017

V.S. Tikunov¹, V.S. Belozarov²,
S.O. Antipov³, I.P. Suprunchuk⁴

SOCIAL MEDIA AS A TOOL FOR THE ANALYSIS OF TOURIST OBJECTS (CASE STUDY OF THE STAVROPOL KRAJ)

The analysis of social media is rapidly developing in the Western recreational geography. The interest is related to statistical data, which are difficult to obtain in the studies using the classical methods.

The authors' method of analyzing tourism activities with the help of photos geotagging is discussed. A database was compiled which includes 147 308 geotagged tourist photos for the territory of the Caucasian Mineral Waters and the city of Stavropol with the adjacent municipal districts. The space-time distribution of geotagged photos was analyzed at four spatial levels. The age and sex structure of the tourist flow was also determined, as well as the most visited tourist and recreation centers, areas and facilities of the study

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: tikunov@geogr.msu.ru

² North Caucasus Federal University, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: vsbelozarov@yandex.ru

³ North Caucasus Federal University, postgraduate student; e-mail: antistas@yandex.ru

⁴ North Caucasus Federal University, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: ilia_suprunchuk@mail.ru

area. The seasonality of tourist flow was analyzed for the Central Park of Stavropol and the Kislovodsk National Park. It is found out that park specialization influences the number of tourist visits during the year. The tourist and recreational areas and facilities were classified and specific types of tourism destinations were identified for the Stavropol Kraj.

Key words: social media, tourist destinations, tourism in the Stavropol Kraj, GIS analysis, geotags, tourism, social networks.

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project № 17-55-53109).

REFERENCES

- Auditoriya VKontakte [Audience VKontakte] // VKontakte URL: https://vk.com/page-47200925_44240810 (Accessed: 11.08.2017) (in Russian).
- Chto takoe geoteging? [What is a geotag?] // GPSClub URL: <http://gps.club.ru/detail.php?ID=16234> (Accessed: 09.12.2016) (in Russian).
- Indaco A., Manovich L. Urban social media inequality: definition, measurements, and application // *Gorodskie issledovaniya i praktiki*. 2016. № 1. P. 11–23.
- Internet World Stats // Internet world stats URL: <http://www.internetworldstats.com/top20.htm> (Accessed: 11.08.2017).
- Kadar B., Gede M. Where do tourists go? Visualizing and analysing the spatial distribution of geotagged photography // *Cartographica. The International J. Geographic Information and Geovisualization*. 2013. V. 48. № 2. P. 78–88.
- Lebedev P.A., Petukhova S.I. Social'nye media: pokazatel' razvitiya informacionnogo obshchestva? [Social media: indicator of development of the information society?] Monitoring obshchestvennogo mneniya: ekonomicheskie i social'nye peremeny. 2010. № 5. P. 16–25 (in Russian).
- Panin A.N., Tikunov V.S., Furshchik M.A. Geoinformacionnoe obespechenie turizma v Rossii: podkhody, metody, tekhnologii [Geoinformation support of tourism in Russia: approaches, methods, technologies]. M.: Dialog kul'tur, 2014 (in Russian).
- Rassokhina T.V. Menedzhment turistskikh destinaciy [Management of Tourist Destinations]. M.: Sovetskiy sport, 2014 (in Russian).
- Statistika social'nykh setey [Social Network Statistics] Brand Analytics URL: <https://br-analytics.ru/statistics/author> (Accessed: 11.08.2017) (in Russian).
- Vu H.Q., Li G., Law R., Ye B.H. Exploring the travel behaviors of inbound tourists to Hong Kong using geotagged photos // *Tourism Management*. 2015. V. 46. P. 222–232.
- Zhenshhiny i muzhchiny Rossii. 2016: Statisticheskiy sbornik [Women and men of Russia. 2016: Statistical Digest] // Red. koll.: L.I. Ageeva, M.A. Zabaturina i dr. M.: Rosstat, 2016 (in Russian).

Received 22.11.2017

Accepted 28.12.2017

УДК 911.3:379.85

Е. Д. Белова¹**КИНЕМАТОГРАФИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ В РОССИИ**

Киноиндустрия как отрасль креативной экономики оказывает на социально-экономическое развитие не только прямое, но и косвенное влияние. Пример такого информационного эффекта отрасли – кинематографический туризм, инспирируемый популярными кинокартинами. Впервые в России он изучен на примере кинофильмов, вышедших на экраны с января 2000 по июль 2017 гг., и отобранных по рейтингу Кинопоиска и IMDb (410 кинокартин). Выявлено, что тематические туры были созданы по мотивам фильмов «Высоцкий. Спасибо, что живой», «Географ глобус пропил» и «Питер FM». Декорации, построенные специально для картин «Записки экспедитора тайной канцелярии» и «Орда», стали туристическими объектами. Повлияли на рост узнаваемости места и усиление туристического интереса к соответствующим регионам кинофильмы «Брестская крепость», «Левиафан», «Территория».

Ключевые слова: культурный туризм, креативные отрасли, киноиндустрия, региональное развитие, российский кинематограф.

Введение. Кинематографический туризм (кинотуризм) – вид культурного туризма по мотивам просмотренных лент, в том числе сериалов или мультипликационных фильмов, с целью посетить места, показанные в них (иногда они оказываются замененными – см. ниже); места, где проходили съемки (в том числе киностудии), которые могут и не совпадать со снятыми в фильме (в них уже после съемок могут быть «доделаны» детали – см. ниже), или тематические парки, воссоздающие обстановку фильмов. Кроме того, к кинематографическому туризму относится посещение кинофестивалей. В 1992 г. американскими исследователями Р. Рилей и К. Ван Дореном была описана концепция «movie induced tourism» [Riley, Van Doren, 1992]. Они доказали влияние кино на сектор туризма, выделили новый подвид культурного туризма – кинематографический – и проанализировали в своих работах, как в США фильмы формируют туристический интерес.

В современном мире данный вид туризма может приобретать важную роль в местной экономике. Так происходит в целых странах или регионах – в Новой Зеландии (где снята серия фильмов по мотивам романа «Властелин колец» и «Хоббит»), Северной Ирландии (сериал «Игра престолов») или отдельных дестинациях – в деревне Бамптон в Великобритании (сериал «Аббатство Даунтон»), кинологии Барселоны [Белова, 2017, с. 99–103]. В частности, в Новой Зеландии доходы от приема туристов, для которых серия фильмов «Властелин колец» явилась одной из причин приехать в страну, оценивается в 130 млн долл. [Simpson, 2016]. В Великобритании доходы от туристов так называемого «ядра» кинематографического туризма (для которых кинотуризм – главная причина поездки) по учтенным дестинациям официально оцениваются в 197,8 млн евро в 2014 г. [Quantifying ..., 2015].

Материалы и методы исследования. Для целей настоящей работы (на основании зарубежного опыта исследований по теме [Riley, Van Doren, 1992; Aitken, 1994; Bushe, 2005; Del Rey-Reguillo, 2007; Luiz, 2015]) кинематографический туризм был разделен на следующие категории:

1. По типам посещаемых мест (одна кинолокация может относиться к нескольким типам): а) ландшафты съемок (могут включать здания, например, замок Алнвик в Великобритании, сыгравший роль школы волшебников в серии фильмов о Гарри Поттере, или природные пейзажи – австралийский национальный парк Какаду из фильма «Крокодил Дэнди»); б) специально созданные ландшафты съемок – декорации, в которых снимали фильм (например, Хоббитон – деревня, где жили герои серии фильмов «Властелин колец» и «Хоббит»; Новая Зеландия); в) замененные ландшафты съемок (фильм снимали в одной географической локации, а слава досталась тому месту, о котором шла речь: например, в фильме «Храброе сердце», отмеченном на карте кинолокаций Шотландии и посвященном именно этой части Великобритании, ключевые кадры сняты в Ирландии, до которой слава картины не дошла); г) «модифицированные» ландшафты съемок – реальные ландшафты, в которых после успеха фильма построены/установлены туристические объекты по мотивам кинокартины (скамейка в Саванне, штат Джорджия, США по фильму «Форрест Гамп»); д) киностудии («Warner Bros.», «Universal» в Калифорнии, США); е) тематические кинопарки («Disneyland» в Анахайме, Калифорния, США; «Cinecitta World» в Риме, Италия); ж) фестивали кино (Международный кинофестиваль в Сан-Себастьяне, Страна Басков, Испания); з) места жизни знаменитостей (Лос-Анджелес, Беверли-Хиллз, Малибу; США).

2. По типу активности: а) организованные компаниями туры по объектам кинематографического

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

туризма (например, кинематографический тур «Мидтаун Манхэттен» («Midtown Manhattan movie tour») по Нью-Йорку; США); б) самостоятельные посещения с использованием данных официальных сайтов или брошюр (брошюра «Hampshir film map» с туристическими объектами графства Хэмпшир в Великобритании); в) самостоятельные посещения с использованием информации из тематических сообществ социальных сетей и др. неофициальных источников («Barcelona Movie Walks» по Барселоне; Испания); г) посещение фестивалей кино.

Для выявления фильмов, повлиявших на развитие туризма в отдельных районах России, была разработана специальная методика, включающая ранжирование источников информации по степени их достоверности.

Кинематографический туризм в России был изучен на примере самых популярных фильмов, вышедших на экраны с января 2000 по июль 2017 г. На крупнейшем российском кинематографическом портале Кинопоиск были отобраны 410 наиболее популярных фильмов. Критерии отбора: период выхода на экран с января 2000 по июль 2017 г., средние оценки выше 5,5 из 10 по рейтингу Кинопоиска и IMDb, количество оценок у фильма не меньше 500, более 49% положительных рецензий, страна производства – Россия (или в совместном производстве России с другими странами).

После отбора фильмов был проведен их анализ с помощью поисковых запросов в Google вида «название фильма место действия фильма туризм» по первым 20–30 результатам. Если с одним и тем же названием существует несколько фильмов, в запрос добавлялся год его создания. В случае упоминания на страницах результатов поиска отдельных кинолокаций без их детального описания в найденных источниках, проводился уточняющий анализ тоже с помощью поисковых запросов в Google вида «упомянутая кинолокация название фильма место действия фильма туризм» по первым 20–30 результатам.

Результаты были классифицированы по степени достоверности источников: официальные предложения туристических компаний; официальные сайты российских, региональных газет; неофициальные туристические сайты; социальные сети (записи в блоге «Живой журнал» и пр.). На первом этапе на основании всех найденных источников был сформирован первичный набор фильмов для анализа. Для уточнения информации были посланы информационные запросы в музеи, туристические компании; при наличии возможности были проведены интервью с сотрудниками турфирм, ведущими деятельность в местах потенциального кинотуризма (Териберка, Мурманская область, Россия). На втором этапе были отобраны фильмы, информация о развитии кинотуризма по мотивам которых была подтверждена из официальных источников (ответы на информационные запросы, предложения туристических компаний; официальные сайты российских, региональных газет). Из 410 фильмов по большей

части картин (316) упоминания мест съемок не было найдено. По 76 фильмам информация о местах съемок в ходе вышеописанного анализа по поисковым запросам в Google была обнаружена, но она не включала ответы на информационные запросы и официальные предложения туристических компаний (то есть данные из источников с высокой степенью достоверности). Таким образом, на второй стадии были отобраны для дальнейшего анализа 8 кинофильмов.

Результаты исследования и их обсуждение.

Анализ показал, что наибольшее влияние на развитие кинематографического туризма по мотивам российских кинофильмов оказали следующие картины: «Брестская крепость», «Высоцкий. Спасибо, что живой», «Географ глобус пропил», «Записки экспедитора тайной канцелярии», «Левиафан», «Орда», «Питер FM», «Территория». Примечательно, что в двух случаях российские кинофильмы инспирировали развитие кинотуризма в странах СНГ.

По типу инспирированной активности места развития кинематографического туризма относятся преимущественно к типам «ландшафты съемок», «специально созданные ландшафты съемок – декорации», а также замененные ландшафты съемок (туризм по мотивам фильма «Территория»). В случае фильмов «Высоцкий. Спасибо, что живой», «Географ глобус пропил» и «Питер FM» туристические компании организовали тематические туры. Декорации, созданные для фильмов «Записки экспедитора тайной канцелярии» и «Орда», стали платными туристическими объектами – иными словами, благодаря киноиндустрии были созданы новые объекты инфраструктуры досуга. Достоверно повлияли на узнаваемость места и рост туристического интереса фильмы «Брестская крепость», «Левиафан», «Территория». Рассмотрим некоторые случаи подробнее.

Сплав по местам съемок фильма «Географ глобус пропил» по реке Усьве предлагает пермская компания «Зеленый ветер» [Официальный сайт Центра ..., 2017]. Сотрудники компании сами продемонстрировали съемочной группе достопримечательности Пермского края и сами придумали маршрут сплава. На основании показанных локаций был снят фильм. Более 70% локаций, показанных сотрудниками фирмы съемочной группе, вошли в ленту. После премьеры фильма компания презентовала ежегодный тур по местам съемок фильма, который был удостоен награды «Посол Пермского края» в номинации туристический маршрут.

В Астраханской области (село Селитренное) после съемок фильма «Орда» было решено оставить декорации, изображающие глинобитную столицу Орды Сарай-Бату. Они огорожены и превращены в музей (Культурно-исторический комплекс) под открытым небом, где кроме платы за вход есть дополнительные услуги, например, выдача тематического оружия для фотографий. Представитель компании «Астраханский центр туристической информации» Петр Лымарев отмечает, что «с момента выхода фильма экскурсия (в Сарай-Бату из Астра-

хани – прим. авт.) пользуется стабильно высоким спросом».

Заместитель директора по научной работе мемориального музея «Брестская крепость» Л.Г. Бибик в своем официальном ответе на информационный запрос сообщает о «значительном увеличении туристического потока из стран СНГ, в особенности – из Российской Федерации». Факт влияния фильма «Брестская крепость», снятого в совместном производстве с Белоруссией (доля России – 70%), на посещаемость «Мемориального комплекса «Брестская крепость-герой» в городе Брест (Белоруссия): с 2010 по 2012 г. посещаемость выросла в 3,3 раза (премьера в Белоруссии – 22.06.2010, выход в прокат в РФ – 4.11.2010).

Для Териберки (Мурманская область) фильм «Левиафан» стал не только гарантом узнаваемости (популярным предложением туроператоров для посещения поселка стал слоган «пройти по следам Левиафана»), но и потенциальным катализатором социально-экономического развития территории. После выхода фильма в 2014 г. в поселке были построены три гостиницы, строится эко-отель. По словам владельцев компании «LavkaLavka», они «сразу после выхода фильма» обратили внимание на Териберку как на потенциальный район размещения бизнеса: «Мы решили, что если вправду есть такое далекое, забытое и пугающее место – то надо ехать туда и делать его лучше!» [LavkaLavka ..., 2016]. Сейчас компания от этапа планирования переходит к созданию «производственного эко-кластера в Териберке по переработке местных экологических биоресурсов», при этом будет создано 65 новых рабочих мест (25 – сезонных) [Виноградов, 2017].

Компания «АльпИндустрия» предлагает экспедицию на плато Путорана: «Путораны. Там, где сни-

мался фильм Территория» [Официальный сайт ..., 2017]. Представитель другой компании – «Академия Путешествий» (г. Красноярск), в предложении которой важное место занимает упоминание фильма, – Андрей Васильев отмечает, что «хотя действие романа Куваева, на основании которого снят фильм, происходит на Чукотке, для съемки фильма были выбраны более красивые и яркие ландшафты плато Путорана». Представитель компании подчеркивает, что в программу их тура входит обязательный просмотр этого фильма туристами, по его мнению «Территория» помогает осознать масштабы местности. Он рассказывает, что использует фильм для продвижения туристического продукта: «Такие фильмы в совокупности с другими факторами помогают выстраиваться звездам в ряд для принятия туристами решения о поездке».

Выводы:

– проведенное исследование, включавшее анализ наиболее популярных российских фильмов начала XXI века, показало факт развития в России нового вида культурного туризма – кинематографического туризма;

– ареалы кинематографического туризма сформировались в различных районах страны, включая Московскую область, Санкт-Петербург, Красноярский край (плато Путорана), Астраханскую и Мурманскую области;

– кинематографический туризм может стать весомым фактором социально-экономического развития отдельных территорий, особенно в удаленных, периферийных районах, и заслуживает дальнейшего тщательного изучения. Особенно важным направлением будет изучение факторов повышения привлекательности территорий для съемок кинофильмов и последующего развития кинотуризма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белова Е.Д. Кинематографический туризм на примере Барселона // Латинская Америка. 2017. № 11(518). С. 95–106.

Виноградов И. Териберка ждет туристов и урбанистов. ТАСС, 13.07.2017. URL: <http://tass.ru/obschestvo/4410897> (дата обращения 26.07.2017)

Как заработать на соли, ягодах и помочь Териберке? // LavkaLavka. 16.11.2016. URL: <http://lavkagazeta.com/bolshaya-zemlya/kak-zarabotat-na-soli-yagodax-i-pomoch-teriberke/> (дата обращения 3.08.2017).

Официальный сайт туристического агентства «АльпИндустрия». Комбинированные туры. URL: <http://www.alpindustria-tour.ru/types/40/news/3165.html> (дата обращения 14.12.2017).

Официальный сайт Центра экологического туризма «Зеленый ветер». Сплав «По местам съемок фильма «Географ глобус пропил». URL: <http://www.zel-veter.ru/catalogue/view/87> (дата обращения 14.12.2017).

Aitken S.C. I'd rather match the movie than read the book // J. Geography in Higher Education. 1994. V. 18. № 3. P. 291–307.

Bushe A. Projecting a cinematic boost for tourism // The Newsletter. 2005. 13 June. 2005. 4 p.

Del Rey-Reguillo A. Cine, Imaginario y Turismo // Estrategias de seducción. Valencia: Tirant Lo Blanch, 2007. 268 p.

Dodd S.C. Creative industries add \$698 billion to the U.S. economy and 4,7 million jobs. 14.01.2015. URL: <https://www.mpa.org/nea/> (дата обращения 16.03.2017).

Luiz D.F. Turismo cinematográfico y desarrollo económico local. El festival de cine de Huelva // Cuadernos de Turismo. 2015. № 36. P. 175–196.

Quantifying Film and Television Tourism in England. Report for Creative England in association with VisitEngland by Olsberg SPI. 4th March, 2015. 114 p. URL: <http://applications.creativeengland.321.co.uk/assets/public/resource/140.pdf> (дата обращения 26.07.2017).

Riley R., Van Doren C.S. Movies as tourism promotion. A pull factor in a push location // Tourism Management. 1992. P. 267–274.

Поступила в редакцию 04.12.2017

Принята к публикации 28.12.2017

Belova E.D.¹

CINEMA-INDUCED TOURISM IN RUSSIA

Film industry as a creative industry influences the socio-economic development of territories both directly and indirectly. Cinema-induced tourism inspired by popular movies is an example of such informational effect of the industry. It was studied basing on 410 Russian movies released from 2000 to mid-2017 which were selected from the Kinopoisk and IMDb lists. Thematic tours was organized after the movies «Vysotsky: Thank God I'm alive», «The geographer drank his globe away» and «Piter FM». Scenery constructed for the movies «Zapiski ekspeditora Taynoy kancelarii» and «The Horde» became tourist objects. The rise of tourist interest and place recognition of the corresponding regions was caused by the films «Fortress of War», «Leviathan» and «Territory».

Key words: cultural tourism, creative industries, film industry, regional development, Russian cinematography.

REFERENCES

- Aitken S.C. I'd rather match the movie than read the book // *J. Geography in Higher Education*. 1994. V. 18. № 3. P. 291–307.
- Belova E.D. Kinematograficheskij turizm na primere Barselony [Cinema-induced tourism in Barcelona] // *Latinskaya Amerika*. 2017. № 11(518). P. 95–106 (in Russian).
- Bushe A. Projecting a cinematic boost for tourism // *The Newsletter*. 13 June 2005. P. 4.
- Del Rey-Reguillo A. Cine, Imaginario y Turismo // *Estrategias de seducciyn*. Valencia, Tirant Lo Blanch, 2007. 268 p.
- Dodd S.C. Creative industries add \$698 billion to the U.S. economy and 4,7 million jobs. 14.01.2015. URL: <https://www.mpaa.org/nea/> (accessed 16.03.2017).
- Kak zarabotat' na soli, yagodah i pomoch' Teriberke? [How to make money on salt and berries and help Teriberka?] // *LavkaLavka*. 16.11.2016. URL: <http://lavkagazeta.com/bolshaya-zemlya/kak-zarabotat-na-soli-yagodax-i-pomoch-teriberke/> Accessed 3.08.2017 (in Russian).
- Luiz D.F. Turismo cinematográfico y desarrollo económico local. El festival de cine de Huelva // *Cuadernos de Turismo*. 2015. № 36. P. 175–196.
- Official'nyj sayt Centra ekologicheskogo turizma «Zelyonyj veter». [Official site of the Center of Environmental Tourism] Splav «Po mestam syomok fil'ma «Geograf globus propil». URL: <http://www.zel-veter.ru/catalogue/view/87> Accessed 14.12.2017 (in Russian).
- Official'nyj sayt turisticheskogo agentstva «Al'pIndustriya». [Official site of the Alpindustria tourist agency] Kombinirovannyye tury. URL: <http://www.alpindustria-tour.ru/ttypes/40/news/3165.html> Accessed 14.12.2017 (in Russian).
- Quantifying Film and Television Tourism in England. Report for Creative England in association with VisitEngland by Olsberg. SPI. 4th March, 2015. 114 p. URL: <http://applications.creativeengland.co.uk/assets/public/resource/140.pdf> Accessed 26.07.2017.
- Riley R., Van Doren C.S. Movies as tourism promotion. A pull factor in a push location // *Tourism Management*. 1992. P. 267–274.
- Vinogradov I. Teriberka zhdyot turistov i urbanistov [Teriberka waiting for tourists and urbanists]. TASS, 13.07.2017. URL: <http://tass.ru/obschestvo/4410897> Accessed 26.07.2017 (in Russian).

Received 04.12.2017

Accepted 28.12.2017

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

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 подрисуночных подписях или в тексте). Линии на рисунках должны быть четкими (5–6 рix). 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.

Подрисуночные подписи 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.