

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

- Чалов Р. С. Управление русловыми процессами как основа совершенствования водных путей 3
- Иванов М. М., Голосов В. Н., Беляев В. Р. Анализ строения рельефа для оценки коэффициента доставки наносов бассейна реки Плавы (Тульская область) 14

География и экология

- Битюкова В. Р., Саульская Т. Д. Изменение антропогенного воздействия производственных зон Москвы за последние десятилетия 24
- Банчева А. И., Алексеева Н. Н. Геоэкологическая оценка о. Хоккайдо 34

Методы географических исследований

- Кошель С. М., Энтин А. Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока 42
- Астанин Д. М. Использование каркасного метода в планировании и функциональном зонировании территорий, благоприятных для организации экотуризма (на примере центральной части Восточного Саяна) 51
- Жаринов С. Н., Голубева Е. И. Экономическая оценка последствий лесных пожаров (на примере Тверской области) 61

Региональные исследования

- Трегубов О. Д. Геохимические барьеры в почвах и ландшафтах Анадырской тундры 70
- Кулешова Л. А. Изменения поверхностной циркуляции вод в центральной части Северной Атлантики в позднем плейстоцене-голоцене 80

Краткие сообщения

- Куричева Е. К. Жилищное строительство в Московской агломерации: пространственные последствия 87
- Корбут В. В., Цекина М. В. Дюны Летнего берега Белого моря как объект познавательного туризма 91
- Голубчиков Ю. Н., Кружалин В. И. Арктический туризм 96

Юбилей

- 80-летие Николая Николаевича Дроздова 99

C O N T E N T S

Theory and methodology

Chalov R.S. Control of fluvial processes as a basis for waterway improvement.....	3
Ivanov M.M., Golosov V.N., Belyaev V.R. Analysis of topography structure for the evaluation of sediment delivery ratio within the Plava River basin (Tula Oblast).....	24

Geography and ecology

Bitukova V.R., Saulskaya T.D. Changes of the anthropogenic impact of Moscow industrial zones during the recent decades.....	34
Bancheva A.I., Alekseeva N.N. Geocological assessment of Hokkaido Island	

Methods of geographical studies

Koshel S.M., Entin A.L. Catchment area derivation from gridded digital elevation models using the flowline tracing approach.....	42
Astani D.M. Application of network method in the planning and functional zoning of territories favorable for the organization of ecotourism (case study of the central part of the Eastern Sayan Mountains).....	51
Zharinov S.N., Golubeva E.I. Economic evaluation of forest fires effects (case study of the Tver Oblast).....	61

Regional studies

Tregubov O.D. Geochemical barriers in soils and landscapes of the Anadyr tundra	70
Kuleshova L.A. Late Pleistocene to Holocene changes of surface water circulation in the Central North Atlantic.....	80

Short communications

Kuricheva E.K. Housing construction in Moscow agglomeration: spatial effects	87
Korbut V.V., Ceking M.V. Dunes of the White Sea Summer Coast as an object of educational tourism.....	91
Golubchikov Yu.N., Kruzhalin V.I. Tourism in the Arctic regions.....	96

Jubilees

To the 80 th birthday of Nikolai Nikolaevich Drozdov.....	99
--	----

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 556.5:551.4.04:36.222.5

Р.С. Чалов¹УПРАВЛЕНИЕ РУСЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ КАК ОСНОВА
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ВОДНЫХ ПУТЕЙ

Рассмотрены основные принципы и методы управления русловыми процессами на судоходных реках для обеспечения гарантированных глубин на водных путях при соблюдении требований гидро-экологической безопасности и сохранении рек как природных объектов. Они базируются на закономерностях руслового режима рек, многолетних и сезонных деформаций перекатов, учете стадийности развития форм русла и форм руслового рельефа. Показана технико-экономическая и экологическая эффективность реализации методов проектирования, опирающихся на естественные тенденции русловых переформирований и их прогнозные оценки.

Ключевые слова: формы русла, русловой рельеф, перекаты, побочни, осередки, разветвления, меандрирующие реки, дноуглубление, выправление русел, судоходные реки, гарантированные глубины, судовой ход, устойчивость, стабилизация, деформации.

Введение. Использование рек как путей сообщения среди всех других видов освоения водных ресурсов в наиболее полной мере базируется на учете особенностей их руслового режима. Это определяется зависимостью состояния судоходных трасс и методов дноуглубления от направленности и интенсивности переформирований русел на всех структурных уровнях проявлений русловых процессов. Поэтому проектирование прорезей и выправительных сооружений максимально опирается на руслоформирующую деятельность речного потока. Особенно важен учет русловых процессов на реках с неустойчивым и слабоустойчивым руслом (Северная Двина, Вычегда, Печора, Лена, Обь, Волга, Дон на незарегулированных участках, Ока), на которых условия судоходства лимитируются мелководностью перекатов и перекатных участков, многолетним и сезонным режимами их деформаций, переформированиями русла в целом. Правильный выбор трассы фарватера, стабилизация ее положения, обеспечение оптимальных для судоходства глубин определяются соответствием методов дноуглубления русловому режиму рек и прогнозным оценкам русловых переформирований [Маккавеев, 1949; Проектирование ..., 1964]. Это вместе с тем обеспечивает гидроэкологическую безопасность при выполнении путевых мероприятий и сохранение рек как природных объектов.

Такой подход, представляющий собой управление русловыми процессами, характерен для российской школы воднотранспортного использования рек. Основоположники учения о русловых процессах В.М. Лохтин и Н.С. Лелявский, будучи инженерами-путейцами, еще в конце XIX в. подчеркивали зависимость состояния водных путей от природных

условий и руслового режима рек и, соответственно, выбора методов регулирования русел рек от его особенностей. В этом – принципиальное отличие от подхода, получившего распространение на Западе, где судоходные реки подверглись гидротехническому преобразованию, канализованы и, утратив во многом свой природный облик, стали объектами экологической напряженности и активизации опасных гидрологических явлений (например, наводнений). В результате сейчас ставится вопрос о природоприближенном их восстановлении [Dingethal et al., 1985; Gebler, 1995; Румянцев с соавт., 2001].

Методика и объекты исследования. На основе многолетних (с 1957 г.) исследований руслового режима рек России для обоснования мер по улучшению условий судоходства разработаны приемы и методы проектирования судовых ходов, применение которых на практике обеспечило технико-экономическую эффективность и гидроэкологическую безопасность дноуглубления. Эти исследования, инициатором и идеологом которых был Н.И. Маккавеев, выполнялись на Северной Двине, Вычегде, Сыsole [Русловые ..., 2012], Оби, Томи, Бие, Катунь [Русловые ..., 2001], Лене, Вилуе, Алдане, Витиме, Киренге [Водные ..., 1995], Енисее [Белый с соавт., 2000; Беркович с соавт., 2003], а также на Амударье [Маккавеев с соавт., 1976] и Днестре [Беркович с соавт., 1992]. Для этих рек даны прогнозные оценки русловых деформаций, обоснованы схемы регулирования русел и рекомендации по их реализации на затруднительных для судоходства перекатных участках.

Обсуждение результатов. Врезанные или широкопойменные русла, их различная морфодинамика, степень устойчивости (или неустойчивости), пес-

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. Маккавеева, гл. науч. сотр., докт. геогр. н.; e-mail: rschalov@mail.ru

чаный или галечнико-валунный состав наносов, неодинаковый сток наносов и наличие местных источников его поступления, особенности водного режима, геолого-геоморфологическое строение русел и берегов определяют специфику подходов к регулированию русел на разных реках, создают большое разнообразие приемов и методов улучшения водных путей. Вместе с тем при всей специфике русловых процессов и особенностях дноуглубления создание устойчивых водных путей на реках разных бассейнов опирается на некоторые общие принципы, основывающиеся на опыте выправления русел [Маккавеев, 1940, 1949; Проектирование ..., 1964; Руководство ..., 1974]:

1. Максимальное использование работы потока в многоводную фазу режима, когда осуществляются основные русловые деформации и проходят руслоформирующие расходы воды [Проектирование ..., 1964].

2. Применение в комплексе методов разработки дноуглубительных прорезей и отвалов грунта, извлекаемого из прорезей, в качестве выправительных сооружений.

3. Использование ведущих коренных и высоких пойменных берегов, вогнутостей (выбоин) и мысов в их конфигурации, побочней, осередков и островов как естественных форм, воздействующих на направленность работы потока.

4. Выполнение капитальных дноуглубительных работ на всем протяжении затруднительных для судоходства участков, в пределах которых все формы русла (излучины, разветвления) и руслового рельефа (перекаты) развиваются сопряженно.

На *меандрирующих реках* радикальным способом улучшения условий судоходства является спрямление развитых и крутых излучин посредством разработки канала через их шпоры. Эти работы осуществляются, если кривизна излучин превысила критическое значение (отношение длины русла к шагу излучин $l/L > 1,6$). Естественным путем их спрямление возможно, если руслоформирующие расходы воды проходят при затопленной пойме. В этом случае разработка канала лишь предваряет саморазмыв вдоль наиболее пониженной тыловой части или ложбины на пойме, где сосредотачивается поток половодья. В дальнейшем канал углубляется, расширяется, а бывшая излучина превращается в староречье (рис. 1). Однако для улучшения условий судоходства и сокращения длины судового хода спрямление излучин производится редко, так как экономически себя не оправдывает. Только с этой целью в середине XX в. были искусственно спрямлены две крутые петлеобразные излучины ($l/L > 3-4$) на верхней Сухоне, а раньше была спрямлена серия излучин «Окольная Сухона» длиной 21 км, благодаря чему изменилось положение узла слияния Сухоны, Вологды и Лежи [Рулева с соавт., 2010]. Обычно реализация проектов спрямления возможна при заинтересованности других отраслей экономики: отвод реки от города из-за его разрушения при размыве вогнутого берега (таковы проекты спрямления

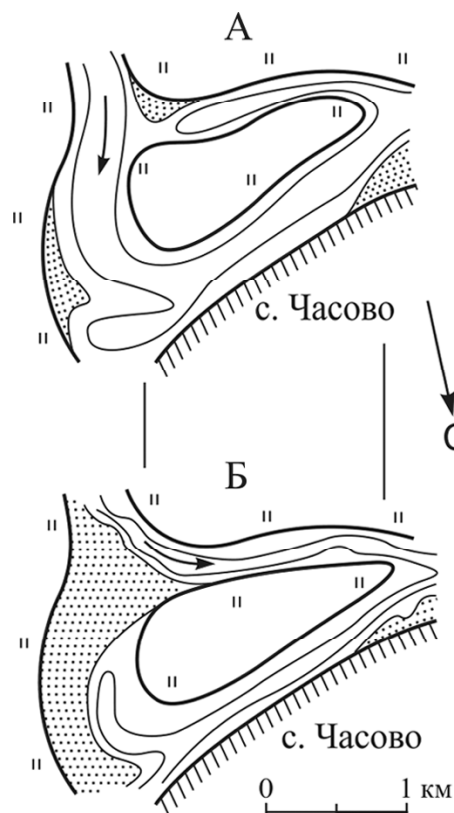


Рис. 1. Спрямление Часовской излучины на р. Вычегде. Планы русла: А – до спрямления (1946 г.), но с развивающейся спрямляющей шпору протокой; Б – после спрямления (1970-е гг.)

Fig. 1. Straightening of the Chasovsky meandr on the Vychegda River. Schemes of the channel: A – before straightening (1946) but with evolving groin-straightening branch; B – after straightening (1970-s)

излучин на Иртыше у г. Ханты-Мансийска [Ребковец с соавт., 2009] и на Оби у г. Колпашево [Беликов с соавт., 2010]), понижение уровня воды для снижения риска наводнений (р. Янцзы в пределах равнины Лянху [Чалов с соавт., 2006], Терек и др.).

Если спрямление излучин не производится, положение трассы судового хода согласовывается со скоростным полем потока и циркуляционными течениями, различными в зависимости от стадии развития излучин, на перевалах от одного берега к другому на крыльях или в вершине излучин. На пологих излучинах она должна располагаться в верхнем крыле вдоль выпуклого берега, в нижнем – вдоль вогнутого. Перевал фарватера от одного берега к другому при этом происходит в привершинной части излучины, смещаясь вверх по течению по мере увеличения ее кривизны. Соответственно располагаются прорези и выправительные сооружения, закрепляющие побочни и повышающие их отметки (рис. 2).

На крутых петлеобразных излучинах судового ход прижимается к вогнутому берегу по всей их длине, и перевал фарватера от одного берега к другому находится в месте перегиба русла между соседними излучинами. Положение прорези согласовывается с режимом находящегося здесь переката: возле верхнего побочня, если перекат имеет

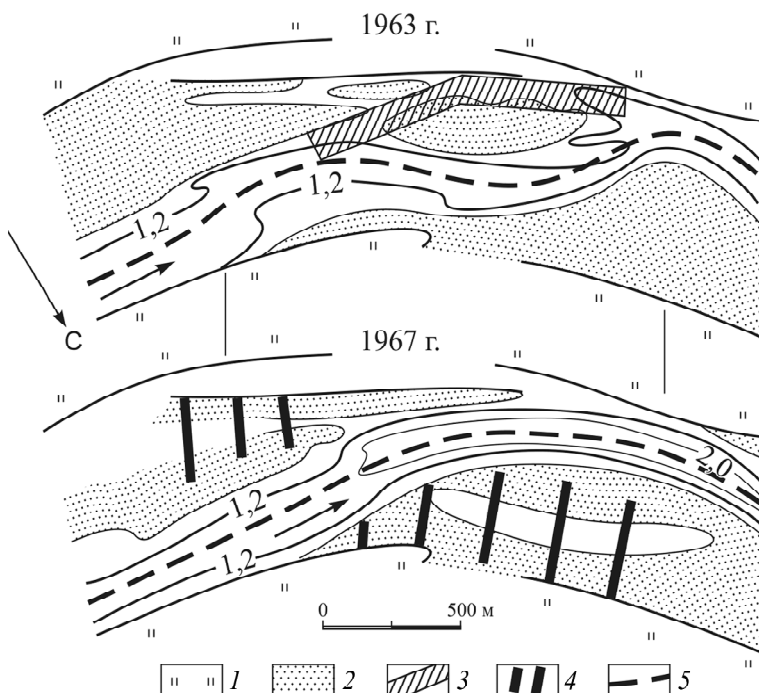


Рис. 2. Выправительные работы на IV и V Парчегских перекатах р. Вычегды: 1 – пойма; 2 – прирусловые отмели; 3 – дноуглубительная прорезь; 4 – дамбы; 5 – судовой ход

Fig. 2. Straightening of the IV and V Parcheg natural bars of the Vychegda River: 1 – floodplain; 2 – point bar; 3 – dredging cut; 4 – dams; 5 – water way

развитую затонскую часть, в нижнем положении – без затонской части. На излучинах, где нарушено условие безотрывного обтекания потоком вогнутого берега (отношение радиуса кривизны к ширине русла $r/b_p < 2,5-3$), судовой ход располагается у выпуклого берега, а отвалы грунта из прорезей укладываются в зоны отрыва потока от вогнутого берега. Применение таких приемов характерно для крутых вынужденных излучин, у которых вогнутый берег в нижнем крыле является коренным, трудно размываемым.

Укрепление размываемых участков берегов на излучинах ликвидирует одну из главных причин сезонного наращивания гребней перекатов, так как резко сокращается поступление в реку продуктов размыва, что приводит к снижению высоты гребней перекатов и росту глубины.

На **реках с прямолинейным неразветвленным руслом** выправление водного пути эффективно и легко осуществимо, если один из берегов коренной, сложенный трудноразмываемыми породами. Основным методом регулирования является правило «ведущего берега» [Проектирование ..., 1964]: прорезь разрабатывается вдоль высокого коренного берега; отвалы грунта используются для повышения отметок прирусловых отмелей в противоположной части русла или возведения здесь полузапруд. Надобность в их установке возникает также, если высокий берег име-

ет неровные очертания (для выравнивания его линии) или в местных расширениях русла. Относительная устойчивость русла, следующего вдоль такого берега, определяется особенностями гидравлического режима и скоростного поля потока в половодье при затопленной односторонней пойме.

Ограничением для расположения трассы вдоль коренного берега может быть неровная его линия в плане, выпски из оврагов, наличие скальных гряд и мысов. В первом случае у коренного берега формируются массивные отмели, стрежень потока и, соответственно, судовой ход отклоняются от него, формируются перекаты. Закрепление судового хода осуществляется благодаря максимальному использованию направляющего воздействия на поток выступов (мысов) коренного берега – трассированием прорезей на перевале к пойменному берегу по направлению его плеча и возведением продольной дамбы на его продолжении.

Правило «ведущего берега» можно применять в русле с двусторонней поймой, где роль ведущих выполняют высокие пойменные яры, особенно глинистые, заросшие густым лесом, но при условии, что руслоформирующие расходы проходят до выхода воды на пойму. Его можно также распространять на разветвленные русла, если судоходный рукав располагается возле высокого берега. Разработка капитальных прорезей в рукавах и перевод в них трассы судового хода (рис. 3) сопровождается трансформацией русла с сопряженными, одиночными или иными типами разветвлений в русло с односторонними разветвлениями, а при отмирании рукава – в прямолинейное неразветвленное.

Разработка рукавов вдоль коренных или высоких пойменных берегов с использованием их в ка-

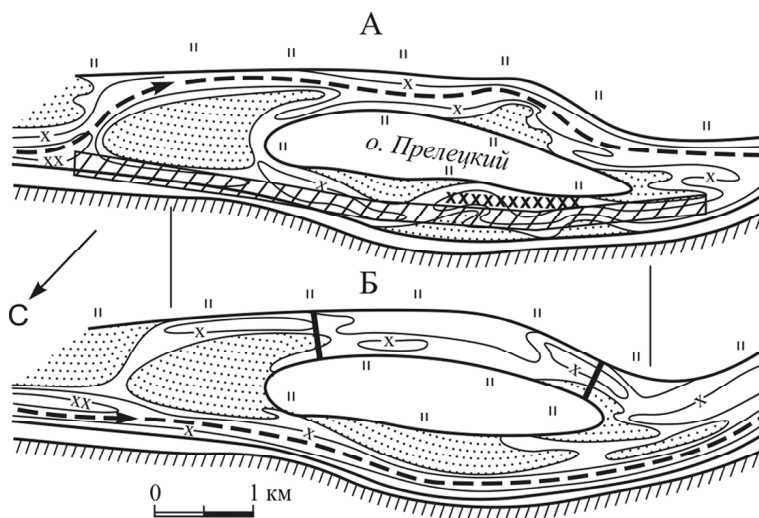


Рис. 3. Выправление русла р. Вычегды в районе Тимасовских перекатов

Fig. 3. Straightening of the Vychegda River bed near the Timasov natural bars

честве опоры судоходной трассы – метод выправления, впервые примененный на Северной Двине и на Вычегде в 50–60-е гг. [Маккавеев, 1960; Проектирование ..., 1964; Русловые ..., 2012] и в дальнейшем широко используемый на других больших судоходных реках (Оби, Лене) [Водные ..., 1995; Русловые ..., 2001].

При двусторонней пойме улучшение условий судоходства достигается закреплением побочной и разработкой переуглубленных прорезей, затрассированных в оптимальном для каждого переката положении (в соответствии с режимом его переформирования). Благодаря этому создается пологоизвилистая трасса, устойчивости глубин на которой способствует поле скоростей и циркуляционные течения.

Время разработки прорезей на перекатах на спаде половодья и отметки гребней выправительных сооружений согласуются с особенностями их режима и уровнями прохождения руслоформирующих расходов воды Q_{ϕ} . Излишне ранняя разработка прорезей приводит к увеличению объемов землечерпания и к необходимости повторных работ в меженьный период. Для сооружений меженного регулирования за расчетный руслоформирующий расход принимается нижний интервал Q_{ϕ} , для сооружений весеннего регулирования – средний интервал Q_{ϕ} или, при наличии верхнего интервала Q_{ϕ} , соответствующего затоплению поймы, уровень бровок поймы.

На *реках, разветвленных на рукава*, выбор положения судоходной трассы и методы регулирования русла наиболее сложны и разнообразны. На участках русла с *одиночными разветвлениями или в верхнем звене сопряженных разветвлений* мероприятием, обеспечивающим сохранение удовлетворительного состояния глубин, является заблаговременное отторжение побочной, надвигающейся на заход в судоходный рукав, когда они располагаются на таком расстоянии от него, при котором перераспределение стока еще не происходит. В про-

тивном случае растут объемы землечерпания, либо приходится осваивать развивающийся несудоходный рукав. В обоих случаях важно определить общую тенденцию развития узла разветвления и периодичности надвигания побочной.

Перераспределение расходов воды в одиночных узлах разветвления может быть вызвано увеличением кривизны судоходного рукава, что приводит к потере гидравлической выгоды извилистой формы русла ($l = 1,6L$, где l – длина русла по излучине рукава, L – шаг излучины). При этом целесообразно судоходный ход перенести в прямой рукав, причем оптимальные условия для перевода трассы фарватера в несудоходный рукав соответствуют соотношению $l > 1,4L$ для судоходного рукава.

Если разветвление находится ниже мыса (выступа) ведущего берега, следует учитывать его направляющее влияние на поток. При расположении судоходного хода возле коренного берега выше по течению это влияние наиболее существенно, так как поток отклоняется от него, вызывая развитие рукава в пойменных берегах. Воздействие на поток мыса может быть закреплено продольной дамбой, возведенной на его продолжении и частично перекрывающей заход в рукав возле него. Если влияние выступа на поток ослабевает, возможна разработка прорезей в рукаве вдоль коренного берега и перемещение в него судоходного хода. В этом случае формирующиеся ниже выступов и мысов ведущего берега побочники следует отторгать от него прорезями, пока они не разрослись настолько, что, огибая их, фарватер не переместился к противоположному пойменному берегу (рис. 4) и не стал постоянно изменять свое положение.

На участках *сопряженных разветлений русел*, где острова следуют друг за другом цепочкой, трасса судоходного хода должна последовательно располагаться в рукавах, проходящих то у одного, то у другого берега (правило «восьмерки») [Проектиро-

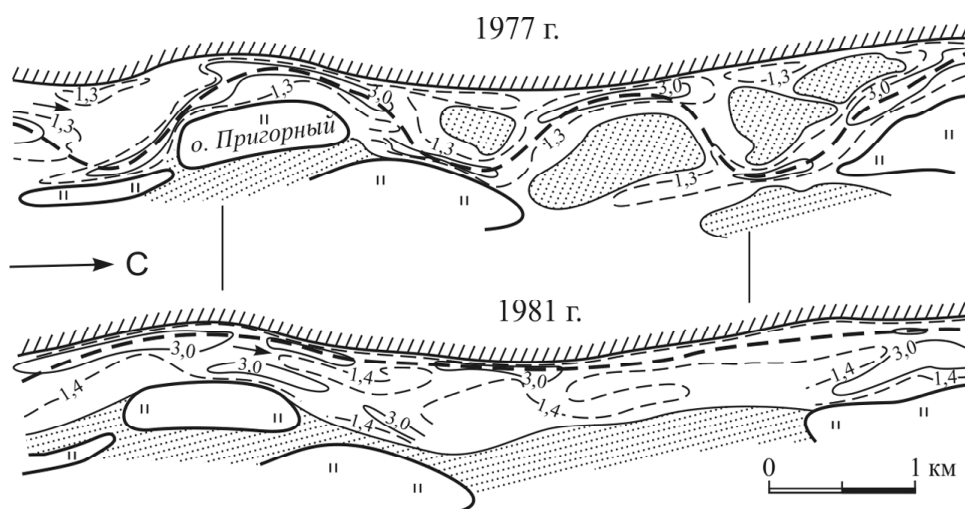


Рис. 4. Приведение судоходного хода к левому коренному берегу верхней Оби, имеющего неровные очертания (Вяткинские, Беловские перекаты), в результате отторжения от него побочной

Fig. 4. Moving the waterway to the left valley side of the Upper Ob' River indented as a result of point bars formation (Vyatkinskiye and Belovskiye natural bars)

вание ..., 1964; Русловы ..., 2001; Чалов, 2004]. Это позволяет уменьшить влияние побочной, надвигающихся на истоки рукавов, ограничить отток воды в несудоходные рукава, в максимальной степени использовать направляющее воздействие ведущих берегов и обеспечить пологий перевал фарватера из одного рукава в другой ниже по течению. При таком подходе перекаты, формирующиеся при сопряжении рукавов, в их истоках или в устье, либо не лимитируют судоходство, либо требуют выполнения дноуглубительных работ в небольших объемах. При обосновании трассы участка русла необходимо рассматривать на всем протяжении сопряженных разветвлений вплоть до тех мест, где русло приобретает иной морфологический облик. Выправление русла в отдельном звене сопряженных разветвлений может нарушить естественный ход процессов и отрицательно скажется на состоянии смежных участков русла.

В пределах каждого звена сопряженных разветвлений судовой ход должен быть расположен в крайнем правом или крайнем левом положении, при котором в максимальной степени используется направляющее воздействие на поток ведущих берегов. Если это условие не соблюдается и трасса фарватера проходит посередине русла, в рукаве возникает сложный перекатный участок. Такие перекатные участки обычно являются наиболее сложными для судоходства, и глубины на них выдерживаются посредством интенсивного землечерпания.

Для коренного улучшения условий судоходства в верхнем звене сопряженных разветвлений выбирается рукав, отличающийся наибольшей пропускной способностью и находящийся в стадии активизации. Такой рукав представляет собой часто продолжение вышележащего плеса. Наиболее благоприятны для расположения судовой ходы рукава, проходящие вдоль коренного берега, что позволяет закрепить трассу судовой ходы во всей системе сопряженных рукавов. Однако если заход в такой рукав располагается ниже мыса, отклоняющего поток к противоположному берегу, предпочтение следует отдать рукаву, проходящему в пойменных берегах. Другим

возможным ограничением использования рукавов возле коренных берегов являются плотные коренные породы или скальные гряды, подстилающие русло. Такие ограничения могут возникнуть и в промежуточных звеньях сопряженных разветвлений; в таких случаях трассу судовой ходы по правилу «восьмерки» следует располагать так, чтобы эти рукава были бы несудоходными. С другой стороны, разработка прорезы в плотных коренных грунтах, подстилающих русла рукавов, особенно в верхнем звене, способствует общему закреплению трассы судовой ходы.

В наиболее полной мере правило «восьмерки» при выправлении русла было использовано на р. Оби между г. Новосибирском и устьем р. Томи: здесь оно реализовано почти на половине длины участка или посредством разработки капитальных прорезей в ранее несудоходных рукавах или закреплением прорезями и сооружениями существующего оптимального положения трассы судовой ходы (рис. 5).

На участке с параллельно-рукавными разветвлениями судовой ходы должна располагаться на всем участке в рукаве, проходящем вдоль одного и того же берега. Выбор рукава для расположения трассы определяется устойчивостью русла обоих рукавов, их вторичной разветвленностью, условиями поступления в них влекомых (донных) наносов, характером берегов и т. д. На Северной Двине наиболее сложным для состояния водного пути является Паячный – Ягрышский перекатный участок, соответствующий параллельно-рукавному разветвлению, длиной 22 км. Здесь еще в 1950-е гг. ежегодно приходилось извлекать более 1 млн м³ грунта. Из двух рукавов разветвления правый проходит вдоль террасового берега, но в него поступают продукты размыва расположенной выше по течению песчаной Толоконной горы. Поэтому разработанный проект выправления русла, предложенный Н.И. Маккавеевым [1960], заключался в разработке системы прорезей в левом рукаве, в том числе углубляющих коренное (моренное) ложе; правый рукав перекрывался дамбами, перед заходом – по-

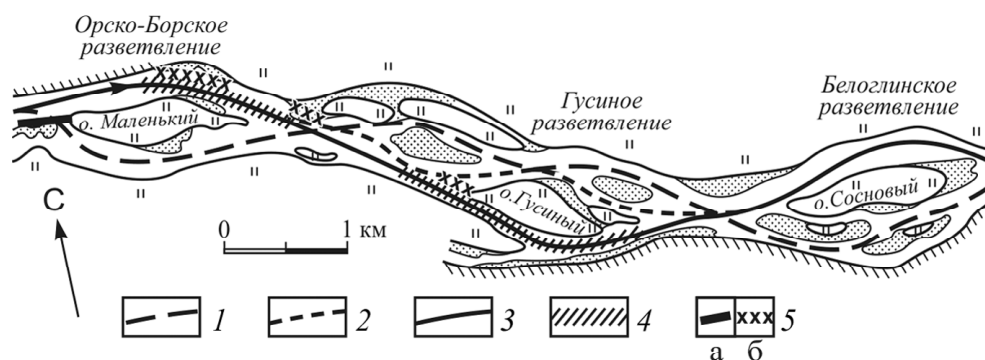


Рис. 5. Выправление русла р. Оби по правилу «восьмерки» в Орско-Борском, Гусином, Белоглинском разветвлениях. Обозначения: 1 – судовой ход в 30–50-е годы XX в.; 2 – судовой ход в 50-е гг.; 3 – судовой ход в 80-е годы (после выправления); 4 – капитальные прорезы; 5 – дамба (а) и расположение отвалов грунта (б)

Fig. 5. «Figure-eight» straightening of the Ob' River bed in Orsk-Borsk, Gusiny and Beloglinsky braidings. 1 – water way of the 1930-50-s; 2 – water way of the 1950-s; 3 – water way of the 1980-s (after straightening); 4 – main cuts; 5 – dam (a) and earth deposits location (b)

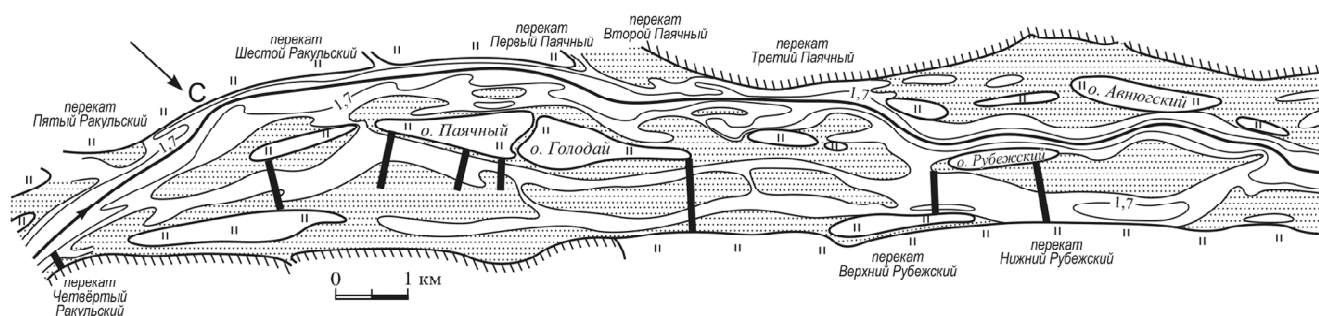


Рис. 6. Выправление Паячных, Рубежских, Коптельских, Ягрышских перекатов на р. Северная Двина (параллельно-рукавное разветвление)

Fig. 6. Straightening of Paechny, Rubezh, Koptelsk and Yagrysh natural bars on the Northern Dvina River (parallel channel braiding)

лузапрудой, ограничивающей сток воды в нем и привлекающей донные наносы (рис. 6).

Если обеспечить устойчивость трассы судового хода в рукавах вдоль одного из берегов затруднительно или нецелесообразно (например, из-за необходимости поддержания подходов водного пути к населенным пунктам на противоположных берегах), ее на перевалах следует закреплять вдоль ухвостьев островов. Это можно достичь своевременным отторжением развивающихся здесь кос и максимальным использованием направляющего воздействия на поток выбоин и мысов ведущих берегов, воздействие которых усиливается продольными дамбами. Возможно также перекрытие протоков между островами посередине русла, что приводит к консолидации островов и уменьшает число развивающихся в их ухвостьях кос [Безденежных, 1974].

Подобное перемещение трассы судового хода последовательно из левых рукавов в правые, снова в левые и т.д. характерно для параллельно-рукавных разветвлений нижнего течения р. Мезени (два участка длиной 31,5 и 43,5 км) [Чалов с соавт., 2010]. Чем больше длина перевала, тем сложнее и многочисленнее расположенные в их пределах мелковод-

ные перекаты, больше извилистость фарватера из-за незначительности воздействия ведущих берегов и рассредоточенности потока между осередками и островами посередине русла.

На участках с *чередующимися односторонними разветвлениями* используется подход, близкий к правилу «восьмерки» – трасса судового хода, полого изгибаясь, перемещается от одного берега к другому подобно пологим сегментным излучинам. Ее отличает постоянное расположение в рукавах, последовательно проходящих вдоль противоположных берегов и неустойчивость на перевалах от одного берега к другому благодаря отвлечению части стока в протоки и рукава среди островов, образующих нижнее звено, и впадение рукавов и протоков со стороны верхнего звена. Закрепление прорезей осуществляется, как и на перевалах судового хода между рукавами параллельно-рукавных разветвлений: отторжение кос в ухвостьях островов прорезями, используя направляющее воздействие выступов и мысов ведущих берегов.

В *разветвлениях, образующихся при слиянии рек*, расположение трассы судового хода зависит от возникающего при прохождении руслоформирующих

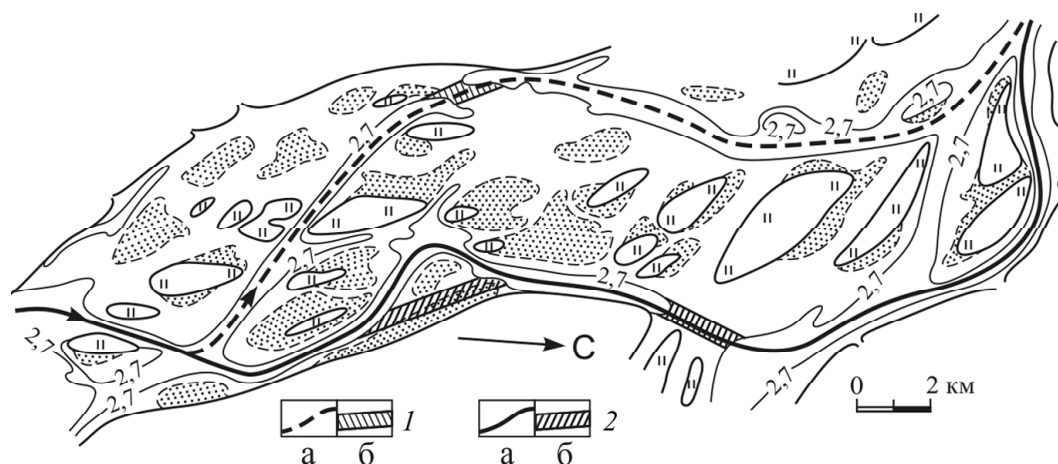


Рис. 7. Положение судового хода (а) и прорезей (б) на р. Лене в узле слияния с р. Алданом: 1 – в годы подпора Лены во время половодья; 2 – в годы с бесподпорными условиями на Лене во время половодья (план русла конца 70-х годов XX в.)

Fig. 7. Location of water way (a) and cuts (б) on the Lena River at the confluence with the Aldan River: 1 – for the Lena River water surface ascent during the spring flood; 2 – in the absence of the Lena River water surface ascent during the spring flood (channel scheme as of the late 1970-s)

расходов воды переменного подпора. В подпорных условиях судовой ход прокладывается в рукаве, образуя длинное слияние, в бесподпорных – в рукаве, образуя короткое слияние вдоль стрелки (рис. 7). На это накладывается удлинение кос от раздельной стрелки и, как следствие, общее смещение узла слияния вниз по течению, а затем прорыв стрелки в ее корневой части. Наиболее целесообразным является периодическое спрямление стрелки, не допуская ее избыточного смещения вниз.

На *перекатах, формирующихся на заходе в рукава или при их слиянии*, происходят периодические смещения судового хода, в процессе которых устанавливается крайнее верхнее или крайнее нижнее его положения, обеспечивающие наибольшие глубины и относительную стабилизацию трассы. Основной задачей выправления русла является закрепление судового хода в оптимальном положении посредством разработки прорези и укладки отвалов грунта в виде продольной дамбы, перекрывающей ту часть русла, куда судовой ход может переместиться. Крайнее верхнее положение трассы судового хода на перекатах является оптимальным, если оно поддерживается направляющим воздействием ведущих, в том числе пойменных, берегов. Если ведущий берег перед истоками рукава направляющего воздействия на поток не оказывает или в узле слияния находится зона замедления течения, прорези трассируются в крайнем нижнем положении с отвалами грунта на верхний побочень. Так как при этом создаются значительные затонские части, то повышение устойчивости судового хода достигается переуглублением прорезей.

На *реках с галечно-валунным руслом* дноуглубительные работы сопровождаются строительством выправительных сооружений, компенсирующих «посадки» уровней и уменьшающих возрастающие при этом объемы дноуглубления [Водные ..., 1995; Беркович с соавт., 1996]. Извлекаемый из прорезей грунт используется для возведения сооружений, концентрирующих поток по трассе фарватера. Наиболее эффективны сооружения межженного регулирования, стесняющие поток при низких уровнях. Нередко они могут быть единственным экономически оправданным способом увеличения глубин судового хода. Однако к их возведению следует подходить с большими предосторожностями, так как стеснение потока может привести к увеличению скоростей течения до величин, лимитирующих судоходство, и вызвать дополнительную «посадку» уровня. Полузапруды и дамбы весеннего регулирования быстро разрушаются в половодье и паводки.

Остановка движения крупных наносов на спаде уровней влечет за собой обмеление судоходной трассы, что приводит к необходимости увеличения в межень объемов дноуглубления. При их выполнении без возведения выправительных сооружений прорези трассируются, по возможности, в периферийных частях русла, где не происходит массового движения наносов в половодье и паводки.

Если перекаты располагаются сериями, при планировании дноуглубительных работ необходимо учитывать уменьшение глубины за счет «посадки» уровней на вышележащем перекате и обмеление нижележащего из-за поступления на него продуктов размыва прорези. На одиночных перекатах при разработке прорезей этими явлениями можно пренебрегать, так как их влияние не сказывается на выше- и нижележащих перекатах.

В широкопойменном разветвленном русле важен оптимальный выбор судоходного рукава. Таковым является рукав с относительно меньшей водностью, который обычно характеризуется большей глубиной, так как основной поток наносов устремляется в многоводный рукав [Белый с соавт., 1979; Беркович с соавт., 1996].

Реализация любого проекта не предотвращает формирование перекатов, сохраняются их многолетние и сезонные деформации; для обеспечения гарантированных глубин необходим выбор такого варианта расположения прорезей, при котором увеличивается их устойчивость и уменьшается заносимость; на первый план выдвигается учет тенденций развития русла и прогноз переформирования перекатов. Это позволяет своевременно переносить судовой ход без разработки дноуглубительных прорезей или выполнять землечерпательные работы в минимальных объемах. Их эффективность зависит от того, насколько учтен режим деформаций перекатов и перекатных участков, возможные изменения глубин на них в течение навигации. Это дает возможность минимизировать объемы землечерпания, свести работы по улучшению условий судоходства к профилактическим мероприятиям по предотвращению возможных неблагоприятных переформирований русла. Такой подход преобладал до 50-х годов XX в., когда гарантированные глубины были существенно меньше [Маккавеев, 1940, 1949; Проектирование ..., 1964], и стал вновь актуальным в настоящее время, когда резко сократилось по экономическим причинам дноуглубление.

Совокупность приемов, позволяющих выдерживать гарантированные габариты судового хода в течение навигации при минимальном дноуглублении, используя в наибольшей степени возможности саморазмыва перекатов, планируя в зависимости от них время разработки прорезей и выявления необходимости выполнения превентивных мероприятий, определяет оптимизационную модель путевых работ. Она опирается на знание многолетнего и сезонного режима перекатов, понимание того, на какой стадии переформирования находится каждый из них, в какой мере сопряжены режим смежных перекатов и прогнозные оценки их деформаций. Зная многолетний режим переформирования перекатов, следует закреплять оптимальное положение судового хода посредством разработки прорезей; если он сместился в неблагоприятное для состояния глубин положение, то его «возвращение» в наиболее выгодное возможно с помощью прорези, намечаемой на основе прогнозной оценки переформирования

ний. Во всех случаях планирование землечерпательных работ следует производить с учетом реальных (не приведенных к проектному уровню) глубин на перекате, вероятности и степени его саморазмыва или обмеления, возможностей проводить превентивные мероприятия. Такой подход может на длительный срок стабилизировать обстановку и снизить вероятность обмеления переката.

Более сложен учет сезонного режима перекатов. Аккумуляция наносов приводит часто к тому, что «разрывается» по всей ширине переката не только изобата гарантированной глубины, но и нулевая изобата. Такое явление характерно для Северной Двины, Печоры, Лены, верхней Оби. Однако реальная (дифференцированная) глубина при высоких уровнях может быть 3–5 м и более в самом мелком месте на перекате. Вопрос о том, нужно ли в таких условиях производить дноуглубление, зависит от сроков и степени саморазмыва гребня на спаде половодья и в межень. На одних перекатах к межени глубина вследствие размыва становится больше гарантированной, и тогда дноуглубительные работы выполнять нецелесообразно. На других размыв меньше, чем аккумуляция наносов в половодье, либо он не «успевает» за спадом уровней. В многоводные годы дифференцированные глубины на перекатах могут превышать гарантированные, и тогда также нет необходимости в дноуглублении.

Использование дифференцированных глубин при уровнях, превышающих проектные, дает возможность сократить объемы дноуглубительных работ, производить их только на тех перекатах, обмеление и недостаточный размыв которых к межени грозит срывом глубин. В этих условиях возрастает роль прогнозов уровней и расходов воды в маловодный период при прохождении паводков или волн попусков из водохранилищ. Методика таких прогнозов была разработана А.В. Христофоровым [Водные ..., 1995].

Учет водности важен не только при оценке сезонных и многолетних переформирований русла. Он необходим вследствие зависимости параметров русла и судового хода от расходов воды: в частности, в многоводные годы предпочтительны те положения фарватера на перекате, которые имеют большие радиусы кривизны, в маловодные годы – наоборот. Кроме того, в многоводные годы создаются благоприятные условия для отторжения побочной, углубления более прямых рукавов; системы сопряженных разветвлений иногда трансформируются в параллельно-рукавные; в маловодный период ситуация может быть прямо противоположной.

Перекаты, мелеющие в межень, требуют разработки эксплуатационных прорезей в период, когда происходит их обмеление. В одних случаях прорези должны располагаться, соединяя по кратчайшему пути плесовые ложбины, в других – там, где прослеживаются наибольшие глубины. Следует учитывать также периодические изменения положения

линии глубин, подобные многолетним, но происходящие в течение одной навигации или только ее маловодного периода. Таким образом, на основе учета многолетнего и сезонного режима перекатов можно обеспечить их поддержание при минимуме дноуглубления.

Выводы:

– применение на реках методов и приемов управления русловыми процессами, опирающимися на естественные (природные) механизмы их развития, обеспечило:

1) повышение устойчивости русел судоходных рек и 1,5–2-кратное увеличение глубин на перекатах (по сравнению с исходными);

2) закрепление (стабилизацию) форм русла и форм руслового рельефа (побочной, осередков), повышение отметок последних и, как следствие, их зарастание, а на реках с разветвленным руслом – прекращение периодических миграций потока по рукавам. В результате русло сужается, что приводит к его саморазмыву и увеличению глубин без дополнительного землечерпания. Это имеет не только технико-экономическое, но и экологическое значение: несудоходные рукава становятся объектами рыбного хозяйства и рекреации, снижается угроза занесения водозаборов, повышается надежность прогнозирования русловых деформаций при проектировании трубопроводов и мостовых переходов, происходит локализация и замедление размывов берегов. Побочным эффектом являются увеличение пропускной способности русел для ледохода, уменьшение вероятности возникновения затоплений льда и связанных с ними наводнений, повышение самоочищающей способности реки, особенно в меженный период, снижение вероятности зимних заморозов рыбы и улучшение водообмена между плесовыми ложбинами;

3) сокращение длины перекатов и перекатных участков и, как следствие, протяженности дноуглубительных прорезей (более чем в 3 раза) и уменьшение объемов землечерпания, то есть произошло уменьшение техногенной нагрузки на реки;

4) большую или меньшую трансформацию русла, вплоть до смены морфодинамического типа в направлении его упрощения, в частности, превращение одиночных и сопряженных разветвлений в односторонние или в прямолинейное неразветвленное русло, перекатных участков в плесовые с отдельными перекатами.

Таким образом, наряду с технико-экономическим эффектом (увеличение глубин, уменьшение объемов землечерпания и т. д.), выправительные и дноуглубительные работы привели к общей стабилизации и увеличению устойчивости русел, локализации и сокращению негативных (опасных) проявлений русловых процессов;

– в 90-е гг. XX в. дноуглубление на реках России было прекращено или сокращено до уровня 30–40-х гг. В результате на перекатах, которые при выправлении не имели естественных гидравлических предпосылок для стабилизации русла, расположенных ниже участков выправления и принявших на себя

поток наносов, проходящий через них транзитом, формирующихся ниже местных источников поступления наносов или намываемых на спаде половодья, глубины в межень вернулись в исходное состояние, восстановился прежний режим деформаций [Чалов, 2004]. Это повлекло за собой раннее закрытие навигации, ограничение судоходства или его прекращение на многих реках (Вычегда, Мезень). Вместе с тем на Оби, Северной Двине, Лене, Вычегде на участках, на которых выправление русел было успешным, его эффект сохраняется, и эти участки до сих пор не являются затруднительными для судоходства;

Благодарности. Выполнено по плану НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, при поддержке грантов РФФИ (проект № 14-17-00155) и РФФИ (проект № 15-05-03752).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Безденежных М.М.* Улучшение путевых условий на Оби // Речной транспорт. 1974. № 7. С. 31–34.
- Беликов В.В., Завадский А.С., Рулева С.Н., Чалов Р.С.* Результаты моделирования спрямления русла р. Оби в районе г. Колпашево // Речной транспорт (XXI век). 2010. № 5. С. 82–87.
- Белый Б.В., Беркович К.М., Борсук О.А., Зайцев А.А., Лодина Р.В., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Морфология, динамика и регулирование русла р. Киренги в связи с транспортным освоением зоны БАМ // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. Вып. 7. С. 119–135.
- Белый Б.В., Виноградова Н.Н., Иванов В.В., Никитина Л.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Морфология и деформации русла верхнего Енисея между Саяно-Шушенской ГЭС и Красноярским водохранилищем // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. Вып. 12. С. 158–183.
- Беркович К.М., Виноградова Н.Н., Иванов В.В., Чалов Р.С.* Переформирования русла Енисея ниже Красноярской ГЭС в условиях интенсивной техногенной нагрузки // Эрозия почв и русловые процессы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2003. Вып. 14. С. 144–161.
- Беркович К.М., Зайцев А.А., Панин А.В., Чалов Р.С.* Проблемы учета русловых процессов при организации и проведении путевых работ на равнинных реках с галечно-валунным руслом // Тр. Акад. водохоз. наук. Вып. 3. Водные пути и русловые процессы. М., 1996. С. 56–58.
- Беркович К.М., Злотина Л.В., Иванов В.В., Никитина Л.Н., Рязанов П.Н., Турыкин Л.А., Чалов Р.С., Чернов А.В.* Развитие русла среднего и нижнего Днестра в условиях интенсивной антропогенной нагрузки // Экологические проблемы эрозии почв и русловых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992. С. 141–165.
- Водные пути бассейна Лены. М.: МИКИС, 1995. 600 с.
- Маккавеев Н.И.* Русловой режим рек и трассирование прорезей. М.: Речиздат, 1949. 202 с.
- Маккавеев Н.И.* Выбор трассы при выправлении рек с малоустойчивым руслом // Речной транспорт. 1960. № 3. С. 39–42.
- Маккавеев Н.И., Беркович К.М., Чалов Р.С.* Опыт прогноза изменений рельефа русла неустойчивой реки (на примере Амударя) // Геоморфология. 1976. № 2. С. 43–49.
- Маккавеев Н.И., Советов В.С.* Трассирование землечерпательных прорезей на перекатах равнинных рек Европейской части СССР // Тр. ЦНИИРФ. Вып. 3. 1940. 60 с.
- возвращение рек в исходное состояние первой половины XX в. отрицательно сказалось в использовании водных ресурсов рек, поскольку хозяйственная инфраструктура, связанная с реками и приречными территориями, развивалась с учетом эксплуатации рек как водных путей. Произошло усиление опасных проявлений русловых процессов, уменьшение глубин на перекатах, сопровождающееся повышением уровня воды, и, как следствие этого, возросла вероятность возникновения ледовых заторов и угроза наводнений (Северная Двина, Лена, Обь, Иртыш, Енисей).
- Проектирование судовых ходов на свободных реках // Тр. ЦНИИЭВТ. М.: Транспорт, 1964. Вып. 36. 262 с.
- Ребковец А.В., Боровков С.В., Николаев В.Ф.* Инженерное регулирование русла Иртыша // Речной транспорт (XXI век). 2009. № 1. С. 37–39.
- Руководство по проектированию коренного улучшения судоходных условий на затруднительных участках свободных рек. Л.: Транспорт, 1974. 310 с.
- Рулева С.Н., Завадский А.С., Кичигин А.Н., Чалов Р.С., Чалов С.Р.* Условия формирования и морфология русла реки Сухоны // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 5. М.: МАКС пресс, 2010. С. 421–439.
- Румянцев И.С., Чалов Р.С., Кромер Р., Нестманн Ф.* Природоприближенное восстановление и эксплуатация водных объектов. М.: МГУП, 2001. 286 с.
- Русловые процессы и водные пути на реках бассейна Северной Двины. М.: ООО «Журнал “РТ”», 2012. 492 с.
- Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. 300 с.
- Садовский Г.Л.* Пособие по трассированию землечерпательных прорезей. М.: Речной транспорт, 1961. 183 с.
- Чалов Р.С.* Проблемы русловых процессов в связи с развитием и совершенствованием водных путей на свободных реках на современном этапе // Основные направления развития и совершенствования водных путей. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. С. 13–26.
- Чалов Р.С., Власов Б.Н., Лю Шугуан, Чжао Еань, Юй Вэньчоу.* Специфические формы разветвленного русла р. Янцзы и их эволюция // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 151–157.
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Рулева С.Н., Чалов С.Р.* Морфология, переформирования русла и перекатов р. Мезени (нижнее течение) // Географический вестник. 2010. № 3(14). С. 82–87.
- Dingethal F.J., Jürging P., Kaule G., Wintzierl W.* Kitsgrube und Landschaft. Handbuch über den Abbau von Sand und Kies, über Gestaltung, Rekultivierung und Renaturierung. Hamburg-Berlin: Vtrlag Paul Parey. 1985. 250 p.
- Gebler R.* Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischauflstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer // Institut für Wasserbau und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe. Heft 181. 1995. P. 25–57.

Поступила в редакцию 22.09.2016
Принята к публикации 09.02.2017

R.S. Chalov¹CONTROL OF FLUVIAL PROCESSES AS A BASIS
FOR WATERWAY IMPROVEMENT

General principles and techniques of controlling the fluvial processes on navigable rivers are discussed, which aim at maintaining the safe depths of waterways with respect for hydroecological safety requirements and the need of preserving rivers as natural objects. They are based on the regularities of river channel regime and long-term and seasonal deformations of natural bars, as well as on the consideration of the evolution stages of channel forms and forms of channel relief. Technical-economic and environmental efficiency of designing methods supported by the natural trends of channel re-formation and their prognostic evaluation is demonstrated.

Key words: channel forms, channel relief, natural bars, point bars, braid bars, river braids, meandering rivers, channel dredging, channel stabilization, navigable rivers, safe depths, waterway, stability, regulation, deformations.

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation (project № 14-17-00155) and the Russian Foundation for Basic Research (project № 15-05-03752).

REFERENCES

- Bezdenzhnykh M.M.* Uluchshenie putevykh uslovij na Obi [Improvement of waterway conditions on the Ob' River] // *Rechnoj transport*. 1974. № 7. P. 31–34 (in Russian).
- Belikov V.V., Zavadskij A.S., Ruleva S.N., Chalov R.S.* Rezul'taty modelirovaniya spryamleniya rusla r. Obi v rajone g. Kolpashevo [The results of modeling the Ob' River bed straightening near the town of Kolpashevo] // *Rechnoj transport (XXI vek)*. 2010. № 5. P. 82–87 (in Russian).
- Belyj B.V., Berkovich K.M., Borsuk O.A., Zajcev A.A., Lodina R.V., Chalov R.S., Chernov A.V.* Morfologiya, dinamika i regulirovanie rusla r. Kirengi v svyazi s transportnym osvoeniem zony BAM [Morphology, dynamics and regulation of the Kirenga River bed due to transport development of the BAM (Baikal–Amur Mainline) area] // *Erozija pochv i ruslovyje processy*. M.: MGU, 1979. V. 7. P. 119–135 (in Russian).
- Belyj B.V., Vinogradova N.N., Ivanov V.V., Nikitina L.N., Chalov R.S., Chernov A.V.* Morfologiya i deformacii rusla verhnego Eniseya mezhdru Sayano-Shushenskoj GES i Krasnojarskim vodohranilishchem [Morphology and deformation of the upper Yenisei River bed between the Sayano–Shushenskaya HPP and the Krasnojarsk Reservoir] // *Erozija pochv i ruslovyje processy*. M.: MGU, 2000. V. 12. P. 158–183 (in Russian).
- Berkovich K.M., Vinogradova N.N., Ivanov V.V., Chalov R.S.* Pereformirovaniya rusla Eniseya nizhe Krasnojarskoj GES v uslovijah intensivnoj tehnogennoj nagruzki [Reshaping the Yenisei River bed downstream Krasnojarsk hydroelectric power station under the intense anthropogenic impact] // *Erozija pochv i ruslovyje processy*. M.: MGU, 2003. V. 14. P. 144–161 (in Russian).
- Berkovich K.M., Zajcev A.A., Panin A.V., Chalov R.S.* Problemy ucheta ruslovykh processov pri organizacii i provedenii putevykh rabot na ravninnykh rekah s galechno-valunnym ruslom [The problems of fluvial processes accounting for the organization and implementation of waterway works on the plain rivers with gravel and boulder riverbed] // *Tr. Akad. vodohoz. Nauk*. 1996. V. 3. *Vodnye puti i ruslovyje processy*. P. 56–58 (in Russian).
- Berkovich K.M., Zlotina L.V., Ivanov V.V., Nikitina L.N., Ryazanov P.N., Turykin L.A., Chalov R.S., Chernov A.V.* Razvitie rusla srednego i nizhnego Dnestra v uslovijah intensivnoj antropogennoj nagruzki [The development of the Middle and Lower Dniester River bed under the intense anthropogenic load] // *Ekologicheskie problemy erozii pochv i ruslovykh processov*. M.: MGU, 1992. P. 141–165 (in Russian).
- Chalov R.S.* Problemy ruslovykh processov v svyazi s razvitiem i sovershenstvovaniem vodnykh putej na svobodnykh rekah na sovremennom etape [The issues of fluvial processes in relation to the actual development and improvement of waterways on free rivers] // *Osnovnye napravleniya razvitiya i sovershenstvovaniya vodnykh putej*. M.: MGU, 2004. P. 13–26 (in Russian).
- Chalov R.S., Vlasov B.N., Lju Shuguan, Chzhao Ean', Juj Vjen'chou.* Specificheskie formy razvetylenogo rusla r. Yanczy i ih evoljucii [The specific forms of the braided Yangtze River bed and their evolution] // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2006. № 2. P. 151–157 (in Russian).
- Chalov R.S., Zavadskij A.S., Ruleva S.N., Chalov S.R.* Morfologiya i pereformirovanie rusla i perekatov r. Mezeni (nizhnee techenie) [The morphology and reshaping of the Mezen' River bed and riffles in its lower reaches] // *Geograficheskij vestnik*. 2010. № 3(14). P. 82–87 (in Russian).
- Dingethal F.J., Jürging P., Kaule G., Wtinzlerl W.* Kitsgrube und Landschaft. Handbuch über den Abbau vjn Sand und Kies, über Gestaltung, Rekultivierung und Renaturierung, Vtrlag Paul Parey, Hamburg-Berlin, 1985, 250 p.
- Gebler R.* Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer // *Institut für Wasserbau und Kulturtechnik dtr Universität Karlsruhe*. 1995. Heft 181. P. 25–57.
- Makkaveev N.I.* Ruslovoj rezhim rek i trassirovanie prorezej [River channel regimes and cuts tracing]. Moscow: Rechizdat, 1949. 202 p. (in Russian).
- Makkaveev N.I.* Vybor trassy pri vypravlennii rek s maloustojchivym ruslom [Choice of waterway for straightening rivers with unstable beds] // *Rechnoj transport*. 1960. № 3. P. 39–42 (in Russian).
- Makkaveev N.I., Berkovich K.M., Chalov R.S.* Opyt prognoza izmenenij rel'efa rusla neustojchivoy reki (na primere Amudar'i) [Experience of forecasting the changes of the channel relief for unstable rivers (case study of the Amu Darya River)] // *Geomorfologiya*. 1976. № 2. P. 43–49 (in Russian).

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.; e-mail: rschalov@mail.ru

Makkaveev N.I., Sovetov V.S. Trassirovanie zemlecherpatel'nyh prorozej na perekatah ravninnyh rek Evropejskoj chasti SSSR [Tracing of the dredging cuts in the riffles of plain rivers of the European part of the USSR] // Tr. CNIIRF. 1940. V. 3. 60 p. (in Russian).

Proektirovanie sudovyh hodov na svobodnyh rekah [Designing navigable passes on free rivers] // Tr. CNIIEVT. M., 1964. V. 36. Transport. 262 p. (in Russian).

Rebkovec A.V., Borovkov S.V., Nikolaev V.F. Inzhenernoe regulirovanie rusla Irtysha [Engineering regulation of the Irtysh River bed] // Rečnoj transport (XXI vek). 2009. № 1. P. 37–39 (in Russian).

Rukovodstvo po proektirovaniju koren'nogo uluchshenija sudohodnyh uslovij na zatrudnitel'nyh uchastkah svobodnyh rek [Design guidelines for the radical improvement of navigability of the intricate reaches of free rivers] // Transport. Leningrad, 1974. 310 p. (in Russian).

Ruleva S.N., Zavadskij A.S., Kichigin A.N., Chalov R.S., Chalov S.R. Usloviya formirovaniya i morfologiya rusla reki Suhony [Morphology and formation conditions of the Sukhona River bed] //

Eroziionnye i ruslovyje processy. M.: MAKSS press, 2010. V. 5. P. 421–439 (in Russian).

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

Ruslovyje processy i vodnye puti na rekah bassejna Severnoj Dviny [Fluvial processes and waterways on the rivers of the Northern Dvina River Basin]. OOO «Zhurnal “RT”». M., 2012. 492 p. (in Russian).

Ruslovyje processy i vodnye puti na rekah Obskogo bassejna [Fluvial processes and waterways on the rivers of the Ob' River Basin]. RIPJeL plus. Novosibirsk, 2001. 300 p. (in Russian).

Sadovskij G.L. Posobie po trassirovaniyu zemlecherpatel'nyh prorozej [Manual for tracing of dredging cuts] // Rečnoj transport. 1961. 183 p. (in Russian).

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

Received 22.09.2016

Accepted 09.02.2017

УДК 551.4.012; 551.435.1

М.М. Иванов¹, В.Н. Голосов^{2,3}, В.Р. Беляев⁴

АНАЛИЗ СТРОЕНИЯ РЕЛЬЕФА ДЛЯ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТА ДОСТАВКИ НАНОСОВ БАСЕЙНА РЕКИ ПЛАВЫ (ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Основным механизмом перераспределения твердого вещества в речных бассейнах является деятельность эрозионно-аккумулятивных процессов. Строение рельефа – основной фактор пространственной дифференциации данного процесса. Анализ строения речного бассейна, классификация его элементов и сбор полевых данных по выделенным классам элементов позволяют производить оценку роли рельефа во внутрибассейновом перераспределении наносов. При этом наиболее подходящим количественным показателем, характеризующим речной бассейн как систему по перераспределению твердого вещества, является так называемый коэффициент доставки наносов (КДН). Была произведена оценка КДН для отдельных элементов водосбора р. Плавы и всего бассейна в целом. Учитывая, что исследуемый объект находится в зоне интенсивного радиоактивного загрязнения, полученные данные являются полезными с точки зрения оценки радиоэкологической угрозы и потенциальных рисков заражения речного стока.

Ключевые слова: эрозионно-аккумулятивные процессы, баланс наносов, коэффициент доставки, бассейны малых рек, радиоактивное загрязнение, Среднерусская возвышенность.

Введение. Речной бассейн представляет собой сложную геоморфологическую систему, основу структуры которой составляют эрозионно-аккумулятивные процессы [Маккавеев, 1955; Симонов, Симонова, 2004]. Наиболее часто используемым подходом для количественной оценки деятельности данных процессов в пределах речного бассейна или какой-либо его части является оценка баланса вещества (наносов), рассчитываемого по разности между мобилизованными различными геоморфологическими процессами (в общем случае, не только эрозионно-аккумулятивными) и вынесенными за его пределы объемами наносов [Голосов, 2006]. Речной бассейн в целом обладает отрицательным балансом, поскольку при отсутствии привноса вещества извне постоянно происходит вынос определенного количества рыхлого материала главной рекой через устьевой створ. Однако в связи с пространственной неравномерностью процесса перераспределения наносов внутри речного бассейна баланс наносов для отдельных звеньев бассейна имеет не только разную величину, но и может менять свой знак [Robinson, 1977; Roehl, 1962]. Значительная доля рыхлого материала, вовлекаемого в перенос флювиальными процессами, переоткладывается внутри бассейна. Соответственно для каждого элемента пространственной структуры речного бассейна может быть оценено соотношение объемов мобилизованных (вовлеченных в перенос) на заданном участке и вынесенных за его пределы наносов. Данное соотношение получило название *коэффициента доставки наносов* (КДН) [Дедков, Мозжерин, 1984] или,

в англоязычной литературе, *sediment delivery ratio* (SDR) [Walling, 1983]. Фактически КДН является показателем эффективности бассейна (или его части) как системы, в отношении транспорта мобилизованных наносов [Hinderer, 2012].

Знание значения КДН для конкретного водосбора позволяет оценить не только количество вещества, транспортируемого в пределах бассейна при наблюдаемых темпах денудации на его территории, но и объемы миграции переносимых с наносами химических компонентов, включая загрязняющие вещества [Ларионов, 2002; Wang et al., 2010]. В данной работе подробно рассмотрено перераспределение наносов на участках от склонов междуречий до долин постоянных водотоков, то есть процесс формирования бассейновой составляющей стока наносов.

В качестве объекта исследований был выбран бассейн р. Плавы, расположенный в южной части Тульской области. Данный бассейн представляет собой большой интерес не только с геоморфологической (он достаточно типичен по характеру рельефа для северной части Среднерусской возвышенности), но и с радиоэкологической точки зрения, так как он расположен в зоне с максимальными уровнями Чернобыльского радиоактивного загрязнения [Атлас радиоактивного загрязнения ..., 1998].

Постановка проблемы. Величина КДН речных бассейнов территории преобладания сельскохозяйственного землепользования определяется целым набором характеристик, включая морфометрию склонов междуречий, рисунок и состояние русел

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, млад. науч. сотр.; e-mail: ivanovm@bk.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, вед. науч. сотр., докт. геогр. н.; e-mail: golossov@gmail.com

³ Казанский федеральный университет, Институт экологии и природопользования, вед. науч. сотр., докт. геогр. н.

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева, канд. геогр. н., ст. науч. сотр.; e-mail: vladimir.r.belyaev@gmail.com

современной гидрографической сети, особенности расположения участков пашни и других сельскохозяйственных угодий относительно различных элементов флювиальной сети, существующую систему землепользования, характеристики почвенного покрова [Walling, 1983], наличие и особенности размещения антропогенных рубежей стока линейной или площадной локализации [Голосов, 2006] и др. Однако ключевую роль для определения КДН среди перечисленных выше параметров играет геоморфологическое строение территории, так как оно предопределяет энергию стока воды и пути транспортировки вещества. Для количественной оценки влияния геоморфологического строения (для существующего типа землепользования) на КДН в речном бассейне необходимо последовательно решить следующие задачи:

1. Если пространственная дифференциация процесса перераспределения наносов обусловлена главным образом геоморфологическим строением территории (при всех прочих равных условиях), то справедливо положение, что морфологически сходные элементы рельефа или их сочетания воздействуют на данный процесс сходным образом [Кружалин с соавт., 1981; Скрипко, 2012]. Выделение групп сходных по морфологии звеньев речного бассейна позволяет рассматривать на примере отдельных ключевых водосборов.

2. Полевые исследования ключевых объектов позволяют получить фактические количественные данные об объемах перераспределения наносов в каждом из них, достоверность которых определяется использованием независимых методов, которые могут быть откалиброваны и взаимно верифицированы.

3. Третьей задачей является непосредственный расчет КДН. Ее решение на количественной основе возможно только при наличии данных, полученных на предыдущих этапах.

Материалы и методы исследований. Общая характеристика бассейна р. Плавы. Река Плава располагается в южной части Тульской области и принадлежит к бассейну Оки, являясь левым притоком одного из ее основных правых притоков на субмеридиональном участке – р. Упы. Бассейн реки Плав находится в пределах наиболее приподнятой части Среднерусской возвышенности (так называемое Плавское плато с максимальными абсолютными высотами более 290 м), представляющей собой водораздел между бассейнами Оки (Зуша, Плава, Упа) и Дона (Красивая Меча). Наивысшей точкой всей возвышенности можно считать вершину водораздела рек Зуши и Плав с абсолютной отметкой 293,2 м (в Тепло-Огаревском районе). Для всего юга Тульской области характерен пологоволнистый возвышенный равнинный рельефа с сильным эрозионным расчленением. Глубина эрозионного вреза составляет 70–80 м. Среднегодовое количество осадков в регионе составляет порядка 600 мм/год (по данным Росгидрометцентра по г. Тула за 1961–1990 гг.).

Исследуемый объект расположен в лесостепной зоне, где в плакорных условиях основными типами почв являются серые лесные почвы, выщелоченные и оподзоленные черноземы. Интенсивное сельскохозяйственное освоение территории привело к тому, что практически все естественные ландшафты были заменены агроландшафтами. Активная распашка склонов междуречий и приводораздельных поверхностей приводит к уничтожению естественного растительного покрова и интенсификации процесса смыва почвенных частиц дождевыми и талыми водами.

Типизация элементов структуры бассейна р. Плав. Выделение отдельных морфологически однородных составляющих речного бассейна позволяет характеризовать всю группу по ее типичному отдельному представителю. Подобный подход обладает существенным недостатком в виде отсутствия учета вариабельности проявления процесса перераспределения наносов в пределах выделяемых групп, но позволяет проводить экстраполяцию эмпирических данных на территории, по площади превышающей контрольные участки.

Ввиду того, что речной бассейн является многоуровневой системой, принцип иерархичности должен быть заложен в основу создаваемой классификации. Разделение на уровни требует четкого формального показателя, в качестве которого нами используется дихотомическая система кодирования порядков Стралера–Философова [Horton, 1945; Филосовов, 1960], предложенная первоначально для определения порядка водотоков. Данная схема может быть также применена для классификации тальвегов и склонов всей флювиальной сети в целом (вне зависимости от наличия или отсутствия постоянного водотока) [Бондарев с соавт., 2014]. В конкретном случае реализация данной схемы производилась при помощи пакета программ MapInfo 10.2.5.

На первом этапе разделение бассейна на уровни производилось путем выделения водосборов различного порядка на основе использования государственной топографической карты масштаба 1:100 000. Поскольку наш анализ ограничивается оценкой бассейновой составляющей стока наносов, то есть доставкой материала до русел рек и ручьев, для дальнейшего анализа в качестве элементарных клас-

Таблица 1

Соотношение водосборов различного порядка с речной сетью бассейна р. Плав

Порядок водосбора	Соответствующий постоянный водоток
7	Плава (ниже слияния с Холохольней)
6	Плава, Холохольня
5	Малынь, Локна, Сорочка
4	Железица, Казарка
3	Калиновка
2	–
1	–

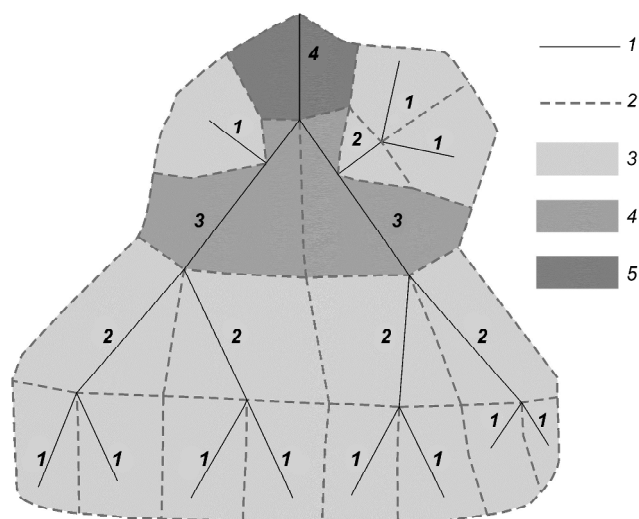


Рис. 1. Принципиальная схема выделения водосборов верхних звеньев флювиальной сети и элементарных склонов (объяснение в тексте). Условные обозначения: 1 – тальвеги; 2 – водоразделы; 3 – водосборы верхних звеньев флювиальной сети первого и второго порядков; 4 – элементарные склоны третьего порядка; 5 – элементарные склоны четвертого порядка

Fig. 1. Principal scheme of morphometric classification of headwater catchments and elementary slopes (details in the text). 1 – thalweg lines; 2 – watershed lines; 3 – headwater catchments (first and second Hortonian order); 4 – third-order elementary slopes; 5 – fourth-order elementary slopes

сификационных единиц использовались водосборы временных водотоков. Водосборы малых рек и ручьев рассматривались как совокупность водосборов временных водотоков более низкого порядка и элементарных склонов. В силу этого из данной классификации отбрасываются все водосборы выше четвертого порядка, а также часть водосборов более низких порядков, имеющих постоянные водотоки: Железица, Казарка, Калиновка и т. д.

На втором этапе производилось выделение групп по морфологическому признаку – степени выраженности дна долины, играющего важную роль в транспорте и переотложении наносов. Сразу же следует выделить водосборы третьего и четвертого порядков, для которых в масштабе карты 1:100 000 удастся достоверно определить наличие морфологически обособленного дна. Ввиду того, что группу водосборов третьего порядка составляет достаточно большое количество объектов, для выбора наиболее репрезентативных представителей было произведено деление на группы, исходя из размеров водосбора. В качестве дополнительного количественного показателя, характеризующего размер, использовалась суммарная длина тальвегов более низких порядков в пределах конкретного водосбора. Выбор данного показателя был обусловлен тем, что его значение в конечном итоге определяется двумя фак-

торами: площадью водосбора и густотой эрозионного расчленения. Конкретные границы выделяемых интервалов определялись на основе анализа кривой распределения указанных показателей. Были выделены 3 группы водосборов: малые, средние и большие.

Большую проблему составляет типизация водосборов 1 и 2 порядков (рис. 1). Мелкий масштаб карты не позволяет жестко соотнести порядок тальвега с фактом наличия морфологически обособленного дна. Поэтому было принято решение отнести эти водосборы к единой категории – верхних звеньев флювиальной сети. Дальнейшая их типизация проводилась на основе формы продольного профиля главного тальвега, которая во многом определяет преобладание эрозии, транзита или переотложения наносов в днах. Были выделены две группы водосборов: с вогнутым и выпуклым продольными профилями главных тальвегов.

На завершающем этапе, в зависимости от плановых очертаний, все элементарные склоны, опирающиеся непосредственно на борта эрозионных долин и не входящие в состав водосборов первого и второго порядков (верхние звенья флювиальной сети), были подразделены на 3 группы: прямые в плане, концентрирующие сток (вогнутые в плане), рассеивающие сток (выпуклые в плане).

Полевые наблюдения. Выполненная типизация элементов структуры бассейна р. Плавы позволяет отнести отдельные детально исследованные клю-

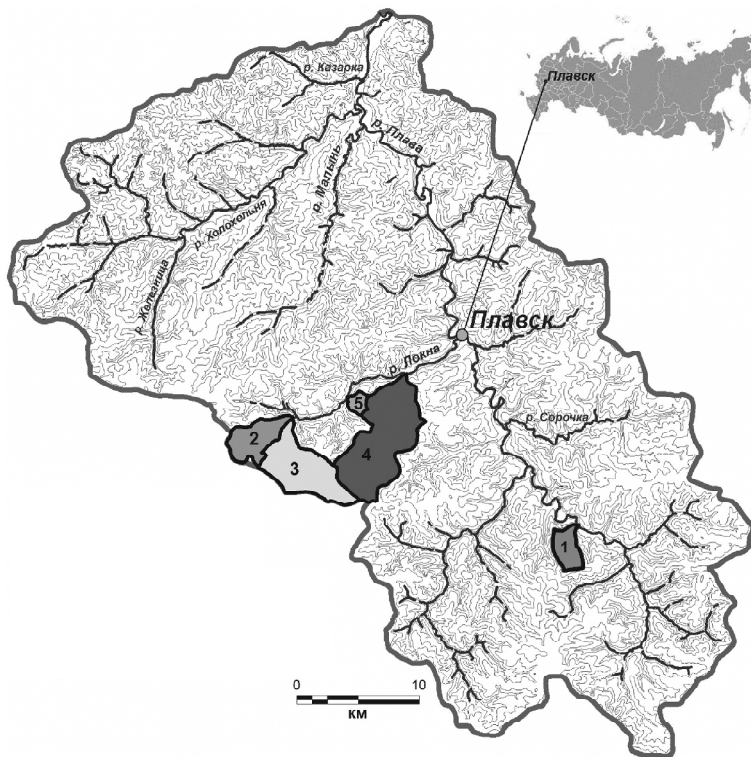


Рис. 2. Схема расположения ключевых детально изученных водосборов в бассейне р. Плавы. Условные обозначения: 1 – Ляпуновка; 2 – Верхняя Локна западная; 3 – Верхняя Локна восточная; 4 – Часовенков Верх; 5 – Лапки

Fig. 2. Scheme of key catchments of the Plava River basin for which the detailed field studies have been carried out. 1 – Lyapunovka; 2 – Upper Lokna western; 3 – Upper Lokna eastern; 4 – Chasovenkov Verh; 5 – Lapki

чевые объекты к определенному из выделенных типов. Полевые исследования проводились на пяти малых водосборах (рис. 2). Набор методов, используемый для каждого конкретного объекта, может быть различен, но их выбор определяется соотношением задачи оценки баланса наносов на конкретном участке. Для получения достоверных и взаимно верифицируемых результатов используются независимые способы оценки объемов эрозируемого и аккумулярованного материала. В условиях интенсивного чернобыльского загрязнения наиболее продуктивным является использование искусственного радиоизотопа ^{137}Cs в качестве радиоактивной метки. Его вертикальное распределение в толще наносов позволяет определять объем аккумуляции за период с момента выпадения на дневную поверхность [Голосов, 2000; Panin et al., 2001], а латеральное распределение в пределах склонов дает возможность применения калибровочных моделей эрозии, увязывающих относительные изменения запасов радионуклидов и темпы перераспределения материала [Quine, 1989; Walling, He, 1999]. Также для оценки интенсивности процессов перераспределения наносов может быть использован ряд математических моделей эрозии и результаты прямых полевых наблюдений [Бобровицкая, 1977; Wishmeier, Smith, 1978; Ларионов, 1993; Belyaev et al., 2008].

Методика оценки КДН. Полученные в результате полевых исследований количественные оценки различных составляющих баланса наносов были использованы для расчета КДН для разных классов частей флювиальной сети. Показатель КДН может быть разложен на ряд элементарных составляющих в зависимости от сложности структуры водосборного бассейна, для которого он вычисляется [Vigiak et al., 2012].

Базовая формула для оценки общего КДН для заданного неделимого в рамках морфологической классификации участка водосбора (расчетный полигона) выглядит следующим образом:

$$SDR_{int} = SDR_s \times SDR_n \times SDR_{n+x} \times \dots \times SDR_{n+N}, \quad (1)$$

где SDR_{int} – общий КДН для элементарного полигона; SDR_s – КДН типа элементарного склона или верхнего звена флювиальной сети, к которому принадлежит участок; SDR_n – КДН долины соответствующего порядка, к которой прилегает рассматриваемый участок; $SDR_{n+x} \times \dots \times SDR_{n+N}$ – произведение КДН долин, по которым происходит движение наносов вплоть до впадения в реку (SDR_{n+N} – КДН долины с максимальным порядком без постоянного водотока).

Ниже приведены общие формулы (2–10), которые используются для отдельных сомножителей в уравнении 1.

Оценка КДН элементарных склонов и верхних звеньев флювиальной сети. Член уравнения SDR_s может быть выражен в виде одного из ниже представленных уравнений (2–6), в зависимости от принадлежности полигона к тому или иному типу склона или верхнего звена флювиальной сети:

$$SDR_{s1c} = W_{s1c} / (X_{s1c} \times S_{s1c}), \quad (2)$$

$$SDR_{s1d} = W_{s1d} / (X_{s1d} \times S_{s1d}), \quad (3)$$

$$SDR_{s1s} = W_{s1s} / (X_{s1s} \times S_{s1s}), \quad (4)$$

$$SDR_{s1w}^{concave} = W_{s1w}^{concave} / (X_{s1w}^{concave} \times S_{s1w}^{concave}), \quad (5)$$

$$SDR_{s1w}^{convex} = W_{s1w}^{convex} / (X_{s1w}^{convex} \times S_{s1w}^{convex}), \quad (6)$$

где показатели для соответствующих типов склонов и верхних звеньев сети: X – средний темп смыва, т/га/год; S – площадь склона(ов), га; SDR – коэффициент доставки наносов соответствующего типа склона или верхнего звена флювиальной сети.

Оценка КДН долин первого порядка:

$$SDR_1 = W_1 / W_{s1}, \quad (7)$$

где W_1 – объем наносов, выносимых за пределы долин 1 порядка, т; W_{s1} – объем наносов, выносимых за пределы склонов и верхних звеньев флювиальной сети, примыкающих к долинам первого порядка, т; SDR_1 – коэффициент доставки наносов для долин первого порядка.

$$W_{s1} = W_{s1c} + W_{s1d} + W_{s1s} + W_{s1w}, \quad (8)$$

$$W_{s1w} = W_{s1w}^{concave} + W_{s1w}^{convex}, \quad (9)$$

где W_{s1c} – смыв с концентрирующих склонов, т; W_{s1d} – смыв с рассеивающих склонов, т; W_{s1s} – смыв со склонов с прямым плановым очертанием, т; W_{s1w} – вынос за пределы верхних звеньев флювиальной сети, т; $W_{s1w}^{concave}$ – объем наносов, выносимых за пределы верхних звеньев флювиальной сети с вогнутым продольным профилем, т; W_{s1w}^{convex} – объем наносов, выносимых за пределы верхних звеньев флювиальной сети с выпуклым продольным профилем, т.

Объем выноса для водосборов второго порядка:

$$SDR_2 = W_2 / (W_{s2} + W_{1-2}), \quad (10)$$

где W_2 – объем наносов, выносимых за пределы долин второго порядка, т; W_{s2} – объем наносов, выносимых за пределы склонов, примыкающих к долинам второго порядка, т; W_{1-2} – объем наносов, выносимых за пределы долин первого порядка, примыкающих к долинам второго порядка, т; SDR_2 – коэффициент доставки наносов для долин второго порядка (без долин первого порядка).

Результаты. Анализ структуры флювиальной сети бассейна р. Плавы. Хортон-анализ позволил выделить 153 водосбора третьего порядка и 38 водосборов четвертого порядка. Водосборы третьего порядка были разделены согласно приведенной выше типизации по соотношению площади и суммарной длины тальвегов более низких порядков (рис. 3). Морфометрический анализ топографической карты позволил выделить около 4000 полигонов, соответствующих элементарным склонам и водосборам верхних звеньев флювиальной сети, и соотнести их с описанными выше типами (рис. 4).

К выделенным полигонам привязана таблица атрибутивных данных, в которой зафиксированы показатели площади полигонов. На основе данной таблицы получена статистика распределения выде-

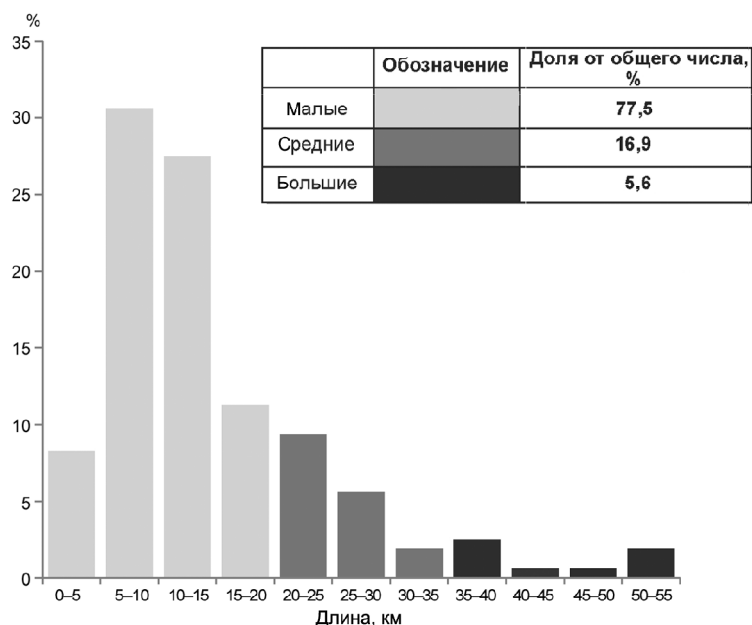


Рис. 3. Распределение суммарной длины тальвегов первого-второго порядков внутри водосборов третьего порядка и их подразделение на группы по типам

Fig. 3. Distribution curve of the total length of first and second-order thalwegs within the third-order basin and their classification into types

ленных полигонов по обозначенным классам. Также подсчитаны площади и доли данных групп от общей площади бассейна р. Плавы (табл. 2). Необходимо отметить, что площади полигонов в данном случае включают разные элементы рельефа, поскольку в качестве их границ принимались только линии тальвегов и водоразделов, но не бровки и тыловые швы. Это связано с генерализацией отображения рельефа на топографических картах масштаба 1:100 000, а также с ограничением трудоемкости и времязатратности работ. Таким образом, например, в состав каждого из полигонов, которые мы относим к «элементарным» склонам, на самом деле входят, помимо нерасчлененных тальвегами участков склонов междуречий, фрагменты прилегающего участка бровки и борта долины, на которую данный склон опирается. А участок дна долины «аппроксимируется» линейным объектом – тальвегом.

Результаты полевых исследований.

Анализ распределения современных запасов ^{137}Cs в пределах водосбора р. Лапки [Panin et al., 2001] дал возможность соотнести интенсивность перераспределения рыхлого материала с выделенными морфологическими типами склонов и водосборов (табл. 3). Полученные результаты наглядно демонстрируют, что активное переотложение наносов начинается уже в пределах склонов и зачастую составляет более половины смываемого материала. Высокая вариабельность показателя КДН приводит к контрастной про-

странственной дифференциации областей преобладания сноса и аккумуляции. Оценка объемов перераспределения наносов на рассмотренных пяти ключевых водосборах позволила получить следующее распределение КДН в выделенных типах водосборов (табл. 4): с возрастанием порядка водосбора существенно уменьшается КДН, что свидетельствует о резком сокращении доли смытых со склонов наносов, доставляемых временными потоками в днища долин постоянных водотоков. Данный вывод хорошо согласуется с ранее проведенными исследованиями баланса наносов малых водосборов сельскохозяйственно освоенных равнин в умеренном гумидном климате, которые показали существование четкой обратной зависимости между площадью водосбора и величиной КДН [Голосов, 2006].

Результаты расчета КДН. Полученные значения общего КДН были использованы в качестве количественных атрибутивных данных к карте полигонов (рис. 4) для создания карты распределения общего КДН для всего бассейна р. Плавы (рис. 5). Из представленной схемы видно,

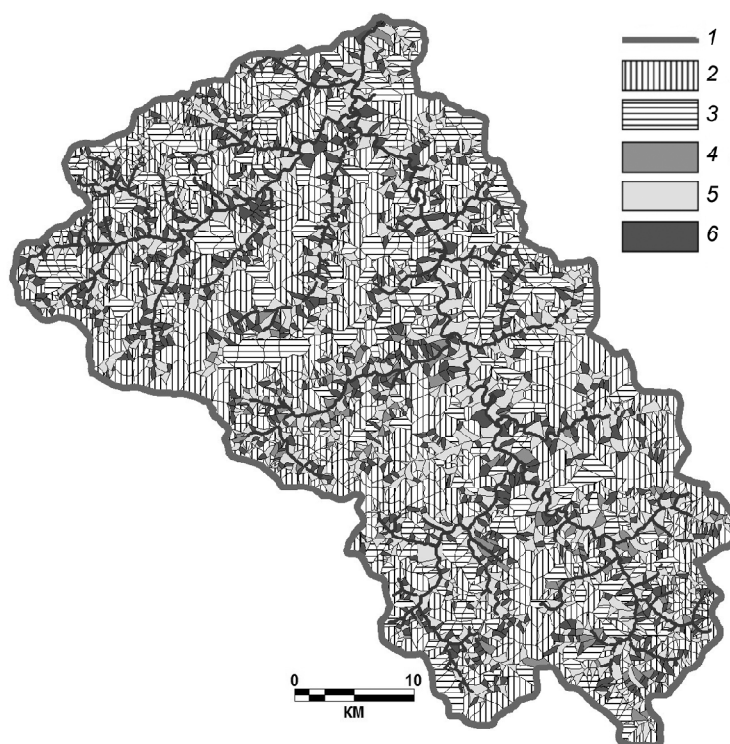


Рис. 4. Схема распределения различных типов водосборов верхних звеньев флювиальной сети и элементарных склонов в бассейне р. Плавы. Условные обозначения: 1 – постоянные водотоки; водосборы верхних звеньев флювиальной сети: 2 – с выпуклым и 3 – с вогнутым продольным профилем тальвега; элементарные склоны: 4 – прямые, 5 – рассеивающие и 6 – концентрирующие по форме в плане

Fig. 4. Scheme of different types of headwater catchments and elementary slopes within the Plava River basin. 1 – perennial streams; headwater catchments with: 2 – convex and 3 – concave thalweg log profile; elementary slopes with: 4 – straight, 5 – dissipative and 6 – concentrative plan form

что основной зоной, питающей днища долин малых рек бассейна Плавы, являются водосборы, непосредственно примыкающие к долинной сети. Этот результат также хорошо согласуется с результатами ранее проведенных полевых исследований [Безухов с соавт., 2014]. Наличие сухих долин относительно высоких порядков приводит к четкому выделению зон с общим низким КДН. Однако из-за того, что на их долю приходится значительные площади, вклад объема наносов, поступающего в днища долин малых рек с этой части бассейна, достаточно велик.

Следует отметить, что данная карта (рис. 5) не учитывает фактическое современное землепользование и его изменения во времени, за исключением того, что при расчете КДН учитывалось, что днища долин всех порядков задернованы и поэтому являются зонами преимущественной аккумуляции. Влияние других факторов, а именно степени смытости и противозрозийной устойчивости почв, гидрометеорологических

Таблица 2

Статистика распределения доли случаев и площади типов водосборов верхних звеньев флювиальной сети и элементарных склонов в бассейне р. Плавы (общая площадь бассейна 1853,5 км²)

Водосбор	Число полигонов, шт	Доля от общего количества, %	Общая площадь, км ²	Доля от общей площади, %
Типы водосборов верхних звеньев флювиальной сети				
С выпуклым продольным профилем	902	23,4	758,62	40,9
С вогнутым продольным профилем	282	7,3	321,52	17,3
Типы элементарных склонов				
Прямые	145	3,8	51,44	2,8
Рассеивающие	1743	45,4	500,5	27
Концентрирующие	776	20,1	221,42	12

$$SDR_{basin} = \frac{\sum_N SDR_{intn} S_n}{S_{общ}}, \quad (11)$$

где SDR_{basin} – КДН бассейна Плавы; SDR_{intn} – общий КДН для конкретного полигона; S_n – площадь отдельного полигона; $S_{общ}$ – площадь бассейна.

Согласно результатам расчетов по формуле (11), около 29% потенциально смываемых со склонов бассейна Плавы наносов доставляется временным стоком в днища долин постоянных водотоков. Данный результат в последующем может быть уточнен с определением точных границ областей сноса. Следует отметить, что данный показатель лишь на 10% превышает существующую оценку КДН для фактического землепользования [Belyaev et al., 2012], согласно которой в днища долин Плавы и ее притоков выносятся не более 19,7% смываемых с распаханых водосборных склонов наносов.

Перспективы дальнейших исследований. Существует ряд проблем, связанных с проведенной оценкой, которые требуют рассмотрения в будущем. В целом их можно разделить на две группы. Первую составляют проблемы, связанные с точностью и на-

Таблица 3

Оценочные величины КДН выделенных типов водосборов верхних звеньев флювиальной сети и элементарных склонов [Panin et al., 2001]

Типы	КДН
Водосборы верхних звеньев флювиальной сети	
С выпуклым продольным профилем	0,9
С вогнутым продольным профилем	0,5
Элементарные склоны	
Прямые	0,4
Рассеивающие	0,2
Концентрирующие	0,8

условий формирования талого и ливневого стока, проведения противозрозийных и водоохраных мероприятий (создания лесополос, малых водохранилищ и т. п.) не учтено. Также необходимо отметить, что в настоящий момент склоновый смыв является доминирующей бассейновой составляющей стока наносов в бассейне р. Плавы, поскольку другие процессы денудации (овражная эрозия, осыпи, оползни и т. д.) распространены крайне ограничено и даже на участках, где они присутствуют, благодаря их развитию происходит в основном местное перемещение материала, которое пренебрежимо мало с точки зрения рассмотрения общего баланса наносов в масштабах всего бассейна.

Если принять в качестве допущения, что весь бассейн в целом является зоной преобладания сноса, то возможно применение следующей формулы:

Таблица 4

Оценочные величины КДН ключевых водосборов третьего и четвертого порядков

Водосборы	КДН
Третьего порядка	
Малые (балка Ляпуновка) [Belyaev et al., 2012]	0,61
Средние (Западный сегмент водосбора Верхняя Локна) [Belyaev, 2012; Belyaev et al., 2013]	0,58
Крупные (Восточный сегмент водосбора Верхняя Локна) [Belyaev, 2012; Belyaev et al., 2013]	0,7
Четвертого порядка	
Часовенков Верх [Golosov et al., 2002]	0,11

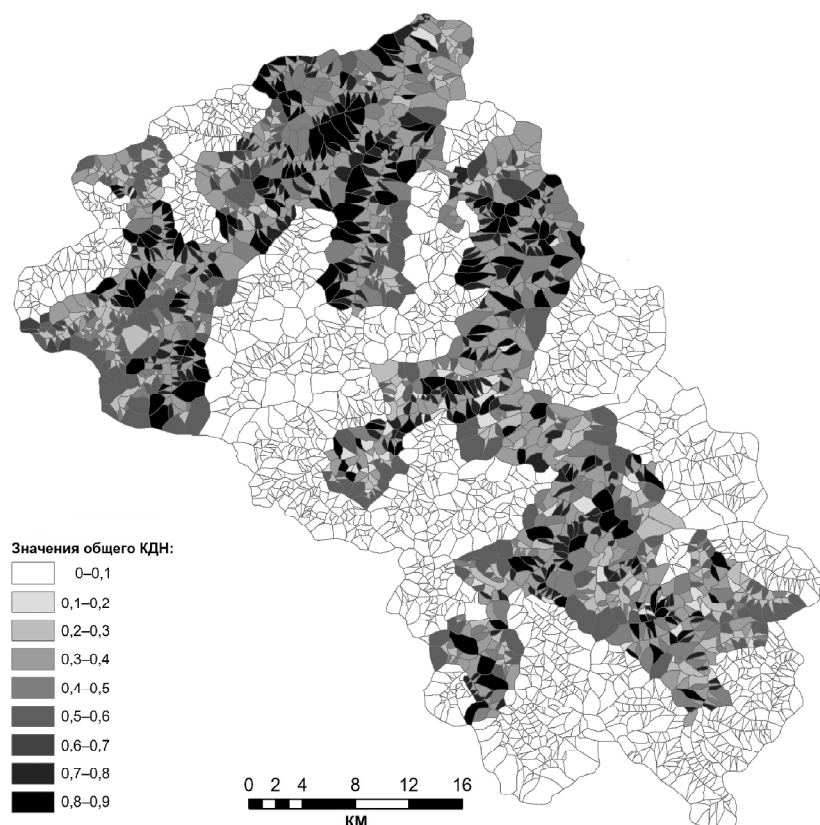


Рис. 5. Распределение величины КДН по выделенным элементам структуры бассейна р. Плавы согласно проведенным расчетам

Fig. 5. Scheme of calculated SDR values distribution for different types of headwater catchments and elementary slopes within the Plava River basin

дежностью получаемых по описанной методике результатов. Потребность перехода от изучения отдельных водосборов к классам приводит к тому, что уменьшается значимость индивидуального развития каждого из водосборов. При неадекватном выделении классов полученные результаты могут оказаться ошибочными. Также в подобной схеме фактически невозможно рассмотрение роли единичных крупных геоморфологических событий, которые кардинальным образом могут воздействовать на процесс перераспределения наносов. Вместе с тем, приведенные оценки включают в себя всю совокупность ошибок и неточностей использованных независимых методов.

Вторая группа проблем связана непосредственно с реализацией подобного рода исследований. Ввиду высокой трудоемкости проведенных операций по дешифрированию, анализу и сбору полевой информации, проведение столь детальных исследований для более крупных бассейнов представляется слабо реализуемым в условиях ограниченного количества ресурсов и времени. Выходом из данной ситуации может являться полуавтоматизированный анализ

структуры более крупных речных бассейнов методами ГИС-технологий и выделение контрольных участков, подобных бассейну р. Плавы. Это потребует проведения процедуры классификации на более детальной (не только чисто морфометрической) основе с привлечением таких показателей, как густота, плотность и глубина эрозионного расчленения, параметров буферных зон между нижними границами распаханых склонов междуречий и бровками долин, учета макро- и микроклиматических особенностей территории, ее геологического строения, истории развития, почвенного покрова и т. д.

Выводы:

- предложена общая схема количественной оценки пространственного распределения коэффициента доставки наносов в речном бассейне в условиях преобладания сельскохозяйственного землепользования и доминирующей роли эрозионно-аккумулятивных процессов в балансе вещества на основе выделения его структурных элементов по дихотомической системе кодирования порядков Философова–Стралера;

- обосновано сопоставление выделенных на основе морфометрического анализа типов элементов пространственной структуры исследованного бассейна р. Плавы с ключевыми участками – малыми водосборами, на которых выполнялись детальные полевые исследования комплексом независимых методов. Показана возможность синтеза результатов детальных полевых исследований с данными морфометрического анализа для экстраполяции значений коэффициентов доставки наносов на выделенное множество элементов структуры бассейна;

- полученные в рамках предлагаемого подхода количественные оценки показывают четкую обратную зависимость между величиной коэффициента доставки наносов с одной стороны и порядка или площади водосбора с другой. Показано, что основным источником поступления наносов в днища основных долин являются непосредственно впадающие в них водосборы первого-второго порядков, тогда как сухие долины более высоких порядков, напротив, выступают в основном в качестве временных накопителей переотложенного материала. Данные выводы хорошо согласуются с опубликованными результатами, полученными на основе детальных полевых исследований баланса наносов малых водосборов.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 16-05-00815 и 15-05-99449), программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-6545.2016.5) и по плану НИР научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Макавеева географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова (№ 01201154409).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас радиоактивного загрязнения европейской части России, Белоруссии и Украины / Под ред. Ю.А. Израэля М.: ИГКЭ Росгидромета и РАН, Роскартография, 1998.
- Безухов Д.В., Беляев В.Р., Иванова Н.Н. Количественная оценка интенсивности и направленности эрозионно-аккумулятивных процессов на обрабатываемых склонах в пределах бассейна р. Плага (Тульская область) // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2014. № 6. С. 16–23.
- Бобровицкая Н.Н. Эмпирический метод расчета смыва почвы со склонов // Сток наносов, его изучение и географическое распределение. Л., 1977. С. 202–211.
- Бондарев В.П., Беляев В.Р., Иванова Н.Н., Эврар О. Доставка наносов с водосборных склонов в долину реки // Геоморфология. 2014. № 1. С. 36–45.
- Голосов В.Н. Использование радиоизотопов при исследовании эрозионно-аккумулятивных процессов // Геоморфология. 2000. № 2. С. 26–33.
- Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
- Дедков А.П., Мозжерин В.И. Эрозия и сток наносов на Земле. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 1984. 264 с.
- Кружалин В.И., Кадетов О.К., Симонов Ю.Г. Влияние структуры речной сети на ход рельефообразующих процессов // Геоморфология. 1981. № 3. С. 37–41.
- Ларионов Г.А. Эрозия и дефляция почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 199 с.
- Литвин Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. М.: НКЦ «Академкнига», 2002. 256 с.
- Маккаев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне.: Изд-во Моск. ун-та, М.: 2003 (переиздание 1955 года). С. 6–7.
- Романцова Н.А., Парамонова Т.А., Матвеев Я.В., Семенихин А.И. Современные особенности накопления цезия-137 в различных фитоценозах Плавского радиоактивного пятна Тульской области // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Мат-лы Всероссийской научно-практической конференции 18–20 апреля 2012 г. Вып. 14. Москва. С. 206–214.
- Симонов Ю.Г., Симонова Т.Ю. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки // Эрозия почв и русловые процессы. М., 2004. Вып. 14. С. 7–33.
- Скрипко В. В. Особенности структуры речных бассейнов равнинной части Алтайского края // Изв. Алтайского гос. ун-та. 2012. № 3–2. 75 с.
- Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур. Саратов, 1960. 93 с.
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Kislenko K.S., Kuznetsova J.S., Markelov M.V. Combining direct observations, modelling, and ¹³⁷Cs tracer for evaluating individual event contribution to long-term sediment budgets // Sediment dynamics in changing environments (Proceedings of a symposium held in Christchurch, New Zealand, December 2008). IAHS Publ. 2008. V. 325. P. 114–122.
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Markelov M.V., Ivanova N.N., Shamshurina E.N., Evrard O. Effects of land use and climate changes on small reservoir siltation in the agricultural belt of European Russia // Considering Hydrological Change in Reservoir Planning and Management. V. 362 of IAHS Publ. IAHS Press Wallingford, 2013. P. 134–145.
- Belyaev V., Shamshurina E., Markelov M., Golosov V., Ivanova N., Bondarev V., Paramonova T., Evrard O., Otle C., Lefevre I., Bonte P. Quantification of the sediment budget of a river basin, based on reconstruction of the post-fallout redistribution of Chernobyl particle-bound ¹³⁷Cs // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment (Proceedings of a symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS-Chengdu, China, 11–15 October 2012) (IAHS Publ. 356, 2012). P. 394–402.
- Golosov V., Ivanova N. Sediment-associated Chernobyl ¹³⁷Cs redistribution in small basins in central Russia // Applied Geomorphology. V. 10 of International association of geomorphologists. John Wiley & Sons Chichester, 2002. P. 165–182.
- Hinderer M. From gullies to mountain belts: A review of sediment budgets at various scales // Sedimentary Geology. 2012. V. 280. P. 21–59.
- Horton R. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrological approach to quantitative morphology // Geological Society of America Bulletin. March 1945. V. 56. № 3. P. 275–370.
- Panin A.V., Walling D.E., Golosov V.N. The role of soil erosion and fluvial processes in the post-fallout redistribution of Chernobyl-derived caesium-137: a case study of the Lapki catchment, Central Russia // Geomorphology. 2001. P. 185–204.
- Quine T. A. Use of a simple model to estimate rates of soil erosion from caesium-137 data // J. Water Resources. 1989. V. 8. P. 54–81.
- Robinson A.R. Relationship between soil erosion and sediment delivery // IAHS Publ. 1977. V. 122. P. 159–167.
- Roehl J.W. Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors // International Association of Scientific Hydrology. 1962. V. 59. P. 202–213.
- Vigiak O., Borselli L., Newham L.T.H., McInnes J., Roberts A.M. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio // Geomorphology. 2012. V. 138. P. 74–88.
- Walling D.E. The sediment delivery problem // J. Hydrology. 1983. V. 65. P. 209–237.
- Walling D.E., He Q. Improved models for estimating soil erosion rates from cesium-137 measurements // J. Environmental Quality. 1999. V. 28. P. 611–622.
- Wang Z., Govers G., Steegen A., Clymans W., Van den Putt A., Langhans C., Merckx R., Van Oost K. Catchment-scale carbon redistribution and delivery by water erosion in an intensively cultivated area // Geomorphology. 2010. V. 124. P. 65–74.
- Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. USDA, Handbook № 537. 1978. 58 p.

Поступила в редакцию 16.03.2016

Принята к публикации 09.02.2017

M.M. Ivanov¹, V.N. Golosov^{2,3}, V.R. Belyaev⁴ANALYSIS OF TOPOGRAPHY STRUCTURE FOR THE EVALUATION
OF SEDIMENT DELIVERY RATIO WITHIN
THE PLAVA RIVER BASIN (TULA OBLAST)

Erosion is the main agent of sediment redistribution within river basin. Its spatial pattern mostly depends on basin topography and structure of fluvial network. The contribution of relief to sediment redistribution within a river basin could be assessed through the detailed analysis of basin topography, classification of its elements and detailed field studies of key catchments corresponding to the identified classes. The most suitable quantitative parameter describing a river basin as a system of sediment redistribution is sediment delivery ratio (SDR). The SDR values were calculated for particular catchments within the Plava River network and for its basin as a whole. Considering the fact that the Plava River basin belongs to the Chernobyl-affected zone, the results can be useful for the assessment of radioecological danger and potential risks of river flow contamination.

Key words: fluvial processes, sediment budget, delivery ratio, small river basins, radioactive contamination, Srednerusskaya Upland.

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects № 16-05-00815 and 15-05-99449), the Russian Federation's President Program for support of the leading scientific schools (project NS-6545.2016.5) and under the scientific research plan of the Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes (№ 01201154409).

REFERENCES

- Atlas radioaktivnogo zagryazneniya evropejskoj chasti Rossii, Belorussii i Ukrainy [Atlas of Radioactive Contamination of the European Part of Russia, Belorussia and Ukraine] / Pod red. Ju.A. Izraelya. M.: IGKJe Rosgidrometa i RAN, Roskartografija, 1998 (in Russian).
- Belyaev V., Shamshurina E., Markelov M., Golosov V., Ivanova N., Bondarev V., Paramonova T., Evrard O., Otle C., Lefevre I., Bonte P. Quantification of the sediment budget of a river basin, based on reconstruction of the post-fallout redistribution of Chernobyl particle-bound ¹³⁷Cs // Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment (Proceedings of a symposium held at the Institute of Mountain Hazards and Environment, CAS-Chengdu, China, 11–15 October 2012) (IAHS Publ. 356, 2012). P. 394–402.
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Kislenco K.S., Kuznetsova J.S., Markelov M.V. Combining direct observations, modelling, and ¹³⁷Cs tracer for evaluating individual event contribution to long-term sediment budgets // Sediment dynamics in changing environments (Proceedings of a symposium held in Christchurch, New Zealand, December 2008). IAHS Publ. 325, 2008. P. 114–122.
- Belyaev V.R., Golosov V.N., Markelov M.V., Ivanova N.N., Shamshurina E. N., Evrard O. Effects of land use and climate changes on small reservoir siltation in the agricultural belt of European Russia // Considering Hydrological Change in Reservoir Planning and Management. V. 362 of IAHS Publ. IAHS Press Wallingford, 2013. P. 134–145.
- Bezukhov D.V., Belyaev V.R., Ivanova N.N. Kolichestvennaya ocenka intensivnosti i napravlenosti erozionno-akkumulyativnyh processov na obrabatyvaemykh sklonakh v predelakh bassejna r. Plava (Tul'skaja oblast') [Quantitative evaluation of intensity and direction of erosion-accumulation processes on cultivated slopes within the Plava River basin (Tula Oblast)] // Vestnik MGU. Ser. 5. Geografija. 2014. № 6. S. 16–23 (in Russian).
- Bobrovickaja N.N. Empiricheskij metod raschyota smyva pochvy so sklonov [Empirical method of slope erosion calculation] // Stok nanosov, ego izuchenie i geograficheskoe raspredelenie. L., 1977. P. 202–211 (in Russian).
- Bondarev V.P., Belyaev V.R., Ivanova N.N., Evrard O. Dostavka nanosov s vodosbornykh sklonov v dolinu reki [Sediment delivery from water catchment's slopes to river valley] // Geomorfologiya. 2014. № 1. S. 36–45 (in Russian).
- Dedkov A.P., Mozherin V.I. Eroziya i stok nanosov na Zemle [Erosion and sediment yield on the Earth]. Kazan': Izd-vo Kazansk. Un-ta, 1984. 264 p. (in Russian).
- Filosofov V.P. Kratkoe rukovodstvo po morfometricheskomu metodu poiskov tektonicheskikh struktur [Quick guide for the morphometric method of identifying the tectonic structures]. Saratov, 1960. 93 p. (in Russian).
- Golosov V.N. Ispol'zovanie radioizotopov pri issledovanii erozionno-akkumulyativnyh processov [Application of radioisotopes for investigation of erosion processes] // Geomorfologiya. 2000. № 2. P. 26–33 (in Russian).
- Golosov V., Ivanova N. Sediment-associated Chernobyl ¹³⁷Cs redistribution in small basins in central Russia // Applied Geomorphology. V. 10 of International association of geomorphologists. John Wiley & Sons Chichester, 2002. P. 165–182.
- Golosov V.N. Erozionno-akkumulyativnye processy v rechnykh bassejnakh osvoennyykh ravnin. M.: GEOS, 2006. 296 s. (in Russian).
- Hinderer M. From gullies to mountain belts: A review of sediment budgets at various scales // Sedimentary Geology. 2012. V. 280. P. 21–59.
- Horton R. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrological approach to quantitative morphology // Geological Society of America Bulletin. March 1945. V. 56, no. 3. P. 275–370.
- Kruzhalin V.I., Kadetov O.K., Simonov Ju.G. Vliyanie struktury rechnoj seti na khod rel'efoobrazuyuschikh processov [Influence of

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Junior Scientific Researcher; e-mail: ivanovm@bk.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: golosov@gmail.com

³ Kazan Federal University, Institute of Ecology and Environment, Leading Scientific Researcher, D.Sc. in Geography

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Laboratory of Soil Erosion and Fluvial Processes, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: vladimir.belyaev@gmail.com

river network's structure on geomorphologic processes] // *Geomorfologiya*. 1981. № 3. P. 37–41 (in Russian).

Larionov G.A. Erozija i deflyaciya pochv [Water and wind erosion of soils]. Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, M., 1993. 199 p. (in Russian).

Litvin L.F. Geografiya erozii pochv sel'skohozyajstvennykh zemel' Rossii [The geography of soil erosion in Russia]. M.: NKC «Akademkniga», 2002. 256 p. (in Russian).

Makkaveev N.I. Ruslo reki i eroziya v eyo bassejne [River channel and erosion in the river basin]. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2003 (pereizdanie 1955 goda). P. 6–7 (in Russian).

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

Quine T.A. Use of a simple model to estimate rates of soil erosion from caesium-137 data // *J. Water Resources*. 1989. V. 8. P. 54–81.

Robinson A.R. Relationship between soil erosion and sediment delivery // *IAHS Publ.* 1977. V. 122. P. 159–167.

Roehl J.W. Sediment source areas, delivery ratios and influencing morphological factors // *International Association of Scientific Hydrology*. 1962. V. 59. P. 202–213.

Romancova N.A., Paramonova T.A., Matveev Ja.V., Semenikhin A.I. Sovremennye osobennosti nakopleniya ceziya-137 v razlichnykh fitocenozach Plavskogo radioaktivnogo pyatna Tul'skoj oblasti. [Modern features of Cs-137 accumulation in different phytocenoses of the Plavsk Hot Spot in the Tula Oblast] // *Aktual'nye*

problemy ekologii i prirodopol'zovaniya. Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii 18–20 aprelya 2012 g., Vypusk 14, g. Moskva). P. 206–214 (in Russian).

Simonov Ju.G., Simonova T.Ju. Rechnoj bassejn i bassejnovaya organizaciya geograficheskoy obolochki [Rivers basin and the basin organization of the geosphere] // *Erozija pochv i ruslovyje processy*. M., 2004. V. 14. P. 7–33 (in Russian).

Skipko V.V. Osobennosti struktury rechnykh bassejnov ravninnoj chasti Altajskogo kraja [Specific features of river basin structure within the plains of the Altai Kraj] // *Izv. Altajskogo gos. un-ta*. 2012. №. 3–2. P. 75 (In Russian).

Vigiak O., Borselli L., Newham L.T.H., McInnes J., Roberts A.M. Comparison of conceptual landscape metrics to define hillslope-scale sediment delivery ratio // *Geomorphology*. 2012. V. 138. P. 74–88.

Walling D.E. The sediment delivery problem // *J. Hydrology*. 1983. V. 65. P. 209–237.

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

Wang Z., Govers G., Steegen A., Clymans W., Van den Putte A., Langhans C., Merckx R., Van Oost K. Catchment-scale carbon redistribution and delivery by water erosion in an intensively cultivated area // *Geomorphology*. 2010. V. 124. P. 65–74.

Wischmeier W.H., Smith D.D. Predicting rainfall erosion losses – a guide to conservation planning. USDA, Handbook № 537, 1978. 58 p.

Received 16.03.2016

Accepted 09.02.2017

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054:628.5

В.Р. Битюкова¹, Т.Д. Саульская²

ИЗМЕНЕНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗОН МОСКВЫ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ

Рассмотрены современные тенденции загрязнения воздушного бассейна Москвы от стационарных источников как для промышленных зон, так и для отдельных предприятий. Спад производства и структурные деформации в промышленности в кризисный период привели к изменению территориальных пропорций в атмосферном загрязнении. При более чем в двукратном сокращении валового объема выбросов в городе ареалы распространения загрязнения, уровень его токсичности и структурной сложности мало изменились. Для оценки экологического эффекта реновации промзон проведена комплексная оценка степени их экологической опасности.

Ключевые слова: постиндустриальность, промышленность Москвы, промзоны, интегральная оценка экологической ситуации, качество окружающей среды.

Введение. В постсоветский период промышленное производство в Москве сокращалось темпами, значительно превышающими среднероссийские. Одновременно уменьшалось и влияние промышленного комплекса на экологическую ситуацию в городе. Объем выбросов Москвы сократился в 4 раза по сравнению с 1990 г., а в целом по стране – в 2 раза. Доля выбросов в атмосферу от стационарных источников сократилась до 6%, чему способствовал не только взрывной рост автомобилизации, но и сокращение промышленного производства [Доклад ..., 1993; Охрана окружающей ..., 2014].

Однако темпы уменьшения объема выбросов постепенно замедляются, и это происходит на фоне сокращения промышленного производства (взятого без учета добывающего сектора, чтобы исключить статистическое искажение в результате размещения в столице юридических адресов крупнейших компаний), поэтому удельные выбросы от стационарных источников увеличиваются (рис. 1).

Производственные зоны как фактор экологической ситуации. Несмотря на процессы деиндустриализации, в Москве по-прежнему сохранились огромные территории, выделенные как производ-

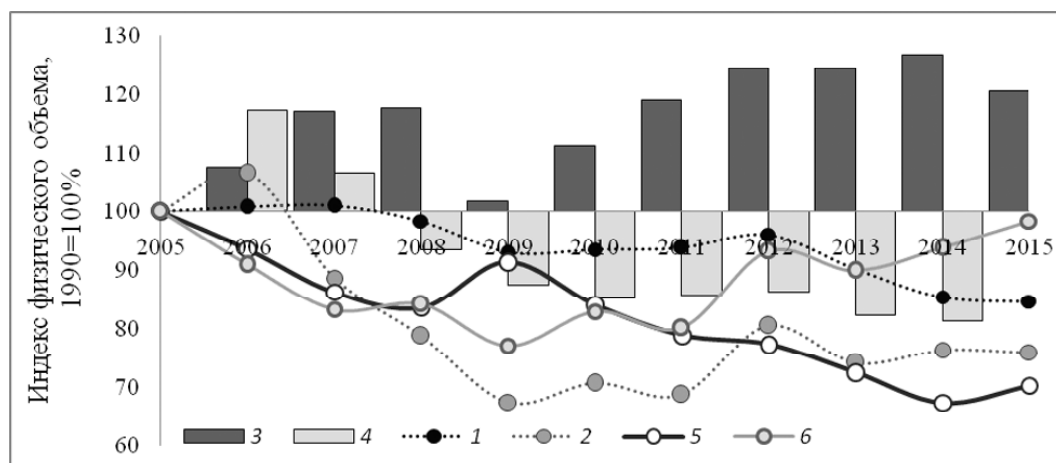


Рис. 1. Изменение объема выбросов и промышленного производства в Москве и России (2005–2015 гг., % к началу периода). Объем выбросов в атмосферу от стационарных источников; объем промышленного производства (по агрегатам «Производство и распределение электроэнергии, газа и воды» и «Обрабатывающие производства» в ценах 2005 г. и удельные выбросы в атмосферу, кг/ на 1000 руб. продукции собственного производства в сопоставимых ценах; 1, 3, 5 – РФ, 2, 4, 6 – Москва

Fig. 1. Changes in the emission amount and industrial production in Moscow and Russia in 2005–2015 (% to the start of the period). Amount of emissions to the atmosphere from the stationary sources; volume of industrial production (Production and distribution of electricity, gas and water, and Manufacturing industries), 2005 prices; specific emissions to the atmosphere, kg/1000 roubles of production in constant prices; 1, 3, 5 – Russian Federation, 2, 4, 6 – Moscow

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: bituykova@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, аспирант; e-mail: tanya-saulskaya@mail.ru

ственные зоны³ (ПЗ), которые занимают 18,8 га, что составляет более 17% территории города (в границах до 2012 г.). Хаотичное замещение производств складами, автосервисными комплексами, превращение части строений в заброшенные и неиспользуемые сооружения привело к тому, что ПЗ стали называть «ржавым поясом» столицы. Трансформация производственных территорий в Москве шла крайне неравномерно и по-разному влияла на экологическую ситуацию. Во многом это было связано с тем, что закрытие промышленных предприятий было растянуто на 20-летнем временном отрезке и практически везде шло постепенно. В конце 1980-х многие предприятия прекратили расширение (отказались от строительства новых линий и корпусов), в 1990-е они переходили на поэтапное сворачивание производства, в 2000-е приступили к сдаче пустующих площадей в аренду. Снижение производственной активности происходило неравномерно, в нем сложно выделить жесткие внутригородские или отраслевые закономерности. Более важными факторами в судьбе каждого предприятия стали особенности акционерного капитала и земельных отношений на конкретном участке, возможности новых владельцев по лоббированию принятия градостроительных решений.

Несмотря на уменьшение объемов промышленного производства и проведение мероприятий, направленных на сокращение вредного воздействия на окружающую среду, недооценивать значимость производственных территорий как источников загрязнения нельзя. Они находятся вблизи жилой застройки, а часто вписаны в нее. Производственная деятельность во многих ПЗ уже практически отсутствует (или минимизирована), но в них остаются стационарные непромышленные источники антропогенных выбросов, относящиеся к непромышленной сфере (АЗС, автомойки, медицинские учреждения и пр.). Важной спецификой столицы является и то, что ПЗ (наряду с железными дорогами) были и остаются серьезными барьерами для транспортной сети, снижают ее связность и приводят к дополнительному пробегу автомобилей, создают повышенные уровни загрязнения от автотранспорта. Причем максимальная концентрация крупных ПЗ приходится на восточный и юго-восточный секторы города, на которые, в свою очередь, замкнуты потоки из наиболее населенной части Подмосквья.

Мировой опыт реорганизации производственных территорий. Трансформацию ПЗ Москвы в целом определяет действие общих факторов, характерных для всех крупнейших городов мира в постиндустриальную эпоху. Естественными экономическими причинами ликвидации производств в крупнейших городах США и Европы в 1970-е и 1980-е годы являлись рост стоимости недвижимости в городе, смена технологического уклада, банкротство час-

ти промышленных предприятий [Adams, 2010; Gilliland, 1999; Brownfields, 1999]. Возникла ситуация, которую можно характеризовать как деиндустриализацию города.

Политика городских властей тоже имела общие черты. Стимулирование процессов «вывода» промышленных предприятий за границы городов, в первую очередь в Париже и Лондоне было характерно для 1950–1980-х годов и обусловлено необходимостью развития периферии агломераций и соседних регионов, а также необходимостью решения экологических проблем городов [Слука, 1961; Friedmann, 1995]. Освобождение производственных территорий в крупнейших городах позволило перейти в следующий период (1980–2000 гг.) к политике привлечения новых производственных и непромышленных предприятий на свою территорию, а также реорганизации заброшенных производственных территорий [Hutchison, 1995; Targeted area, 2005; Ткаченко, 2009].

Специфическими, характерными для Москвы факторами были отсутствие государственной поддержки высокотехнологических производств, субсидирование устаревших промышленных предприятий. Свойственные западным городам основные направления политики реорганизации ПЗ в постиндустриальный период, включающие не столько ликвидацию или вывод предприятий за городскую черту, сколько привлечение инвесторов, новых предприятий и организаций, а также стимулирование процессов реновации городской среды, для Москвы появились только в последние годы [Реорганизация, 2005; Концепция развития ..., 2008; Алексашина, 2010]. В современных стратегиях реновации ПЗ Москвы явно недооценена роль зеленого строительства. В крупных городах и столицах развитых стран проводится политика абсолютизации сохранения и преумножения озелененных территорий, даже если это удорожает строительство [Кулешова, Сергеев, 2011]. Одновременно в крупномасштабных исследованиях городской среды сначала появилось понижение роли ПЗ как важнейшего источника антропогенного воздействия [Саушкин, Глушкова, 1983; Владимиров, 1996]. К началу 2000-х гг. в географических работах обосновались основные принципы и направления реорганизации ПЗ [Горлов, 2007; Попов, 2007; Соколова, 2009; Чернышева, 2011; Стратегии развития старопромышленных ..., 2011].

Материалы и методы исследования. Для оценки изменения влияния ПЗ рассчитывался интегральный индекс антропогенного воздействия, представляющий собой сумму нормированных показателей объема, структуры, токсичности (количества элементов 1 класса опасности), площади ареалов выбросов в атмосферу (рассчитанных по методике ОНД-86 от каждого источника в ПЗ [Тищенко, 1991]), размера ПЗ и доли собственно промышленной территории в структуре ее земель. Данная ме-

³ Генплан определяет производственные зоны как часть городской территории, предназначенной для размещения промышленных, научно-исследовательских, учебных, коммунально-складских и автотранспортных объектов, учреждений культурно-бытового обслуживания.

тодика использовалась в других работах по оценке уровня воздействия промышленных предприятий и ПЗ как для Москвы, так и для других городов [Битюкова, Слободской, 2003; Битюкова, Угарова, 2010].

Материалами для исследования послужили формы статистической отчетности об объемах и структуре выбросов предприятий за 1992, 2002 и 2014 гг., представленные в «Обзорах состояния воздухо-охранной деятельности на предприятиях г. Москвы» Московского городского комитета охраны окружающей среды и природных ресурсов, а также данные Мосгорстата.

Результаты исследования и их обсуждение.

I. Изменение отраслевой структуры загрязнения атмосферы Москвы в постсоветский период определяет возрастающий уровень локализации предприятий: 14 предприятий города обеспечивали 78% валового загрязнения города в 1990-е гг. и их вклад увеличился до 80–85% в 2005–2015 гг. Объем выбросов загрязняющих веществ в последние годы на 50–65% определяется влиянием 13-ти действующих ТЭЦ и котельных и еще на 20–30% – влиянием НПЗ.

В Москве сильнее, чем в целом по России, сократился объем выбросов от энергетики в связи с изменением структуры топливного баланса, в котором 96,7% составляет газовое топливо, а также проведением реконструкции ТЭЦ. Энергоемкость промышленного производства Москвы – одна из самых низких среди регионов России, однако с 2005 г. имеет устойчивую тенденцию к росту.

Выше среднероссийских в столице были темпы сокращения объемов выбросов от нефтепереработки. АО «Газпромнефть-МНПЗ» уменьшил валовое загрязнение в 1992–2000 гг. с 58,5 до 25,1 тыс. т после реконструкции и изменений в технологическом процессе. В 2003–2007 гг. объем выбросов вновь вырос до 29 тыс. т, но к 2009 г. сократился до 12–18 тыс. т.

Доля машиностроения в загрязнение атмосферы Москвы снизилась до 2–3%. Отсутствие загрязнения от металлургического комплекса связано с закрытием завода «Серп и молот». Напротив, почти в 6 раз увеличилось загрязнение от стационарных источников транспортного комплекса и прочих видов экономической деятельности в связи с запуском мусоросжигательных заводов и началом учета стационарных непромышленных источников загрязнения (рис. 2). Среди других отраслей около 2% составляет только вклад в загрязнение производства пищевых продуктов и строительных материалов.

Изменение структуры выбросов в атмосферу от стационарных источников определяется динамикой отраслей промышленности. В структуре выбросов города почти 50% составляют NO_x , 15% CO , как следствие доминирования ТЭЦ на газе, 16% – SO_2 и 11% – летучие органические соединения, поступающие в значительной степени от нефтепереработки. Структура выбросов по административным округам мало отличается от средней по городу, только в районе Капотни доля SO_2 достигает 60%, а в Юго-Восточном административном округе – 52% в результате воздействия НПЗ (рис. 3).

В период 1990–1995 гг. сокращение объема выбросов происходило за счет всех составляющих, начиная с 1995 г., после завершения перехода на газ, в основном за счет выбросов NO_x . В 2005–2015 гг. в наибольшей степени (на 59%) сократились выбросы твердых веществ, в 2 раза – SO_2 и на 67% летучих органических соединений (ЛОС). Увеличился объем выбросов углеводородов, что является следствием снижения доли уловленных и обезвреженных загрязняющих атмосферу веществ газопылеулавливающими установками с 56 до 40%. Добиться дальнейшего сокращения объема выбросов будет технологически сложно и дорого.

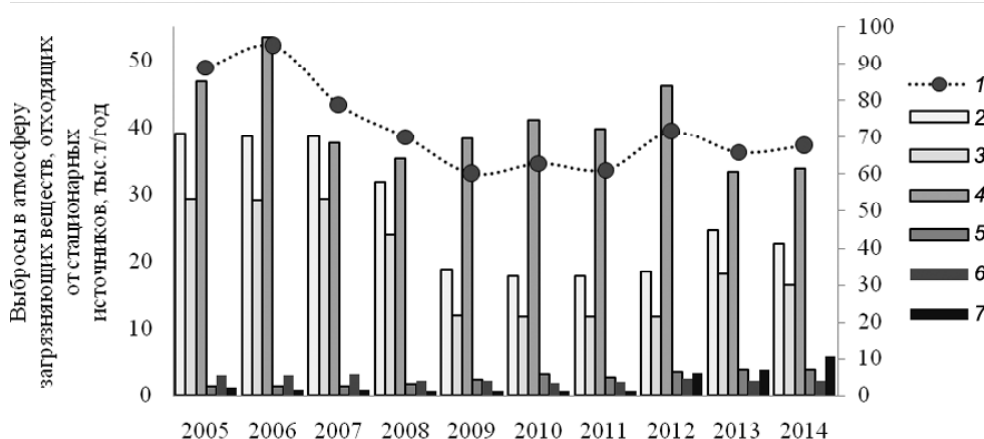


Рис. 2. Суммарные выбросы наиболее распространенных загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Москвы стационарными источниками по видам экономической деятельности с вкладом более 1% от общего объема выбросов загрязняющих веществ: 1 – всего (правая шкала); 2 – обрабатывающие производства; 3 – производство нефтепродуктов; 4 – производство и распределение электроэнергии газа и воды; 5 – прочие виды экономической деятельности; 6 – производство транспортных средств и оборудования; 7 – транспорт и связь

Fig. 2. Total amount of common pollutants emitted to the atmosphere of Moscow by stationary sources (according to the types of economic activities) with more than 1% input of the total amount of emissions: 1 – total amount (right scale); 2 – manufacturing industries; 3 – production of oil products; 4 – production and distribution of electricity, gas and water; 5 – other economic activities; 6 – production of vehicles and transport equipment; 7 – transport and communication

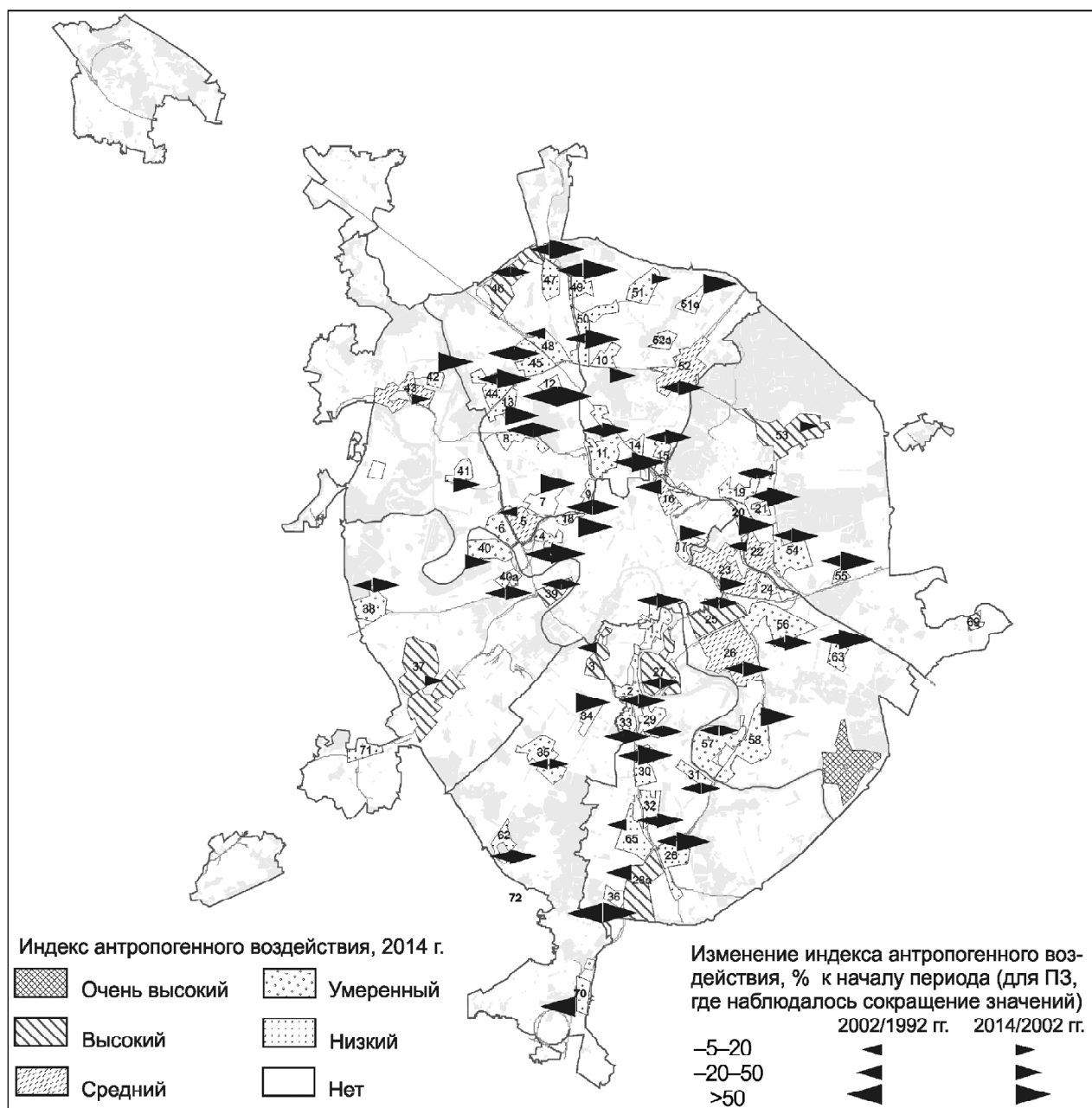


Рис. 3. Изменение уровня антропогенного воздействия производственных зон Москвы на городскую среду 1992–2014 гг. Номерами на картах обозначены промышленные зоны (согласно Постановлению Правительства Москвы от 01.04.2008 г. № 247-ПП).

Fig. 3. Changes of the level of anthropogenic impact of the industrial zones of Moscow on the urban environment in 1992–2014. Numbers of the map are for industrial zones (according to the Decree of the Government of Moscow, 01.04.2008, № 247

Территориальная структура загрязнения атмосферы по группам промзон

Промзоны	Доля группы промзон в объеме выбросов в атмосферу			Индекс, % к началу периода	
	1992 г.	2002 г.	2014 г.	2002/1992	2010/2002
Москва, всего	100	100	100	37	68
Промзоны, всего, в том числе	94,9	115,7	95,5	45	56
Биструктурные	3,9	3,9	1,4	45	20
Моноструктурные	93,5	92,8	97,7	45	59
Полиструктурные	2,6	3,3	0,9	58	15
10 самых крупных	87,6	87,2	95,8	45	61
10 самых маленьких	0,14	0,21	0,03	68	8
Восточные	76,7	68,4	65,6	40	54
Западные	23,3	31,6	34,4	61	61
Срединный пояс	30,6	25,9	18,4	38	40
Периферийный пояс	69,4	74,1	81,6	48	61

II. Изменение территориальной структуры загрязнения ПЗ. Закрытие значительной части промышленных предприятий в 2000–2014 гг. отразилось на *территориальной структуре загрязнения города*. Сложившаяся веками диспропорция московской промышленности, традиционно более развитой на востоке, в результате более интенсивного сокращения производства на крупных предприятиях постепенно сглаживается: в 1992 г. совокупный выброс восточных ПЗ превосходил западные в 2,3 раза, а в 2014 г. – в 1,9 раза. Напротив, естественная диффузия промышленности из центра к периферии, усиленная отраслевыми сдвигами, приводит к тому, что выбросы периферийных ПЗ были выше, чем в ПЗ среднего пояса в начале пореформенного периода в 2,2 раза, в конце 90-х годов более чем в 3 раза, в 2014 г. – в 4,4 раза. Таким образом, различия в среднем поясе московских ПЗ сглаживались, уступая место центр-периферийным трансформациям.

До 98% увеличился вклад в загрязнение атмосферы города традиционно самой многочисленной группы ПЗ, характеризующихся *моноструктурой*

загрязнения (от одного источника в атмосферу поступает более 60% валового загрязнения ПЗ), так как большая часть их формировалась вокруг крупных предприятий или ТЭЦ. Если в 1990-е гг. объемы выбросов в полиструктурных промзонах снижались значительно медленнее, чем в целом по городу, то в 2000-е годы загрязнение от них сокращалось наибольшими темпами. Почти все поли- и биструктурные ПЗ (75% валового загрязнения от двух предприятий) стали моноструктурными (табл.).

Интегральный индекс антропогенного воздействия ПЗ отражает сокращение уровня антропогенного воздействия в основном в период 2002–2014 гг. (рис. 4).

В группе ПЗ с *очень высоким уровнем воздействия* к 2014 г. осталась только ПЗ Чагино-Капотня, где расположено АО «Газпромнефть-МНПЗ», на котором одним из первых началась реконструкция оборудования. Количество выбросов снижалось до 1997 г., затем проблемы с финансированием замедлили техническое перевооружение, но сокращение объемов выбросов продолжилось (36 тыс. т в 1999 г), сегодня они составляют

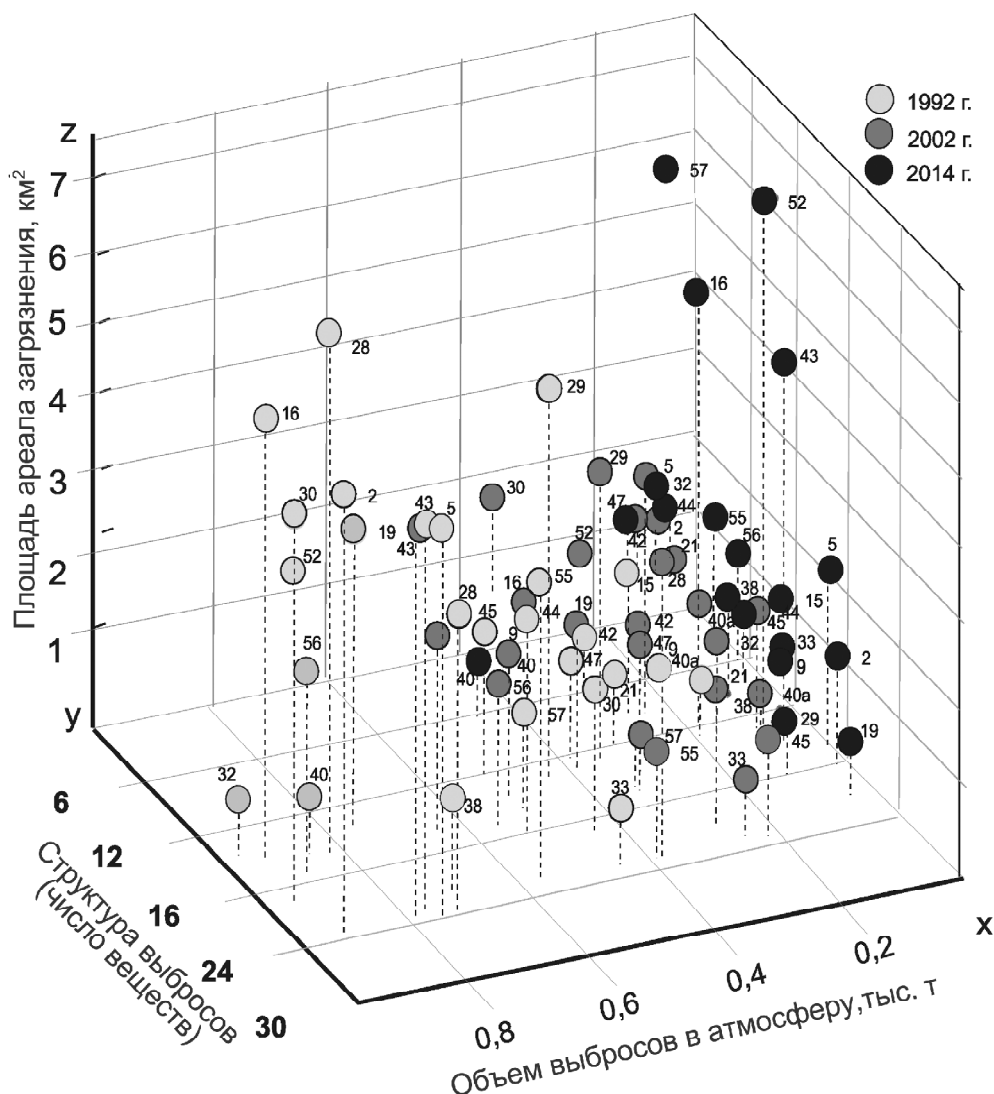


Рис. 4. Ключевые характеристики антропогенного воздействия производственных зон г. Москвы

Fig. 4. Principal characteristics of the anthropogenic impact of industrial zones of Moscow

25,1 тыс. т. Основное снижение обеспечивается сокращением выбросов SO_2 , углеводородов, твердых веществ. К 2015 г. завершен первый этап модернизации предприятия, направленный в основном на улучшение экологических характеристик, в результате воздействие предприятия на атмосферу уменьшилось на 48% по сравнению с 2010 г.

К промышленным зонам с **высоким уровнем воздействия** относятся 10 московских ПЗ, занимающих 19% всей площади промышленных территорий и выбрасывающих 68,7% валового загрязнения. Это моноструктурные ПЗ размещения ТЭЦ (Калошино, Коровино, Очаково, Бирюлево, Волгоградский проспект, Бережковская набережная, ЗИЛ, Донские улицы). Как следствие, для них характерно минимальное сокращение интегрального индекса (на 6–15%) и выбросов в атмосферу (в среднем на 40%). Вклад этой группы в валовое загрязнение столицы увеличился на 8,5 п.п. за последнее десятилетие. В этой группе только ПЗ ЗИЛ – одна из приоритетных с точки зрения реорганизации. В 2013 г. был принят проект планировки, предусматривающий строительство жилья, офисов, ледового дворца «Арена Легенд», медкластера, двух школ и двух детсадов, Музея хоккея и первого в стране центра синхронно-плавания.

Исключение составляет ПЗ Руднево, экологическая ситуация в которой изменилась после строительства в 2003 г. Московского мусоросжигательного завода № 4. Завод отделен от жилых кварталов Салтыковским лесом, в нем используется 6 ступеней очистки отходящих газов, в состав предприятия входит теплоэлектростанция на альтернативном топливе – твердых бытовых отходах, но его влияние ощущается в Новокосино, о чем свидетельствуют обращения жителей. По статистике жалоб МО Косино-Ухтомское и Новокосино – одни из самых неблагополучных районов Москвы [Доклад ..., 2015]. В 2014 г. был закрыт расположенный там ветеринарно-санитарный завод по сжиганию биологических и медицинских отходов «Эколог».

Средним уровнем воздействия в 1990–2002 гг. характеризовалась третья часть московских ПЗ, но к 2014 г. в данной группе осталось 8 ПЗ (Соколиная гора, Трикотажная, Свиблово, Митковская ветка, Южный порт, Северянин, Серп и Молот, Магистральные улицы). Их доля в площади такая же, как и у предыдущей группы, а в валовом выбросе значительно меньше (3%) и сократилась в 2 раза с 2002 г. В ПЗ данного типа был широкий набор производств, преимущественно машиностроительных, большинство из которых закрыты, а основное загрязнение создают котельные и небольшая ТЭЦ-11 им. М.Я. Уфаева в ПЗ Соколиная гора, выбросы которой составляют менее 800 т. В старейшей московской ПЗ Серп и Молот производство прекратилось в 2011 г. Для промзоны Южный порт (АЗЛК), как и для промзоны ЗИЛ, разработан проект развития территории, однако в данном случае существенным сдерживающим фактором остается значительное количество собственников.

Умеренный уровень воздействия характерен для 17-ти промзон, занимающих 27% площади и выбрасывающих 2,6% загрязняющих веществ, что в 2–2,5 раза меньше, чем в 2002 г. К данной группе относятся ПЗ, которые в 1990-е имели очень высокий (Варшавское шоссе, Огородный проезд, Люблино, Павелецкая, Прожектор) и высокий уровень антропогенного воздействия (Воронцово, Курьяново, Нагатино, Хапиловка, Кунцево, Фили, Ленино, Грайвороново), но снизили его на 35–55%. Основные предприятия – источники загрязнения здесь закрыты или сократили производство. Например, это завод «Прожектор», перешедший на производство металлической мебели и систем электроснабжения. В ПЗ Огородный проезд прошла существенная реконструкция, в 2007 г. вывезено устаревшее оборудование, проведена очистка бывших цехов и территории, открыт выставочно-торгово-офисный комплекс «Флакон Москва – Париж». В различной степени проработки находятся проекты застройки участков промзон жилыми массивами: «Силикатные улицы», «Фили», «Грайвороново».

Увеличился уровень воздействия в ПЗ «Силикатные улицы», где на ТЭЦ-16 в 2014 г. запущен новый энергоблок и «Южное Бутово» из-за влияния предприятий стройиндустрии и котельных; остался неизменным – в ПЗ «Дегунино-Лихоборы», «Карачарово», «Медведково». Особое место в этом списке занимает ПЗ «Курьяново». Специфическим загрязнителем здесь выступает Курьяновская станция аэрации, на 90% определяющая воздействие ПЗ, земли промышленных предприятий составляют всего около 17% от территории ПЗ. Крайне неблагоприятно расположены жилые кварталы района Курьяново – между двумя промзонами, в пересечении их ареалов загрязнения.

К ПЗ с **относительно слабым уровнем воздействия** относится половина московских ПЗ, занимающих 3,6% территории, но выбрасывающих всего 0,5% объема выбросов. ПЗ этого типа имели различную специализацию; их объединяет то, что это небольшие по масштабу загрязнения предприятия. Именно в этих ПЗ произошло наибольшее закрытие предприятий и сокращение ареалов загрязнения. ПЗ Перово характеризуется одними из самых высоких темпов замещения промышленных функций жилыми и общественными. После строительства жилищного комплекса на месте ОАО «Куковский химический завод» уровень воздействия изменился с критического в 1990-х годах до умеренного в 2014 г. Вдоль железной дороги сохраняется гаражная, производственная малоэтажная застройка, площадка Куковского завода консистентных смазок РЖД.

В части промзон произошло полное замещение промышленных функций в основном уже после 2002 г. Большая часть таких ПЗ находится в западной части города. Так, в ПЗ «Черемушки» располагался кирпичный завод, который был закрыт и его территория используется для строительства жилых кварталов.

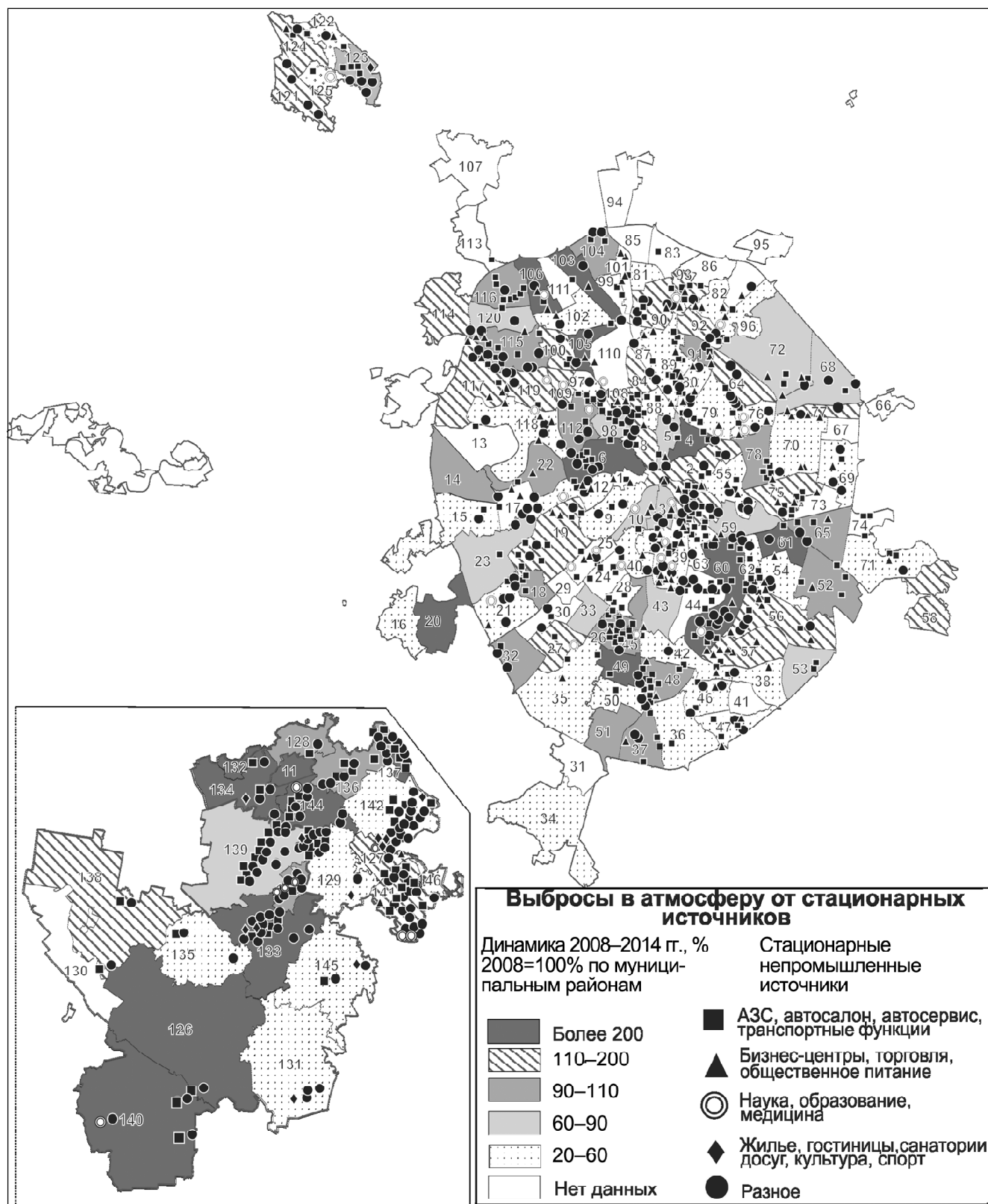


Рис. 5. Динамика выбросов в атмосферу от стационарных источников муниципальных районов г. Москвы 2008–2014 гг.

Fig. 5. Dynamics of emissions from stationary sources in the municipal raions of Moscow in 2008–2014

Таким образом, при общем тренде сокращения промышленного воздействия в разных частях города и на разных этапах эти процессы шли по-разному. В 1992–2002 гг. восточный сектор города, где размещались крупные предприятия, сохранили основную промышленную нагрузку на природный

комплекс. Для наиболее опасных в экологическом отношении ПЗ были характерны меньшие темпы сокращения количества выбросов (от 25 до 50%), определяемые отраслевой спецификой их главных источников. ПЗ, не имеющие таких источников, характеризовались разными (временами даже про-

тивоположными) трендами развития, объем атмосферного загрязнения от них изменяется от максимального снижения до небольшого роста.

В 2002–2014 гг. устойчивым оказалось загрязнение крупных ПЗ вокруг крупнейших ТЭЦ и НПЗ, сформировалось устойчивое кольцо мощного воздействия от стационарных источников. Менее промышленная западная часть остается более стабильной. Наименее опасный с точки зрения воздействия в ПЗ Бережковская набережная и Очаково, за счет ТЭЦ, и в промзоне Кунцево за счет расположения предприятий не в глубине промзоны, а ближе к границе с жилыми кварталами.

Интегральный индекс антропогенного воздействия большинства ПЗ уменьшался медленнее, чем объем выбросов в атмосферу, потому что сокращение площади ареалов, структурной сложности и токсичности выбросов происходило в основном при полном закрытии предприятий (рис. 4).

На фоне сокращения объема выбросов от всех ПЗ, в ряде муниципальных районов наблюдается рост загрязнения в последние годы. В определенной степени это эффект «низкой базы», поскольку объем выбросов увеличивался в районах, где он не превышал 50 т. Одновременно с 2014 г. стали учитываться стационарные непромышленные источники (СНИ): АЗС, бизнес-центры, медицинские учреждения, торговля, образование и др. Несмотря на незначительные количества выбросов – суммарно около 6 тыс. т в год, они представляют определенную опасность для окружающей среды из-за разнообразия структуры загрязняющих веществ. СНИ имеют значительно более широкое распространение по территории города, чем промышленные предприятия. Во всех округах они ориентированы на крупные автомагистрали. С экологической точки зрения СНИ менее опасны, но, учитывая увеличение их количества и особенности распределения, необходимо рассматривать относительно новый, но очень важный для постиндустриального города источник загрязнения окружающей среды на локальном уровне (рис. 5). В результате, в последние годы в Москве одновременно улучшается качество учета за счет непромышленных источников и недоучитывается влияние складских, гаражных и других зданий и сооружений в промзонах.

Выводы:

– экологический фактор становится все более значимым для развития Москвы. Сокращение валового загрязнения атмосферы от промышленности в 4 раза по сравнению с 1990 г. не обусловило столь же значимого уменьшения ареалов загрязнения, размеры которых значительно больше определяются высотой источника, чем объемом выбро-

сов, и, особенно, токсичностью и структурной сложностью выбрасываемого аэрозоля;

– анализ динамики загрязнения в целом по городу показал, что максимальное сокращение объемов выбросов произошло в 1990-е гг., а основное закрытие предприятий и, как следствие, влияние промзон, напротив, в 2000-е гг. Одновременно наблюдалось упрощение структуры промышленности (теплоэнергетики, химии и нефтехимии и промышленности строительных материалов). Фактически остались только крупные источники загрязнения (с выбросами более 100 т/год), которые максимально сократили объем выбросов именно в период экономического кризиса в 1990-е гг. во многом за счет программ обновления оборудования;

– в 2015 г. по сравнению с 2000 г. появилось несколько разнонаправленных тенденций. Промышленная структура достигла пика упрощения, но за счет непромышленных источников структура загрязнения девирсифицируется, появляются сложные выбросы лабораторий. Объем выбросов от ТЭЦ стабилен, но нарастает децентрализация теплоснабжения, так как многие стационарные непромышленные источники имеют автономные отопительные системы. Все это ведет к нестабильности экологической ситуации на территории города и должно быть учтено при разработке стратегии реновации ПЗ;

– практически все промзоны имеют значительный потенциал развития. Несмотря на значительную продолжительность постиндустриального периода и большое внимание к этому вопросу у московских властей, далеко не для всех промзон есть понимание направлений переспециализации. Политика в отношении промышленных зон должна опираться в том числе и на комплексную оценку их воздействия на окружающую среду и тенденций его изменения. Большинство ПЗ нуждается в таких мерах, как озеленение, вывод предприятий, закрытие отдельных производств, установка эффективного очистного оборудования, создание достаточных санитарно-защитных зон и расселение жилых кварталов. Реконструкция должна улучшить экологическую ситуацию на ряде жилых территорий, резко сократить токсичность и площадь ареалов загрязнения. При этом на первом этапе эффект может быть достигнут лишь путем уплотнения и оптимизации структуры центральной части ПЗ без сокращения площадей при оставлении окраинной территории в качестве буфера между ПЗ и жилыми кварталами. Если селитба с устаревшим и ветхим жилищным фондом попадает в плотное обрамление производственных территорий, реорганизацию целесообразно применять именно к жилым территориям без застраивания высвобождающейся площади, а оптимизируя ее под санитарно-защитную зону и непромышленные земли ПЗ (склады и т. д.).

Благодарности. Публикация осуществлена при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» в рамках проекта «Неизвестное рядом: пять лет Новой Москве».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексашина В.В. Градостроительный аспект реорганизации производственных территорий мегаполиса на примере Москвы // ACADEMIA. 2010. № 1. С. 54–63.
- Битюкова В.Р., Слободской Д.И. Изменение территориальной структуры промышленного загрязнения Москвы в 90-е годы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2003. № 2. С. 50–59.
- Битюкова В.Р., Угарова Н.А. Эколого-экономическая оптимизация размещения промышленности в крупных городах // Экология и промышленность России. 2012. № 2. С. 2–8.
- Владимиров В.В. Расселение и экология. М., 1996. 392 с.
- Горлов В.Н. Москва в контексте процесса деиндустриализации // Глобальный город: теория и реальность / Под ред. Н.А. Слудки. М.: Аванглион, 2007. С. 198–208.
- Градостроительство Москвы: 90-е годы XX века. М., 2001. 279 с.
- Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 1992 г.» М.: Фонд «Эссо», 1993. 167 с.
- Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2015 г.» М., 2016. 271 с.
- Концепция развития научного и промышленного потенциала Москвы до 2025 г., титул № 107/980, ГУП НИ и ПИ Генплана г. Москвы. Москва, 2008. 104 с.
- Короленко А.Р. Сравнение мирового и российского опыта реорганизации территорий // Региональные исследования. 2011. № 2(32). С. 36–43.
- Кулешова Г.И., Сергеев К.И. Экологизация городской среды: стандарты и направления структурных преобразований: Социальные стандарты качества жизни в архитектуре, градостроительстве и строительстве / Под ред. А.П. Кудрявцева и др. РААСН, ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», Юго-Зап. гос. ун-т. Москва – Орел – Курск, 2011. С. 85–97.
- Любовный В.Я., Сдобнов Ю.А. Москва и столичный регион: проблемы регулирования социально-экономического и пространственного развития. М.: Эконинформ, 2011. 401 с.
- Охрана окружающей среды в России – 2014 г. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_54/Main.htm (дата обращения 16.08.2016)
- Попов А.А. Территориальная дифференциация качества городской среды в Москве // Вестник Моск. ун-та. 2007. Т. 5. № 4. С. 29–36.
- Реорганизация производственных территорий города Москвы: экономические, организационные и градостроительные аспекты / Под ред. П.И. Бурака. М.: ЗАО Издательство «Экономика», 2005. 399 с.
- Саушкин Ю.Г., Глушкова В.Г. Москва среди городов мира. Экономико-географическое исследование. М.: Мысль, 1983. 285 с.
- Слука А.Е. Политика децентрализации Большого Парижа и ее результаты // ВГУ. Сер. геогр. Воронеж, 1961. № 1. 31 с.
- Соколова Е.П. Эколого-градостроительное регулирование структуры крупнейших городов. Дис. ... канд. геогр. н., 2009. 180 с.
- Стратегии развития старопромышленных городов: международный опыт и перспективы в России / Под ред. И. Стародубовской. М.: Институт Гайдара, 2011. 248 с.
- Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе. Справочник. М.: Химия, 1991. 368 с.
- Ткаченко Л.Я., Ивашкина И.В. Стратегическое планирование в регионе Иль-де-Франс // Экономика мегаполисов и регионов. М., 2009. № 5. С. 30–35.
- Чернышева Н.А. Трансформация производственных территорий Москвы. Дис. ...канд. геогр. н. 2011. 262 с.
- Adams D., Soussa de C., Tiesdly S. Brownfields development: a comparison of North American and British Approaches. Glasgow, UK, Milwaukee, USA. Urban Study. January. 2010. V. 47. P. 75–104.
- Gilliland E. Brownfield redevelopment: performance evaluation. Council for urban economic development. Washington, DC, USA, 1999.
- Friedmann J. Where we stand: a decade of world city research // World Cities in a World-System. Cambridge, 1995. P. 21–47.
- Targeted area redevelopment. Area-wide improvements for community revitalization. Washington.: international Economic Development Council. 2005. 118 p.
- Hutchison Ray. (ed.) Gentrification and urban change: Research in urban sociology. Wisconsin, Green Bay: JAI press Ltd. 1992. 310 p.

Поступила в редакцию 30.08.2016
Принята к публикации 09.02.2017

V.R. Bitukova¹, T.D. Saulskaya²

CHANGES OF THE ANTHROPOGENIC IMPACT OF MOSCOW INDUSTRIAL ZONES DURING THE RECENT DECADES

Modern trends of the air pollution from the industrial zones and enterprises of Moscow are analyzed. Decline in production and structural deformations of industry during the crisis period resulted in the changes of the territorial proportions of air pollution. Despite more than twofold reduction of the total amount of emissions the areas of pollution, the level of toxicity and structural complexity of aerosol did not change much. The complex evaluation of the degree of ecological danger of the Moscow industrial zones was performed to appreciate the ecological effect of their renovation.

Key words: postindustrial period, industry of Moscow, industrial zones, integral estimate of the environmental situation, quality of the environment.

Acknowledgements. The publication was financially supported by the Russian Geographical Society under the framework of the project «The Unknown is Nearby: Five Years of New Moscow».

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: bitukova@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, post-graduate student; e-mail: tanya-saulskaya@mail.ru

REFERENCES

- Adams D., Soussa de C., Tiedly S. «Brownfields development: a comparison of North American and British Approaches», Glasgow, UK, Milwaukee, USA, Urban Study, January 2010. V. 47. P. 75–104.
- Aleksashina V.V. Gradostroitel'ny aspekt reorganizacii proizvodstvennyh territorij megapolisa na primere Moskvy [City-planning aspect of the reorganization of industrial zones of a megapolis (case study of Moscow)] // ACADEMIA. 2010. № 1. P. 54–63. (In Russian).
- Bityukova V.R., Slobodskoj D.I. Izmenenie territorial'noj struktury promyshlennogo zagryaznenija Moskvy v 90-e gody [The changing territorial structure of the industrial pollution in Moscow during the 1990-s] // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5, geogr. 2003. № 2. P. 50–59 (in Russian).
- Bityukova V.R., Ugarova N.A. Ekologo-ekonomicheskaya optimizacija razmeshheniya promyshlennosti v krupnyh gorodah [Ecological-economic optimization of industrial localization in large cities] // Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2012. № 2. P. 2–8 (in Russian).
- Chernysheva N.A. Transformaciya proizvodstvennyh territorij Moskvy [Transformation of industrial areas in Moscow]. Dis. ... kand. geogr. n. 2011. 262 p. (in Russian).
- Doklad «O sostojanii okruzhajushhej sredy v gorode Moskve v 1992 g.» [1992 Report on the State of the Environment in Moscow] M.: Fond «Jesso», 1993. 167 p. (in Russian).
- Doklad «O sostojanii okruzhajushhej sredy v gorode Moskve v 2015 g.» [2015 Report on the State of the Environment in Moscow] M., 2016. 271 p. (in Russian).
- Friedmann J. Where we stand: a decade of world city research // World Cities in a World-System. Cambridge, 1995. P. 21–47.
- Gilliland E. Brownfield Redevelopment: Performance Evaluation; Council for Urban Economic Development: Washington, DC, USA, 1999.
- Gorlov V.N. Moskva v kontekste processa deindustrializacii [Moscow in the context of the deindustrialization process] // Global'nyj gorod: teoriya i real'nost' / Pod red. N.A. Sluki. M.: Avanglion, 2007. P. 198–208 (in Russian).
- Gradostroitel'stvo Moskvy: 90-e gody XX veka [City-planning of Moscow: the 1990-s]. M., 2001. 279 p.
- Hutchison Ray. (ed.) Gentrification and urban change: Research in urban sociology. Wisconsin, Green Bay: JAI press Ltd. 1992. 310 p.
- Koncepcija razvitiya nauchnogo i promyshlennogo potentsiala Moskvy do 2025 g. [Conception of the development of scientific and industrial potential of Moscow till 2025], titul №107/980, GUP NI i PI Genplana g. Moskvy. Moskva, 2008. 104 p. (in Russian).
- Korolenko A.R. Sravnenie mirovogo i rossijskogo opyta reorganizacii territorij [Comparison of foreign and Russian experience in the reorganization of territories] // Regional'nye issledovaniya. 2011. № 2(32). P. 36–43. (in Russian).
- Kuleshova G.I., Sergeev K.I. Ekologizaciya gorodskoj sredy: standarty i napravleniya strukturnyh preobrazovanij. (Greening urban environment: norms and lines of structural re-formation]. In: Social'nye standarty kachestva zhizni v arhitekture, gradostroitel'stve i stroitel'stve: sb. nauchn. tr. RAASN / pod red. A.P. Kudrjavceva [i dr.]: RAASN, FGOU VPO «Gosuniversitet-UNPK», Jugo-Zap. gos. un-t. Moskva–Orel–Kursk, 2011. P. 85–97 (in Russian).
- Ljubovnyj V. Ya., Sdobnov Yu. A. Moskva i stolichnyj region: problemy regulirovaniya social'no-ekonomicheskogo i prostranstvennogo razvitiya. [Moscow city and metropolitan region; problems of regulation of the social-economic and spatial development] M.: Ekoninform, 2011. 401 p. (in Russian).
- Ohrana okruzhajushhej sredy v Rossii [Environment protection in Russia]. 2014 g. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/b14_54/Main.htm (data obrashhenija 16.08.2016) (in Russian).
- Popov A. A. Territorial'naya differenciacija kachestva gorodskoj sredy v Moskve [Territorial differentiation of the quality of urban environment in Moscow] // Vestnik Moskovskogo universiteta. 2007. T. 5. № 4. P. 29–36 (in Russian).
- Reorganizaciya proizvodstvennyh territorij goroda Moskvy: ekonomicheskie, organizacionnye i gradostroitel'nye aspekty [Brownfield redevelopment in Moscow; economic, institutional and town-planning aspects] / Pod red. Buraka P.I., M.: ZAO Izdatel'stvo «Ekonomika», 2005. 399 p. (in Russian).
- Saushkin Ju.G., Glushkova V.G. Moskva sredi gorodov mira. Ekonomiko-geograficheskoe issledovanie. [Moscow among the cities of the world. Economic-geographical study] M.: Mysl', 1983. 285 p. (in Russian).
- Shuka A.E. Politika decentralizacii Bol'shogo Parizha i eyo rezul'taty [Decentralization policy in Big Paris and its results] // VGU. Ser. Geografija. Voronezh, 1961. № 1. 31 p. (in Russian).
- Sokolova E.P. Ekologo-gradostroitel'noe regulirovanie struktury krupnejshih gorodov. [Ecological and town-planning regulation of the structure of large cities] Dis. ... kand. Geogr. n. 2009. 180 p. (in Russian).
- Strategii razvitiya staropromyshlennyh gorodov: mezhdunarodnyj opyt i perspektivy v Rossii [Strategies of brownfield town development; international experience and Russian prospects] / Pod red. I. Starodubrovskoj. M.: Institut Gajdara, 2011. 248 p. (in Russian).
- Targeted area redevelopment. Area-wide improvements for community revitalization. Washington: International Economic Development Council. 2005. 118 p.
- Tishhenko N.F. Ohrana atmosfernogo vozduha. Raschet soderzhaniya vrednyh veshhestv i ih raspredelenie v vozduhe. Spravochnik. M.: Himija, 1991. 368 p. (in Russian).
- Tkachenko L.Ja., Ivashkina I.V. Strategicheskoe planirovanie v regione Il'-de-Frans [Long-term planning in the Isle-de-France region] // Ekonomika megapolisov i regionov. M., 2009. № 5. P. 30–35 (in Russian).
- Vladimirov V.V. Rasselenie i ekologija. [Settlement and ecology] M., 1996. 392 p. (in Russian).

Received 30.08.2016

Accepted 09.02.2017

УДК 504.05, 504.03

А.И. Банчева¹, Н.Н. Алексеева²

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА О. ХОККАЙДО

Предложен алгоритм геоэкологической оценки территории, создана карта современных ландшафтов о. Хоккайдо, разработаны соответствующие тематические разделы базы геоданных, где отражены интенсивность техногенных воздействий (на примере расчетных концентраций диоксида серы в воздухе) и устойчивость к ним ландшафтов, которая оценивалась по климатическим характеристикам, геохимическим особенностям почв, растительному покрову. Результатом оценочных действий стала карта экологической напряженности состояния ландшафтов под влиянием аэротехногенного загрязнения воздуха SO_2 . В случае потенциального увеличения техногенного или природного загрязнения SO_2 соотношение факторов устойчивости и воздействия может быть использовано для прогнозирования геоэкологического состояния о. Хоккайдо.

Ключевые слова: современные ландшафты, аэротехногенное загрязнение, оксиды серы, Хоккайдо, устойчивость ландшафтов к подкислению, геоинформационные технологии, базы геоданных.

Постановка проблемы. Геоэкологическая оценка зарубежных территорий, помимо общенаучных и образовательных целей, представляет определенный интерес и для решения ряда прикладных задач. Учет территориального проявления и напряженности экологических проблем в зарубежных странах важен в связи с потенциальным риском ухудшения состояния окружающей среды и возникновения техногенных катастроф, которые могут приводить к трансграничному переносу загрязнителей на территорию России воздушным, водным и подземным путем, появлению миграционных потоков «экологических беженцев», растущей конкуренции за природные ресурсы.

Методология, разработанная для экологического картографирования России и ее регионов [Оценка качества ..., 1995; Жуков с соавт., 1999; Стурман, 2003; География, общество ..., 2004; Кочуров с соавт., 2009], применима и для зарубежных территорий, но с определенными ограничениями. Прежде всего, представляет сложность получение актуальной информации – статистических и фондовых материалов об условиях поступления загрязняющих веществ в окружающую среду (ОС), фактически измеренном составе и объемах загрязнений (часто с запозданием в несколько лет), результатах мониторинга, биоиндикации и пр., необходимых для интерпретации пространственных данных о состоянии среды. Малочисленность доступных источников информации усугубляется невозможностью проведения полевых и инструментальных наблюдений. Осложняют геоэкологическую оценку проблема выбора операционно-территориальных единиц (ОТЕ)

и иной набор критериев состояния ОС, применяемых за рубежом, далеко не всегда сопоставимых с отечественными. В то же время в этих исследованиях возможно применение материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), доступных статистических данных, в том числе о здоровье населения, методов математического моделирования процессов рассеяния загрязняющих веществ и др. Таким образом, геоэкологическая оценка зарубежных территорий значительно осложняется фрагментарностью данных, а доступная информация, основанная на различных и не всегда сопоставимых шкалах измерения, нуждается в дополнительной интерпретации.

В качестве *объекта* геоэкологической оценки выбран о. Хоккайдо (Япония)³ – самый северный из японских островов и соседствующий с Россией. Как известно, в Японии около 40 лет назад благодаря эффективной экологической политике, в том числе внедрению новых технологических и организационных решений, были решены серьезные экологические проблемы [Иванов с соавт., 1991]. Сейчас ситуация по основным показателям качества окружающей среды стабилизировалась на удовлетворительном уровне, однако существует региональная дифференциация загрязнения воздуха, водных объектов и почв. Отчасти это объясняется возникновением новых проблем на территории самой Японии (например, вследствие аварии на АЭС Фукусима в результате сильнейшего землетрясения и цунами 11.03.2011 г. произошло радиоактивное загрязнение почв, побережья и прибрежных вод в одноименной префектуре) [Hirose, 2016], отчасти – трансграничным пере-

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, доцент, и.о. заведующего кафедрой, канд. геогр. н.; e-mail: nallex01@mail.ru

³ Остров расположен в умеренном поясе с господством бореальных (преимущественно в горах) и суббореальных типов ландшафтов; около 37% занято равнинами и холмистыми территориями, 63% – горами. Население острова – 5,5 млн человек, средняя плотность – 67 чел/км² – меньше, чем в любой другой префектуре Японии. Экономическая специализация связана с пищевой промышленностью, сельским хозяйством, туризмом, нефтепереработкой (г. Идэмицу, г. Синнисэй), теплоэнергетикой (г. Сунагава, г. Сириути), черной металлургией (г. Саппоро, г. Муроран, г. Томакомай), целлюлозно-бумажной промышленностью (г. Сираои, г. Эбецу, г. Асахикава).

носом загрязнителей (например, привносом твердых частиц диаметром менее 2,5 мкм ($PM_{2.5}$)) из Китая в префектуры Фукуока, Сага, Киото, Осака [Shimadera et al., 2009; $PM_{2.5}$...].

Достаточно актуальна для Японии и проблема загрязнения воздушной среды оксидами серы. По данным Сети мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии (EANET), в Японии при невысоком уровне выпадений (28–77 ммоль/м² в год за период наблюдений – 2005–2008 гг.) отмечается значительная разница их распределения по территории, в том числе из-за трансграничного переноса и вулканических извержений [Review ..., 2015]. Отмечается отчетливый тренд увеличения объемов трансграничного поступления серы в атмосферу Японии из Китая. По оценкам японских специалистов, из-за увеличения выбросов оксидов серы в странах Восточной Азии общее количество влажных выпадений серы в Японии за этот период было больше, чем в Северной Америке и Европе [Endo et al., 2011]. Основным источником поступления серы в окружающую среду в самой Японии – предприятия теплоэнергетики, хотя после внедрения эффективных технологий по обессериванию нефти выбросы SO_2 в атмосферу заметно сократились. По данным EANET, антропогенное поступление серы в ландшафты уже сопоставимо с природными источниками [Review ..., 2015]. Так, в 2000 г. в процессе извержения вулкана Ояма на о. Миякедзима группы Идзу ежедневно с вулканическими газами в атмосферу выбрасывалось 42 тыс. т оксидов серы, в результате чего жители были вынуждены покинуть остров. Извержение только этого вулкана дало 30% всех поступлений серы в атмосферу Японии в 2000–2005 гг. [Kuribayashi et al., 2012].

Цель исследования – геоэкологическая оценка о. Хоккайдо на примере одной из проблем – загрязнения диоксидом серы. В задачи входили интеграция имеющихся геопространственных и прочих данных для создания карты современных ландшафтов, разработка алгоритма геоэкологической оценки под воздействием аэротехногенных выбросов оксидов серы от теплоэнергетики и ее проведение для территории о. Хоккайдо.

Материалы и методы исследований. Любое геоэкологическое исследование регионального масштаба базируется на разнородных источниках информации – картах, космических снимках, базах геоданных, статистических материалах, данных мониторинга окружающей среды. Задачам геоэкологического анализа, включая сбор, хранение и обработку пространственной информации, в полной мере отвечают геоинформационные технологии [Лурье с соавт., 2015]. В условиях ограниченного доступа к пространственно определенной информации, важным инструментом геоэкологического анализа зарубежных территорий может стать специализированная тематическая база геоданных с разработкой необходимых атрибутов данных и метаданных объектов по отдельным слоям. На ее основе может быть создана серия электронных карт, включа-

ющая в себя разнообразные тематические разделы, принятые при геоэкологической оценке: от 3–4 [Исаченко, 2003; Стурман, 2003] до 15 [Заиканов с соавт., 2014].

Материалы для проведения геоэкологической оценки Хоккайдо получены из электронных баз данных Статистического бюро Японии, министерств и научных институтов, глобальных баз данных, с официальных сайтов промышленных предприятий. Данные представлены в векторном, растровом, табличном и текстовом форматах на японском или английском языках.

Результаты исследований и их обсуждение.

В изучении территориального проявления геоэкологических проблем первоочередной задачей является выбор операционных территориальных единиц. Здесь существует несколько подходов. Наиболее простой вариант – интерпретация статистических данных по административно-территориальным образованиям. Этот подход имеет как известные недостатки [Стурман, 2003], так и преимущества, поскольку он адекватно отражает проблемы, решение которых зависит от административно контролируемых факторов. Поэтому он может служить мерой оценки эффективности региональной экологической политики. Так, например, проведенная оценка управления отходами на уровне префектур Японии в целом удовлетворительно отразила дифференциацию регионов с точки зрения эффективности политики по утилизации и рециклированию ТБО [Банчева, 2016]. В то же время картограммы, создаваемые для анализа осредненных показателей загрязнения атмосферы, вод, почв и др. по административным единицам, зачастую не учитывают территориальные различия в состоянии окружающей среды как в связи с дифференциацией современных ландшафтов, так и антропогенной нагрузки на городских, сельских или малозаселенных землях.

Второй подход, широко используемый в геоэкологических оценках – ландшафтно-географический или геосистемный, когда в основу исследования кладется ландшафтная структура территории. Геоэкологическая оценка в этом случае включает в себя ряд последовательных этапов: вначале проводится инвентаризация геосистем (или при наличии берется готовая ландшафтная карта), проводится оценка их состояния (антропогенной трансформации, устойчивости или других показателей), дается прогноз развития и разрабатываются необходимые рекомендации [Исаченко, 2003; Заиканов, Минакова, 2008]. В соответствии с задачами и масштабом исследования ОТЕ могут служить ландшафты или единицы физико-географического районирования, так как они отличаются схожим эколого-ресурсным потенциалом, типами хозяйственного освоения и воздействия, близкими условиями депонирования и рассеяния загрязнителей, а также набором и интенсивностью природно-антропогенных процессов.

На наш взгляд, в качестве ОТЕ для задач геоэкологической оценки регионов целесообразно использовать сетку современных ландшафтов, пред-

ставляющих собой мозаику природных (условно-коренных), природно-антропогенных и техногенных геосистем. Границы современных ландшафтов подвижны во времени, они определяются, наряду с природными условиями, целым комплексом факторов, имеющих социально-экономическую сущность. Поэтому при их картографировании в региональных масштабах (от 1:100 000 до 1:2 млн) часто применяются геоданные о земельном покрове и материалы ДЗЗ, хорошо отражающие фактическую дифференциацию ландшафтов в конкретный момент времени. Хозяйственная деятельность приводит к усложнению ландшафтной структуры за счет возникновения новых ландшафтных выделов и границ, далеко не всегда совпадающих с естественными рубежами природных геосистем (на примере агроландшафтов это было доказано О.Н. Трапезниковой [Трапезникова, 2014]), а также разнообразных техногенных систем. Поскольку ландшафтные карты для большинства зарубежных территорий отсутствуют (кроме стран СНГ), геоэкологическую оценку, как правило, приходится начинать с разработки ландшафтной основы и определения ранга геосистем, отвечающего задачам исследования.

Еще один подход, используемый для геоэкологической оценки, предполагает создание непрерывных полей воздействия (состояния) способом изолиний. Изолинейные карты составляются на основе данных о природных условиях территории (метеорологических, гидрологических и др.) и данных мониторинга загрязняющих веществ в соответствующих средах. Вместо материалов мониторинга могут быть использованы результаты расчетов концентраций веществ на основе данных об объемах выбросов и метеорологических характеристиках территории. Возможно картографирование распределения загрязнения как по отдельным веществам, так и по обобщающим индексам загрязнения атмосферы, воды и проч. [Природопользование ..., 2013]. Существует еще целый ряд применяемых ОТЕ (например, регулярная сетка, речные бассейны и др.). Также путем совместного применения методов кластер-анализа и многомерного шкалирования возможно выделение особых геоэкологических объектов районирования [Зибров с соавт., 2010].

После проведения пофакторных и комплексных оценок составляются итоговые карты, интегрирующие полученные оценочные результаты: геоэкологической стабильности состояния геосистем [Заиканов с соавт., 2013] или экологической напряженности [Ивашкина, 2010; Битюкова, 2012]. Итогом геоэкологической оценки в ряде случаев становится оценка эффективности проектных решений развития региона [Заиканов с соавт., 2013].

Таким образом, выбрав ландшафты в качестве ОТЕ, было определено содержание первого тематического раздела базы геоданных Хоккайдо: современные ландшафты. При составлении карты «Современные ландшафты о. Хоккайдо» использовались следующие тематические слои: геологическое строение, типы рельефа, цифровая модель рельефа,

почвы, современная растительность, земельный покров. Последний слой имеет принципиально важное значение для картирования современных ландшафтов, так как интегрирует геоданные об актуальной мозаике растительности естественного и антропогенного происхождения (в том числе, посевах сельскохозяйственных культур и пастбищах), пустошах, застроенных территориях, других техногенных объектах, а также водоемах и водотоках. Слой «земельный покров» отражает объективную картину современного землепользования, поскольку он создается в результате обработки космических снимков разного разрешения на основе измеряемых биофизических свойств поверхности. В работе использовалась база геоданных о земельном покрове Modis Land Cover, с разрешением 30 секунд. В ряде случаев для уточнения контуров привлекались снимки высокого и сверхвысокого пространственного разрешения, размещенные на общедоступных интернет-порталах (GoogleEarth, EOS Data Analytics). Всего на ландшафтной карте о Хоккайдо было выделено 28 родов и 90 типологических групп видов ландшафтов.

Второй и третий разделы базы геоданных посвящены оценке воздействия выбросов диоксида серы теплоэлектростанциями (ТЭС) и устойчивости ландшафтов к нему. Интенсивность воздействия выражается через расчетные концентрации загрязняющих веществ, поступающих в ландшафт от источников, располагающихся в нем и/или поступающих из-за его границ с ветровым переносом, переносом со стоком и пр. В данной работе в качестве источников выбросов анализировались только ТЭС. В 2011 г. в префектуре о-ва Хоккайдо предприятия теплоэнергетики давали 46% выбросов SO_2 (около 12% – пищевая промышленность, 8% – целлюлозно-бумажная, 7% – нефтеперерабатывающая) [Сейфу..., 2017]. Поэтому для количественной оценки негативного техногенного воздействия на основе данных о выбросах семи теплоэлектростанций Хоккайдо построены карты распределения расчетных концентраций SO_2 . В расчетах концентраций и ареалов воздействия, согласно формуле В.В. Петрухина и В.В. Вишенского, учитывались такие климатические характеристики, как высота слоя перемешивания, повторяемость направлений ветра, скорость ветра, а также время присутствия примеси в атмосфере и расстояние до источника [Стурман, 2013]. В качестве исходных использованы срочные данные Национального центра экологического прогнозирования (США) [Saha et al., 2011], так как данных метеорологических наблюдений оказалось недостаточно. Моделирование ареалов расчетных концентраций проводилось для каждой ТЭС, после чего рассчитывался суммарный ареал воздействия и осуществлялось осреднение концентраций по ландшафтам.

Степень потенциальной устойчивости по отношению к конкретному типу воздействия определяется свойствами компонентов самого ландшафта [Казаков, Чижова, 2001]. В нашем случае в соответствии с поставленными задачами оценивались:

1) климатические данные, характеризующие способность атмосферы к самоочищению, на основе которых проводился расчет индекса потенциального риска загрязнения атмосферы (ПРЗА); 2) геохимические особенности почв, по которым определялся показатель эколого-геохимической устойчивости почв (ЭГУ); 3) современная растительность с различной чувствительностью видов к техногенному подкислению (рис. 1). Аналогичный набор компонентов применялся в работе Всемирного банка RAINS-ASIA для оценки чувствительности территории Восточной Азии к кислотным выпадениям (анализировались климатические факторы; геохимические особенности почв; типы растительного покрова и землепользования) [Downing et al., 1997].

Для расчетов ПРЗА использована методика [Pykh, Malkina-Pykh, 2011], наиболее подходящая для региональных масштабов. В качестве исходных анализировались данные 157 метеостанций, равномерно размещенных на территории Хоккайдо. Рассчитывались январские, июльские и среднегодовой показатели; временной ряд данных – 30 лет (1986–2015 гг.). Зимой наименьший потенциал загрязнения свойственен ландшафтам западной части Хоккайдо (равнины Румой и Исикари, нагорье Сирибеси, полуостров Осима) и равнине Консен на крайнем востоке острова. В летний период наибольший потенциал самоочищения характерен для восточной части острова. Такая ситуация, вероятно, во многом объясняется годовым распределением осадков.

Устойчивость почв к техногенному подкислению оценивалась по методике М.А. Глазовской [1997]. Для этого проведено сравнение общей противокислотной буферности почв (которая формируется, исходя из мощности органического и гумусового горизонтов и суммы обменных оснований в них, а также содержания обменного натрия, глубины присутствия карбонатов и окислительно-восстановительных условий) и кислотной сенсорности почв (выражается через кислотно-щелочные условия и содержание аморфных оксидов). Расчеты проводились для ареалов, представленных сочетаниями реферативных почвенных групп, геопространственные данные для которых свободно предоставляются Международным центром по почвенным исследованиям и информации [Batjes, 2015]. Результаты оценки свидетельствуют, что наибольшей эколого-геохимической устойчивостью к подкислению на о. Хоккайдо обладают глейсоли в сочетании с флювисолями и гистосолями, а также камбисолями. Наиболее устойчивые ландшафты по этому показателю – низкие аллювиально-морские равнины в низовьях рек Исикари, Кусиро, Юбецу, Тесио. Минимальная устойчивость характерная для районов распространения подзолувисолей и лептосолей на склонах гор Тайсецу и Хидака.



Рис. 1. Алгоритм оценки геоэкологического состояния ландшафтов при аэротехногенном загрязнении оксидами серы

Fig. 1. Algorithm of the geoecological assessment of landscapes with regard to SO_x air pollution

С учетом того, что Хоккайдо на 71% покрыт лесами [Forestry Agency ..., 2014], оценка устойчивости растительности к аэротехногенному подкислению основывалась на дифференциации типов леса. Поскольку хвойные леса более чувствительны к выбросам диоксида серы, чем широколиственные [Дончева, 1992; Sicard et al., 2016], в расчетах устойчивости ландшафта введены коэффициенты, отражающие породный состав лесов и занимаемые ими площади в ландшафтах. Наибольшей устойчивостью к подкислению по данному показателю характеризуются ландшафты п-ова Осима и Сякотан, нагорья Сирибеси с широколиственными и смешанными лесами, а также равнины Румой и северной части равнины Абасири с преобладанием смешанных лесов.

Завершающим этапом в оценке устойчивости является пересчет полученных данных покомпонентных оценок в границах ландшафтов (с помощью инструментария программы ArcGIS), нормирование значений (методом линейного масштабирования) и суммирование.

Итогом оценочных действий стала результирующая карта, отражающая экологическую напряженность (ЭН) ландшафтов под влиянием аэротехногенного загрязнения воздуха оксидами серы от ТЭС (рис. 2). Экологическая напряженность – комплексная характеристика, которая рассчитывается как сумма нормированных показателей антропогенного воздействия и устойчивости среды [Битюкова, 2012].

Максимальный уровень ЭН (1,36 баллов) наблюдается в пределах древнеаллювиально-древнеморских равнин долины р. Исикари с кленово-буковыми лесами на андосолях (№ 5.25 на рис. 2), хотя максимальная концентрация в воздухе SO_2 отмечается в другом ландшафте. По-видимому, наиболее неблагоприятную экологическую обстановку формирует определенное сочетание уровней воздействия и устойчивости в ландшафте, а не каждый из факторов отдельно. Высокая ЭН отмечена также в сельскохозяйственных модификациях ландшафтов долины р. Исикари (№ 3.40); в ландшафтах предгорий Юбери, занятых лесными плантациями (№ 17.34).

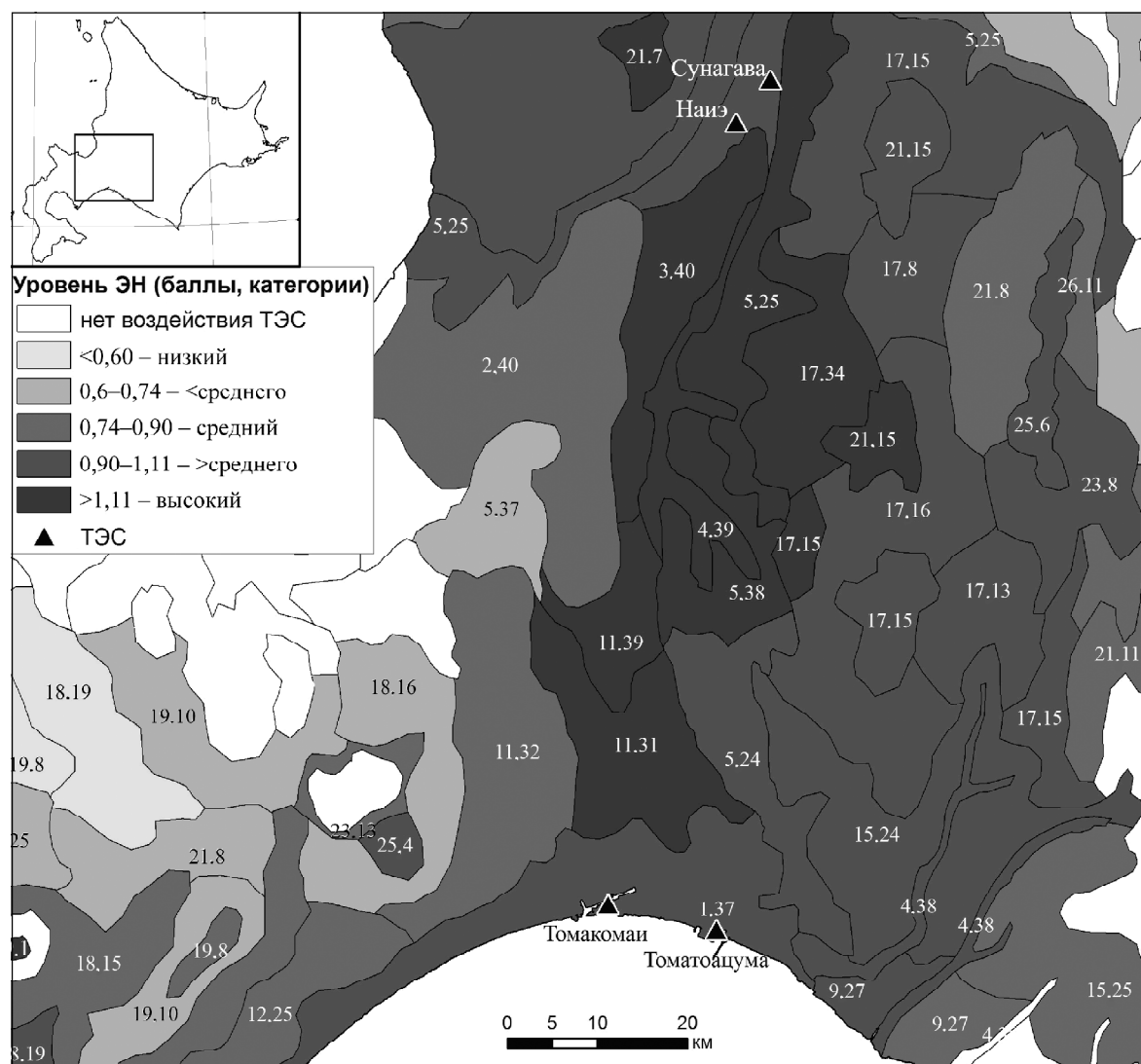


Рис. 2. Экологическая напряженность (ЭН) в ландшафтах о. Хоккайдо в зоне воздействия ТЭС, 2015 г. (цифрами обозначены номера современных ландшафтов, расшифровка выборочно дана в тексте)

Fig. 2. Index of Ecological stress in Hokkaido landscapes under the impact of thermal power plants (numerals indicate present-day landscapes, see details in the text)

В настоящее время расчетные концентрации диоксида серы в воздухе в ландшафтах Хоккайдо, формирующиеся в результате выбросов ТЭС, не превышают значения предельно допустимых концентраций и не создают потенциальную угрозу здоровью населения. В то же время в случае потенциального увеличения аэротехногенного или природного загрязнения SO_2 соотношение факторов устойчивости и воздействия может использоваться для прогнозирования геоэкологического состояния о. Хоккайдо. Так, ландшафты, имеющие относительно низкую устойчивость, могут иметь достаточно высокий уровень экологической напряженности при усилении такого воздействия, что необходимо учитывать при разработке превентивных мероприятий в области окружающей среды.

Выводы:

– для составления интегральной геоэкологической карты необходимо сведение покомпонентной информации, которую можно представить как на единой основе (в ландшафтных контурах, в грани-

цах систем природопользования или типов земельного покрова), так и в виде геоэкологических объектов районирования, выделенных на основе многомерной классификации. В качестве основы для геоэкологической оценки территорий в региональных масштабах в наибольшей степени подходят карты современных ландшафтов;

– основным инструментом геоэкологического анализа зарубежных территорий является региональная тематическая база геоданных. Ее разделы создаются в результате аналитической обработки пространственно определенных данных на основе разных алгоритмов. Они отражают основные этапы геоэкологической оценки в зависимости от задач исследования (проекта). Создаваемые тематические слои основаны на покомпонентных и интегральных (расчетных) атрибутивных данных, на основе которых проводится комплексная геоэкологическая оценка территории;

– для геоэкологической оценки состояния ландшафтов необходимо соотнесение интенсивности воз-

действий с устойчивостью ландшафтов по отношению к ним; возможно также определение ведущего фактора дифференциации экологической напряженности: высокого уровня техногенного воздействия или низкого порога устойчивости геосистемы;

– осреднение геоэкологических параметров по ландшафтам позволяет адекватно оценить состояние окружающей среды по отношению к тому или иному типу воздействия. В то же время полученные оценки в значительной степени условны, так как

они находятся в зависимости от сетки ландшафтно-районирования;

– при наличии соответствующих геоданных инструментарий ГИС позволяет проводить ретроспективный анализ, а также прогнозировать развитие экологической ситуации в соответствии с разными сценариями. Сопоставление карт геоэкологического содержания, отражающих фактическую и смоделированную ситуации, дает основание для принятия оптимальных решений в региональном развитии.

Благодарности. Работа выполнена в рамках Госзадания кафедры физической географии мира и геоэкологии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Банчева А.И. Об опыте Японии в управлении отходами // Экология урбанизированных территорий. 2016. № 2. С. 61–69.
- Битюкова В.Р. Социально-экологические проблемы развития городов России. Изд. 3-е. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. 448 с.
- Геоэкологическое состояние ландшафтов суши // География, общество, окружающая среда. Т. 2. Функционирование и современное состояние ландшафтов. Ч. 2. М.: Издательский дом «Городец», 2004. С. 299–476.
- Глазовская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 107 с.
- Дончева А.В., Казаков Л.К., Калущков В.Н. Ландшафтная индикация загрязнения природной среды. М.: Экология, 1992. 256 с.
- Жуков В.Т., Новаковский Б.А., Чуmachenко А.Н. Комплексное геоэкологическое картографирование. М.: Научный мир, 1999. 128 с.
- Заианов В.Г., Минакова Т.Б. Методические основы комплексной геоэкологической оценки территории. М.: Наука, 2008. 81 с.
- Заианов В.Г., Минакова Т.Б., Булдакова Е.В. Подходы к геоэкологическому картографированию регионов // Геоэкология. 2013. № 6. С. 560–572.
- Зибров Г.В., Умывакин В.М., Похмелкин А.В. Геоинформационно-аналитические технологии визуализации геоэкологической оценки территорий // Инновации в геоэкологии: теория, практика, образование. Мат-лы Всерос. науч. конф. М.: Географ. ф-т МГУ, 2010. С. 178–182.
- Иванов О.В., Мельник Л.Г., Шепеленко А.Н. В борьбе с драконом «Когай». Опыт природопользования Японии. М.: Мысль, 1991.
- Ивашкина И.В. Геоэкологические основы территориального планирования города Москвы. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. М., 2010.
- Исаченко А.Г. Введение в экологическую географию. Уч. пособ. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2003. 192 с.
- Казаков Л.К., Чижова В.П. Инженерная география. Уч. пособ. М.: Лэндрос, 2001. 268 с.
- Кочуров Б.И., Шишкина Д.Ю., Антипова А.В., Костовская С.К. Геоэкологическое картографирование. Уч. пособ. М.: Изд. центр «Академия», 2009. 192 с.
- Лурье И.К., Балдина Е.А., Прасолова А.И., Прохорова Е.А., Семин В.Н., Чистов С.В. Серия карт эколого-географической оценки земельных ресурсов территории Новой Москвы // Вестник МГУ. Серия геогр. 2015. № 1. С. 49–58.
- Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование / Под ред. Н.Ф. Глазовского. М.: ИГРАН, 1995. 213 с.
- Природопользование и геоэкология Удмуртии / Под ред. В.И. Стурман. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2013. 384 с.
- Стурман В.И. Географический анализ природопользования: методика и результаты (на примере Удмуртии и Пермского края) // Инновации в геоэкологии: теория, практика, образование. Мат-лы Всерос. науч. конф. М.: Географ. ф-т МГУ, 2010. С. 113–117.
- Стурман В.И. Экологическое картографирование. Уч. пособ. М.: Аспект Пресс, 2003. 251 с.
- Трапезникова О.Н. Геоэкологическая концепция агроландшафта // Изв. РГО. 2014. Вып. 1. С. 73–85.
- Batjes N.H. World soil property estimates for broad-scale modelling (WISE30sec, ver. 1.0). Report 2015/1, ISRIC. World Soil Information. Wageningen, 2015. 57 p.
- Downing R., Ramankutty R., Shah J. RAINS-ASIA. An Assessment Model for Acid Deposition in Asia. The World Bank, 1997. 67 p.
- Endo T., Yagoh H., Sato K., Matsuda K., Hayashi K., Noguchi I., Sawada K. Regional characteristics of dry deposition of sulfur and nitrogen compounds at EANET sites in Japan from 2003 to 2008 // Atmospheric Environment. 2011. V. 45(6). P. 1259–1267.
- Forestry Agency of Japan. URL: <http://www.rinya.maff.go.jp/> (Дата обращения: 23.01.2017)
- Hirose K. Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years // J. Environmental Radioactivity. June 2016. V. 157. P. 113–130.
- Kuribayashi M., Ohara T., Morino Y. et al. Long-term trends of sulfur deposition in East Asia during 1981–2005 // Atmospheric Environment. 2012. V. 59. P. 461–475.
- Pykh Y., Malkina-Pykh I. Assessing air pollution risk potential: case study of the Tohoku district, Japan // WIT Transactions on Ecology and the Environment. 2011. V. 147.
- Review on the State of Air Pollution in East Asia. Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET). February 2015. 411 p.
- Saha S. et al. NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) 6-hourly Products. National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Lab. 2011. URL: <http://dx.doi.org/10.5065/D61C1TXF> (Дата обращения: 23.01.2017).
- Shimadera H., Kondo A., Kaga A., Shrestha K.L., Inoue Y. Contribution of transboundary air pollution to ionic concentrations in fog in the Kinki Region of Japan // Atmospheric Environment. 2009. V. 43(37). P. 5894–5907.
- Sicard P. et al. Global topics and novel approaches in the study of air pollution, climate change and forest ecosystems // Environment pollution. 2016. № 213. P. 977–987.
- PM 2.5 ко:са дэ хирай дзо:ка (Рост числа привносимых частиц PM 2.5). URL: <https://yomidr.yomiuri.co.jp/article/20130318-OUYEW51900/> (Дата обращения 23.01.2017).
- Сэйфу то:кэй но со:го мадогути. Тайки осэн буссицу хайсю:чуре: со:го: те:са (Официальный портал государственной статистики Японии. Данные о выбросах загрязняющих веществ в атмосферу). URL: <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001048694&cycode=0> (Дата обращения 23.01.2017).

Поступила в редакцию 17.02.2017
Принята к публикации 31.03.2017

A.I. Bancheva¹, N.N. Alekseeva²

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF HOKKAIDO ISLAND

Different approaches to geoecological studies are discussed, including the choice of suitable operational spatial units, as well as the lack of statistical and monitoring data for geoecological assessment (if the overseas territories are under study). Present-day landscapes are considered to be the most appropriate basis for assessing the state of the environment. Integration of existing geospatial data made it possible to compile the landscape map of Hokkaido (Japan). The elaborated algorithm of geo-ecological assessment included the development of corresponding sections and layers of thematic geo-database. As the result, the integrated index of Ecological stress was calculated for Hokkaido. The index integrates the indicators of both the anthropogenic load and the landscape sustainability. The anthropogenic load is calculated as SO₂ air concentrations from the thermal power plants emissions; the landscape sustainability is expressed through climatic, geochemical and vegetation characteristics with the focus on its sensitiveness to acid emissions (SO₂). Mapping of the Ecological stress index for the landscapes of Hokkaido may be helpful to predict the state of the environment under the increased load of sulfur dioxide emissions due to natural or technogenic impact.

Key words: present-day landscapes, aerotechnogenic pollution, sulfur oxides, landscape resilience to acidification, GIS-technologies, geo-databases, the Hokkaido Island.

Acknowledgements. The study was undertaken under the state-ordered research theme of the Department of World Physical Geography and Geoecology.

REFERENCES

- Bancheva A.I.* Ob opyte Yaponii v upravlenii othodami [The Japanese experience in waste management] // *Ekologiya urbanizirovannyh territorij*. 2016. № 2. S. 61–69 (in Russian).
- Batjes N.H.* World soil property estimates for broad-scale modelling (WISE30sec, ver. 1.0). Report 2015/1, ISRIC. World Soil Information. Wageningen, 2015. 57 p.
- Bityukova V.R.* Social'no-ekologicheskie problemy razvitiya gorodov Rossii. [Social-economic problems of Russia's cities progress] Izd. 3-e. M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2012. 448 s. (in Russian).
- Doncheva A.V., Kazakov L.K., Kaluckov V.N.* Landshaftnaya indikaciya zagryazneniya prirodnoj sredy. [Landscape indication of environment pollution] M.: Ekologiya, 1992. 256 s. (in Russian).
- Downing R., Ramankutty R., Shah J.* RAINS-ASIA. An Assessment Model for Acid Deposition in Asia. The World Bank, 1997. 67 p.
- Endo T., Yagoh H., Sato K., Matsuda K., Hayashi K., Noguchi I., Sawada K.* Regional characteristics of dry deposition of sulfur and nitrogen compounds at EANET sites in Japan from 2003 to 2008 // *Atmospheric Environment*. 2011. V. 45(6). P. 1259–1267.
- Forestry Agency of Japan. URL: <http://www.rinya.maff.go.jp/> (Accessed: 23.01.2017).
- Glazovskaya M.A.* Metodologicheskie osnovy ocenki ekologo-geohimicheskoy ustojchivosti pochv k tehnogennym vozdeystviyam. [Methodological bases of the evaluation of ecological-geochemical resistance of soils to technogenic impacts] M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1997. 107 s. (in Russian).
- Hirose K.* Fukushima Daiichi Nuclear Plant accident: Atmospheric and oceanic impacts over the five years // *J. Environmental Radioactivity*. June 2016. V. 157. P. 113–130.
- Isachenko A.G.* Vvedenie v ekologicheskuyu geografiyu. [Introduction to the environmental geography] Uch. posob. SPb.: Izd-vo S.-Pb. un-ta, 2003. 192 s. (in Russian).
- Ivanov O.V., Mel'nik L.G., Shepelenko A.N.* V bor'be s drakonom «Kogaj». Opyt prirodopol'zovaniya Japonii. [Fighting the Kogai dragon. Experience of nature management in Japan] M.: Mysl', 1991 (in Russian).
- Ivashkina I.V.* Geoekologicheskie osnovy territorial'nogo planirovaniya goroda Moskvy. [Geoecological bases of spatial planning in the Moscow city] Avtoref. dis. ... kand. geogr. n. M., 2010 (in Russian).
- Kazakov L.K., Chizhova V.P.* Inzhenernaya geografiya. [Engineering geography] Uch. posob. M.: Ljendros, 2001. 268 s. (in Russian).
- Kochurov B.I., Shishkina D.Ju., Antipova A.V., Kostovska S.K.* Geoekologicheskoe kartografirovanie. [Geoecological mapping] Uch. posob. M.: Izd. centr «Akademija», 2009. 192 s. (in Russian).
- Kuribayashi M., Ohara T., Morino Y.* et al. Long-term trends of sulfur deposition in East Asia during 1981–2005 // *Atmospheric Environment*. 2012. V. 59. P. 461–475.
- Lur'e I.K., Baldina E.A., Prasolova A.I., Prohorova E.A., Semin V.N., Chistov S.V.* Seriya kart ekologo-geograficheskoy ocenki zemel'nyh resursov territorii Novoj Moskvy [A series of maps of the ecological-geographical assessment of land resources within the New Moscow territory] // *Vestnik MGU. Seriya geogr.* 2015. № 1. S. 49–58 (in Russian).
- Ocenka kachestva okruzhajushchej sredy i ekologicheskoe kartografirovanie [Evaluation of environment quality and ecological mapping] / Pod red. N.F. Glazovskogo. M.: IGRAN, 1995. 213 s.
- Prirodopol'zovanie i geoekologiya Udmurtii [Nature management and geoecology of Udmurtiya] / Pod red. V.I. Sturman. Izhevsk: Izd-vo «Udmurtskij universitet», 2013. 384 s. (in Russian).
- Pykh Y., Malkina-Pykh I.* Assessing air pollution risk potential: case study of the Tohoku district, Japan // *WIT Transactions on Ecology and the Environment*. 2011. V. 147.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of World Physical Geography and Geoecology, Engineer; e-mail: ban-sai@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of World Physical Geography and Geoecology, Associate Professor, PhD. in Geography; e-mail: nalex01@mail.ru

Review on the State of Air Pollution in East Asia. Acid Deposition Monitoring Network in East Asia (EANET). February 2015. 411 p.

Saha S. et al. NCEP Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) 6-hourly Products. National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Lab. 2011. URL: <http://dx.doi.org/10.5065/D61C1TXF> (Accessed: 23.01.2017).

Shimadera H., Kondo A., Kaga A., Shrestha K.L., Inoue Y. Contribution of transboundary air pollution to ionic concentrations in fog in the Kinki Region of Japan // *Atmospheric Environment*. 2009. V. 43(37). P. 5894–5907.

Sicard P. et al. Global topics and novel approaches in the study of air pollution, climate change and forest ecosystems // *Environment pollution*. 2016. № 213. P. 977–987.

Sturman V.I. *Ekologicheskoe kartografirovanie*. [Ecological mapping] Uch. posob. M.: Aspekt Press, 2003. 251 s. (in Russian).

Sturman V.I. Geograficheskij analiz prirodopol'zovaniya: metodika i rezul'taty (na primere Udmurtii i Permskogo kraja) [Geographical analysis of nature management; methods and results (case study of Udmurtiya and Perm Krai)] // *Innovacii v geoekologii: teoriya, praktika, obrazovanie*. Mat-ly Vseros. nauch. konf. M.: Geograf. f-t MGU, 2010. S. 113–117 (in Russian).

Trapeznikova O.N. Geoekologicheskaya koncepciya agrolandshafta [Geoecological concept of agrolandscape] // *Izv. RGO*. 2014. Vyp. 1. S. 73–85 (in Russian).

Zaikanov V.G., Minakova T.B. *Metodicheskie osnovy kompleksnoj geoekologicheskoy ocenki territorii*. [Methodical bases of the integrated geoecological assessment of territories] M.: Nauka, 2008. 81 s. (in Russian).

Zaikanov V.G., Minakova T.B., Buldakova E.V. Podhody k geoekologicheskomu kartografirovaniyu regionov [Approaches to the regional geoecological mapping] // *Geoekologiya*. 2013. № 6. S. 560–572 (in Russian).

Zhukov V.T., Novakovskij B.A., Chumachenko A.N. *Kompleksnoe geoekologicheskoe kartografirovanie*. [Synthetic geoecological mapping] M.: Nauchnyj mir, 1999. 128 s. (in Russian).

Zibrov G.V., Umyvakin V.M., Pohmelkin A.V. *Geoinformacionno-analiticheskie tehnologii vizualizacii geoekologicheskoy ocenki territorij* [Geoinformational-analytical techniques for visualization of the geoecological assessment of territories] // *Innovacii v geoekologii: teoriya, praktika, obrazovanie*. Mat-ly Vseros. nauch. konf., M.: Geograf. f-t MGU, 2010. S. 178–182 (in Russian).

PM 2.5 ko:sa de hirai zo:ka. URL: <https://yomidr.yomiuri.co.jp/article/20130318-OYTEW51900/> (Accessed 23.01.2017).

Seifu to:kei no so:go madoguchi. Taiki osen busshitsu haishitsuryo: so:go cho:sa. URL: <http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?bid=000001048694&cycode=0> (Accessed 23.01.2017).

Received 17.02.2017

Accepted 31.03.2017

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 004.942; 551.43:004.9

С.М. Кошель¹, А.Л. Энтин²

ВЫЧИСЛЕНИЕ ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРА ПО ЦИФРОВЫМ МОДЕЛЯМ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ ЛИНИЙ ТОКА

Гидрологический анализ рельефа на основе цифровых моделей – важная область морфометрического анализа рельефа средствами ГИС. Такие параметры, как площадь водосбора и объем стока, активно применяются в географических исследованиях (напрямую или опосредованно). Их вычисление опирается на процедуру определения направления и пропорции перемещения водных масс по регулярной сетке цифровых моделей рельефа (ЦМР). К настоящему времени разработано достаточно большое количество алгоритмов, реализующих разные подходы к этой процедуре, и их применение приводит к различающимся (иногда на несколько порядков) результатам расчета площади водосбора. Все эти алгоритмы реализуют концепцию дискретного стока «из ячейки в ячейку», что, во-первых, не вполне соответствует реальному перемещению водных масс по поверхности, и, во-вторых, затрудняет верификацию результатов расчета: ячейки регулярной сетки не всегда можно однозначно соотнести с элементами и формами рельефа.

Предлагается принципиально другой подход к расчету площади водосбора и объема стока, основанный на построении линий тока на непрерывной поверхности, восстановленной методом интерполяции по значениям высот в дискретных узлах регулярной сетки ЦМР.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа (ЦМР), геоинформационная система (ГИС), алгоритм, гидрологический анализ рельефа, площадь водосбора, объем стока, построение линий тока.

Введение. Площадь водосбора и объем поверхностного стока – морфометрические показатели, рассчитываемые по цифровым моделям рельефа (ЦМР), – широко используются в геоинформационном анализе местности. Их принято относить к блоку гидрологических параметров, где они являются одними из базовых понятий. На их основе, например, может быть построена сеть потенциальных водотоков; или выполнен расчет различных производных показателей (таких, как компоненты универсального уравнения смыва почв – USLE), необходимых для оценки и моделирования процесса эрозии почв.

В современных программных средствах ГИС вычисление площади водосбора и объема стока опирается на расчет направлений поверхностного стока на основе сеточной ЦМР, трактуемой в качестве матрицы квадратных (реже прямоугольных) ячеек с заданной высотой. Моделируемая водная масса перемещается из ячейки с большей высотой в соседнюю ячейку с меньшей высотой. Направления стока для данной ячейки указывают, куда и каким образом происходит перемещение. Возможны следующие варианты: перемещение потока из ячейки строго в одну соседнюю ячейку или распределение потока между несколькими соседними ячейками в некоторой пропорции. К настоящему времени предложено и реализовано множество алгоритмов расчета направлений стока, реализующих различные

варианты и пропорции распределения потока между соседними ячейками.

Площади водосбора и объемы стока, рассчитанные на базе различных алгоритмов, могут отличаться на несколько порядков. При этом до сих пор не предложено надежного способа оценки достоверности расчета направлений стока и пропорций распределения потока на реальных поверхностях. Соответственно, нет возможности выбрать среди «сеточных» алгоритмов расчета направлений стока такой алгоритм, который дает наиболее достоверный результат.

Возможным способом решения описанной проблемы может являться изменение концепции расчета показателей таким образом, чтобы перемещение потоков не было привязано к регулярной сетке. В настоящей работе представлен алгоритм расчета базовых гидрологических параметров, основанный на построении линий тока на непрерывной поверхности. Сама поверхность при этом восстанавливается путем интерполяции по значениям высот в дискретных узлах регулярной сетки ЦМР.

Материалы и методы исследований. Площадь водосбора (англ. *Catchment Area*, *Contributing Area*) – морфометрический показатель, выражающий общую площадь (в плане) территории, с которой осуществляется потенциальный сток в данную ячейку регулярной сетки. Этот показатель отража-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, вед. науч. сотр., канд. геогр. наук; *e-mail*: skoshel@geogr.msu.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, аспирант; *e-mail*: andrei.entin.worknstudy@gmail.com

ет только геометрические формы (свойства) поверхности рельефа. Процедуры расчета площади водосбора входят в блоки гидрологического анализа рельефа практически всех программных средств ГИС. Значение показателя вычисляется для каждой ячейки сетки цифровой модели рельефа. В итоге получается матрица значений, аналогичная матрице высот исходной ЦМР. Используя рекурсивный подход, идею расчета этого показателя можно выразить так: площадь водосбора ячейки (i, j) равна сумме площадей водосбора соседних ячеек, из которых осуществляется сток в (i, j), площади всех ячеек при этом считаются равными. Площадь самой ячейки (i, j) может включаться или не включаться в рассчитываемую площадь водосбора – в модулях анализа рельефа современных ГИС реализованы оба варианта. Для ячеек, находящихся на водораздельных позициях или локальных максимумах, площадь водосбора равна площади ячейки (или нулю), по мере понижения высот значения этой величины быстро растут и в тальвегах достигают уже порядка 10^4 – 10^5 площади одной ячейки ЦМР. Максимальное значение в пределах модели зависит от особенностей строения речной сети и может превышать значения в вершинах тальвегов еще на несколько порядков.

Объем стока (англ. *Flow Accumulation*) рассчитывается по аналогичной схеме. Разница заключается в том, что исходное значение рассчитываемой величины в каждой ячейке представляет не ее площадь, а слой стока (количество осадков, участвующее в формировании поверхностного стока). Это исходное значение может быть различным для разных ячеек и подается на вход алгоритмам расчета показателя в виде матрицы той же размерности, что и матрица высот.

На практике «истинные», то есть соответствующие определению, значения показателя получают только для ячеек внутри водосборных бассейнов, целиком входящих в экстенд ЦМР. Для остальных ячеек значения получаются заниженными, из-за отсутствия в ЦМР части водосборного бассейна, территория которого могла бы внести свой вклад в значение рассчитываемого показателя.

Практически все разработанные к настоящему времени алгоритмы используют для расчета площади водосбора (или объема стока) приведенную выше схему. Различия заключаются в том, какие ячейки считаются соседними и какая процедура расчета направлений стока используется для распределения воды из текущей ячейки в соседние.

Существующие алгоритмы расчета направлений стока. Алгоритм *Deterministic Eight-Neighbor (D8)* был впервые применен в ГИС-анализе в середине 80-х годов [O'Callaghan, Mark, 1984]. Поток из рассматриваемой ячейки целиком направляется в ту из восьми соседних, которая имеет, во-первых, меньшую высоту и, во-вторых, наибольший уклон линии, соединяющей центр текущей ячейки с центром соседней. Такой подход (с переносом потока только в одну из восьми соседних ячеек) позволяет построить сеть ячеек, связанных между

собой потоками воды (в работе [O'Callaghan, Mark, 1984] эта сеть называется *drainage graph*; в более поздних работах встречаются другие варианты, например *flow network*), и далее выделить сеть потенциальных водотоков. Алгоритм D8 наиболее прост в реализации, и в силу этого присутствует во всех программных средствах ГИС, имеющих модули гидрологического анализа рельефа. Однако он имеет ряд недостатков. Один из них связан с неопределенностью, возникающей в ситуациях, когда максимальный уклон соответствует более чем одной соседней ячейке. Существует модификация алгоритма D8, позволяющая кодировать такие ситуации и затем выбирать единственное направление на основе специальной перекодировочной таблицы [Greenlee, 1987]. Другим недостатком является распределение потоков строго под углами, кратными 45° , что приводит к формированию нереалистичной сети потоков, особенно на достаточно ровных наклонных поверхностях.

Алгоритм *Random Eight-Neighbor (r8, Rho8)* был создан как попытка решить описанную выше проблему нереалистичной сети потока, которая возникает при использовании алгоритма D8 [Fairfield, Leymarie, 1991]. По замыслу разработчиков, если реальное направление стока поверхности имеет азимут, например, 30° , то можно распределить поток таким образом, чтобы сток части ячеек был направлен на северо-запад (азимут 45°), а часть – на север (азимут 0°). Алгоритм r8 вычисляет уклоны между соседними ячейками таким же образом, как и D8, но затем величины этих уклонов корректируются – умножаются на некоторую случайную величину, разную для различных ячеек. Наибольшие значения скорректированных уклонов в большинстве случаев будут соответствовать направлению наибольшего уклона, как и в D8; в тех же случаях, когда результат будет отличаться, и происходит устранение нежелательного эффекта «дискретности». Однако, поскольку в расчете участвуют случайные величины, обработка одной и той же ЦМР по алгоритму r8 может приводить к разным результатам в зависимости от используемого датчика случайных чисел. В настоящее время этот алгоритм реализован только в SAGA GIS.

Алгоритмы D8 и r8 направляют поток из ячейки строго в одну из восьми соседних ячеек. Более сложные алгоритмы могут распределять поток между несколькими соседними ячейками. *Deterministic Infinity (D ∞)* также рассчитывает для ячейки единственное значение азимута направления стока, но, в отличие от предыдущих вариантов, это направление не ограничено условием кратности 45° [Tarboton, 1997]. Для расчета азимута направления стока рассматриваются не пары «центральная ячейка – соседняя ячейка», а треугольники, образованные центральной ячейкой и двумя ее соседями (которые, в свою очередь, являются соседями друг друга). Всего рассматривается восемь таких треугольников; каждому треугольнику соответствует единственная наклонная плоскость. Для каждой из этих восьми

плоскостей вычисляется вектор, противоположный градиенту, с началом в середине центральной ячейки. В качестве направления стока выбирается направление того из построенных векторов, который имеет наибольшую длину и при этом находится в пределах угла, образованного сторонами соответствующего треугольника.

Метод Ли (Lea's method; известен также под названиями *Kinematic Routing Algorithm* или способ «катящегося шарика») представляет поверхность ячейки как наклонную плоскость, положение которой определяется с учетом высот соседних ячеек [Lea, 1992]. Этой плоскости соответствует определенное направление вектора градиента. Азимут противоположного направления выбирается в качестве направления стока в данной ячейке. В алгоритме предполагается, что поток начинается из центра произвольной ячейки, далее течет по азимуту, рассчитанному для этой ячейки, до ее границы. Переходя границу, поток попадает в новую ячейку и поворачивает так, чтобы соответствовать новому азимуту. Движение элементарной водной массы, таким образом, уподобляется шарiku, катящемуся по поверхности ЦМР. Суммирование всех потоков, проходящих через некоторую ячейку, позволяет вычислить площадь водосбора или объем стока для этой ячейки.

На основе метода Ли (KRA) был разработан алгоритм *DEMON* [Costa-Cabral, Burges, 1994]. Направления в нем рассчитываются так же, как в алгоритме KRA, разница же заключается в интерпретации потока. В алгоритме KRA водная масса считается сконцентрированной в центре ячейки и перемещающейся далее как единое целое («катящийся шарик»), *DEMON* использует введенное авторами понятие «полоса потока» (flow tube). Эта полоса ограничена двумя линиями тока, и характеристики рассчитываются на основе ее ширины.

Группа алгоритмов, распределяющих поток из ячейки между всеми соседними нижележащими ячейками, носит название *Multiple Flow Direction* (MFD). Различия между этими алгоритмами заключаются в способах вычисления пропорций распределения потока между соседними ячейками. В наиболее ранних вариантах такого подхода [Freeman, 1991; Quinn et al., 1991] доля потока, приходящегося на данного соседа, определяется формулой, содержащей эмпирические константы. В более поздних работах [Seibert, McGlynn, 2007; Qin et al., 2007] предлагаются специальные процедуры для расчета пропорции, в которых может учитываться даже кривизна поверхности. В целом алгоритмы группы MFD позволяют распределять потоки более достоверно, жертвуя при этом возможностью строить связную сеть ячеек.

Более подробно, с графическими иллюстрациями и указанием формул, изложенные выше алгоритмы рассматриваются в обзорной статье [Кошель, Энтин, 2016]. Там же можно ознакомиться с методами, применяемыми для предварительной обработки ЦМР с целью устранения локальных понижений

и других возможных препятствий корректной работе алгоритмов гидрологического анализа рельефа.

Помимо разных алгоритмов расчета направленного стока, применяются также разные подходы при вычислении собственно площади водосбора или объема стока. Эти подходы отличаются порядком просмотра и обработки ячеек модели. При просмотре «сверху вниз» (*Top-Down Processing*) ячейки сортируются по убыванию высоты и обрабатываются по очереди от самой высокой к самой низкой; взаимное расположение ячеек не учитывается. Такой способ может комбинироваться с любыми алгоритмами расчета направлений стока, кроме KRA и алгоритма *DEMON*. Другой вариант – рекурсивная обработка ячеек «от устья к истоку» [Olaya, 2004; Jasiewicz, Metz, 2011]: ячейки просматриваются в порядке возрастания высоты, для каждой нижележащей ячейки в просмотр включаются все вышележащие, вплоть до водоразделов или максимумов (то есть до ячеек, для которых не существует соседей с большей высотой). Присвоение значений производится рекурсивно в процессе просмотра. Для KRA и алгоритма *DEMON* применяется специальный способ «трассировки потока» (*Flow Tracing*). Обработка начинается с произвольной ячейки, от нее строится линия тока (для алгоритма Ли) или ложе потока (*DEMON*) вниз по склону до границы ЦМР. В процессе построения производится изменение значений всех ячеек, по которым проходит линия тока. Одна и та же ячейка, если через нее проходят несколько линий тока, обрабатывается несколько раз. Построение линий тока и вычисление площади водосбора осуществляется параллельно.

Различные реализации алгоритмов расчета площади водосбора (разный порядок просмотра ячеек), применяемые с одними и теми же алгоритмами расчета направлений стока генерируют одинаковые результаты. Однако распределения показателей, рассчитанных по одной и той же модели, но с применением разных алгоритмов расчета направлений стока, могут различаться очень значительно. Вопрос о большей или меньшей достоверности получаемой с помощью различных алгоритмов картины распределения показателя в настоящее время решается следующим образом: показатель рассчитывается по модели, представляющей некоторую простую поверхность (наклонная плоскость, эллипсоид, конус), для которой возможно теоретически предсказать распределение его значений. Чем ближе рассчитанное распределение оказалось к ожидаемому, тем более достоверным считается алгоритм [Qin et al., 2007; Seibert, McGlynn, 2007]. Этот подход позволяет оценить достоверность через количественные характеристики (например, среднеквадратическое отклонение), однако не вполне ясно, можно ли переносить выводы, сделанные для относительно простых модельных поверхностей, на сложные формы реального рельефа. Иными словами, низкие отклонения результатов на модельных поверхностях еще не являются достаточным доказа-

тельством большей достоверности того или иного алгоритма.

Построение линий тока. Перечисленные проблемы могут отчасти быть решены, если отказаться от концепции дискретного стока «из ячейки в ячейку» и моделировать распространение потоков на основании того факта, что водные массы под действием гравитации перемещаются по непрерывной поверхности в направлении, противоположном направлению вектора градиента в каждой точке. Выражаясь формальным языком, имея модель поверхности рельефа в виде непрерывной дифференцируемой функции $f(x,y)$, линию тока в параметрическом представлении $(x(t), y(t))$, выходящую из точки x_0, y_0 вниз по склону, можно определить как решение задачи Коши для системы дифференциальных уравнений первого порядка при значениях параметра $t > 0$ [Кошель, 2004]:

$$\begin{cases} x'(t) = -\frac{\partial f}{\partial x}(x,y) \\ y'(t) = -\frac{\partial f}{\partial y}(x,y) \end{cases}; \quad x(0) = x_0, \quad y(0) = y_0. \quad (1)$$

С практической точки зрения, чтобы избежать слишком маленьких расстояний между последовательными точками решения, правую часть системы желательно нормировать, то есть разделить на длину вектора градиента. Нормировка выполняется в том случае, если длина градиента не меньше некоторого заданного порога, иначе правой части присваиваются нулевые значения. В итоге правая часть системы (1) будет представлять собой компоненты единичного вектора, противоположного вектору градиента. Конечный результат численного интегрирования этой системы определяется двумя факторами: способом вычисления правой части в произвольной точке исследуемой области (при том, что нам известны значения высот только в узлах регулярной сетки) и выбранным методом численного интегрирования. Восстановление непрерывных частных производных на основе высот в узлах сеточной модели рельефа можно выполнять разными способами, мы использовали билинейную интерполяцию по значениям в четырех ближайших узлах сетки. При выборе способа интегрирования были опробованы разные алгоритмы, начиная от простейшего метода Эйлера первого порядка и заканчивая методом Рунге–Кутты четвертого-пятого порядка [Каханер, Моулер, Нэш, 1998; Форсайт, Малькольм,

Моулер, 1980]. Иллюстрация работы метода Эйлера с постоянным шагом представлена на рис. 1. В первую очередь, задается шаг интегрирования (шаг, с которым увеличивается параметр t). Для построения плавной линии тока желательно, чтобы величина этого шага была меньше половины размера ячейки ЦМР. Далее, в начальной точке вычисляются компоненты вектора градиента (частные производные модельной функции) и в противоположном направлении откладывается отрезок длины, равной шагу интегрирования. Конец этого отрезка принимается за новую начальную точку. Процесс продолжается до тех пор, пока ломаная линия не достигнет границы ЦМР, либо когда значение правой части не станет равным нулю (попадание в точку локального минимума или на горизонтальную площадку). К сожалению, этот простейший подход оказался непригодным для наших целей, поскольку зачастую у построенных таким образом ломаных наблюдаются осцилляции и даже заикливание в районе некоторых тальвегов и на участках с близкими к нулю значениями модуля градиента. В результате экспериментов с использованием ЦМР на участки с различными типами рельефа для решения системы (1) в итоге был выбран неявный метод Эйлера. Он оказался оптимальным с точки зрения соотношения получаемого качества результата и затрат на вычисления.

Расчет площади водосбора на базе построенных линий тока. Для расчета площади водосбора и объема стока выполняется построение линий тока из центра каждой ячейки ЦМР. С линией тока ассоциируется значение рассчитываемой величины (площади водосбора или объема стока), соответствующее той ячейке, из которой она строится.

Когда линия построена, анализируется ее положение относительно ячеек регулярной сетки. Предлагается два варианта такого анализа, назовем их условно «простой» и «точный». В «простом» способе используется только положение вершин построенной ломаной; к значениям рассчитываемой величины в тех ячейках, куда попала хотя бы одна вершина, добавляется значение, ассоциированное с данной линией. Если в ячейку не попала ни одна вершина, значение в ней не увеличивается, даже если часть линии фактически проходит по этой ячейке. Такой подход значительно снижает вычислительные затраты, и при этом вполне правомерен, поскольку шаг, с которым строится ломаная, представляющая линию тока, меньше, иногда значительно, размера

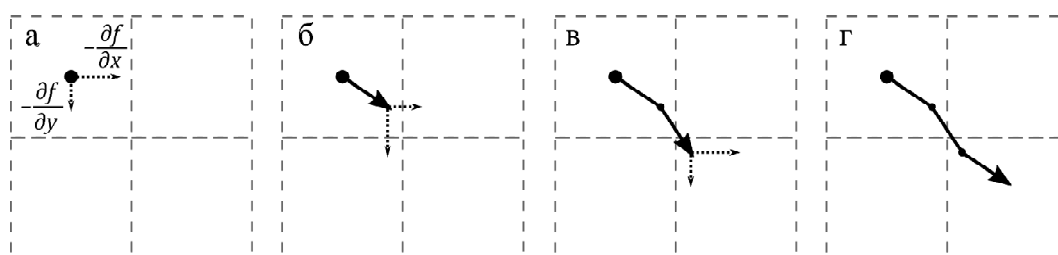


Рис. 1. Построение линии тока из центра ячейки. Объяснение а – г – в тексте

Fig. 1. Flowline tracing from the center of a cell. (For a – г see the text)

ячейки сетки. «Точный» вариант основан на подсчете длин сегментов линии тока. Для каждой ячейки, через которую проходит линия, определяется длина той части ломаной, которая находится в пределах ячейки. Значение рассчитываемой величины, ассоциированное с линией тока, затем умножается на коэффициент K_{acc} , зависящий от длины сегмента ломаной и добавляется к значению, уже имеющемуся в данной ячейке. Коэффициент K_{acc} вычисляется по формуле (2):

$$K_{acc} = \min \left(1, \frac{L_{segm}}{L_0} \right). \quad (2)$$

Здесь L_{segm} – длина сегмента линии в пределах рассматриваемой ячейки, L_0 – длина условного единичного сегмента линии. Значение L_0 устанавливается из следующих соображений: коэффициент K_{acc} должен быть равен единице в том случае, если линии тока параллельны одной из осей координат. В таком случае длина сегмента линии в пределах ячейки равна шагу сетки вдоль данной оси. Следовательно, для квадратной сетки значение L_0 принимается равным шагу сетки. Для прямоугольных сеток с различными шагами вдоль разных осей предлагается устанавливать в качестве значения L_0 полусумму шагов сетки. Коэффициент K_{acc} ограничивается сверху единицей, чтобы вносимая прибавка не превосходила значение, ассоциированное с линией тока. Процедура анализа положения линии тока относительно ячеек сетки ЦМР проиллюстрирована на рис. 2.

Алгоритм, названный нами FLBA (*FlowLine-Based Algorithm*), реализован как самостоятельная программа на языке Fortran (стандарт Fortran 90). Исходными данными для программы являются сеточная цифровая модель рельефа и параметры ме-

тода, на выходе программа создает цифровую модель площади водосбора, со значениями показателя, рассчитанными в узлах регулярной сетки той же размерности, что и исходная.

Результаты исследований и их обсуждение.

Тестирование разработанного алгоритма проводилось на ЦМР, представляющей несколько небольших эрозионных форм рельефа в северной части гор Западного Саяна. Абсолютная высота в пределах рассматриваемого участка изменяется от 700 до 900 м. Цифровая модель рельефа построена по данным воздушного лазерного сканирования путем интерполяции методом естественного соседа (*Natural Neighbor*) [Sibson, 1981] с получением значений высот на регулярной сетке с шагом 1 м. Модель была обработана при помощи алгоритма заполнения локальных понижений Ванга–Лю [Wang, Liu, 2006]; замкнутые локальные понижения были устранены, на их месте сформированы наклонные поверхности с углом наклона $0,1^\circ$. Другие способы предварительной обработки (сглаживающие фильтры и т. п.) не применялись.

Работа алгоритма оценивалась визуально на примере результата вычисления площади водосбора. Для сопоставления с другими методами этот же параметр был рассчитан в пакете SAGA GIS с использованием алгоритмов D8, MFD (наиболее распространенные и часто используемые), MFD-md, KRA (идеологически близкий к разработанному FLBA).

Сравнение результатов, полученных двумя вариантами алгоритма FLBA («простым» и «точным») показало, что существенные отличия между ними наблюдаются только вблизи тальвегов, где ячейки задеваются «по касательной» большим количеством линий тока (рис. 3, д, е). При простом варианте расчета одни ячейки «недополучают» площадь водосбора, поскольку ни одна вершина ломаной не попадает в них, а другие, наоборот, «получают больше, чем должны», если общая протяженность линии тока в них невелика. На участках, удаленных от тальвегов, существенных отличий не наблюдается.

Сравнение результатов, полученных разными алгоритмами, показывает, что картина распределения показателя, формируемая FLBA (с любыми параметрами), отличается довольно низким «разбросом» потока (рис. 3). Области высоких значений площади водосбора вблизи тальвегов формируют линии, ширина которых равна размеру ячейки ЦМР. Эти области, таким образом, гораздо более узкие, чем при использовании алгоритмов MFD и MFD-md (рис. 3, б, в) и сопоставимы с результатом расчета по D8 (рис. 1, а). Однако предлагаемый алгоритм не демонстрирует характерного для D8 неестественного расположения потоков под углами, кратными 45° . Похожая картина наблюдается также при использовании идейно близкого алгоритма KRA (рис. 3, г), но из-за особенностей построения линий тока в нем часто возникает ситуация, когда на линии тальвега оказывается несколько ячеек с низкими значениями площади водосбора (обозно

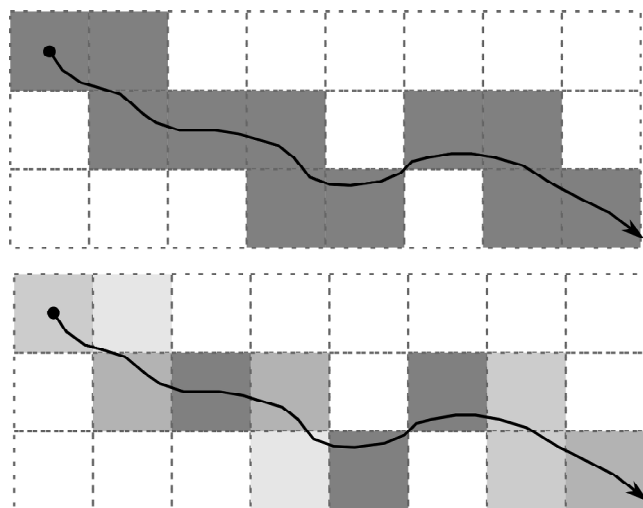


Рис. 2. Расчет гидрологического показателя на базе построения линии тока – «простой» способ (вверху) и «точный» способ (внизу). Более темный цвет соответствует большему значению показателя

Fig. 2. Computation of a hydrological parameter using the flowline tracing: «simple» way (above) and «accurate» way (below). Darker color stands for higher parameter value

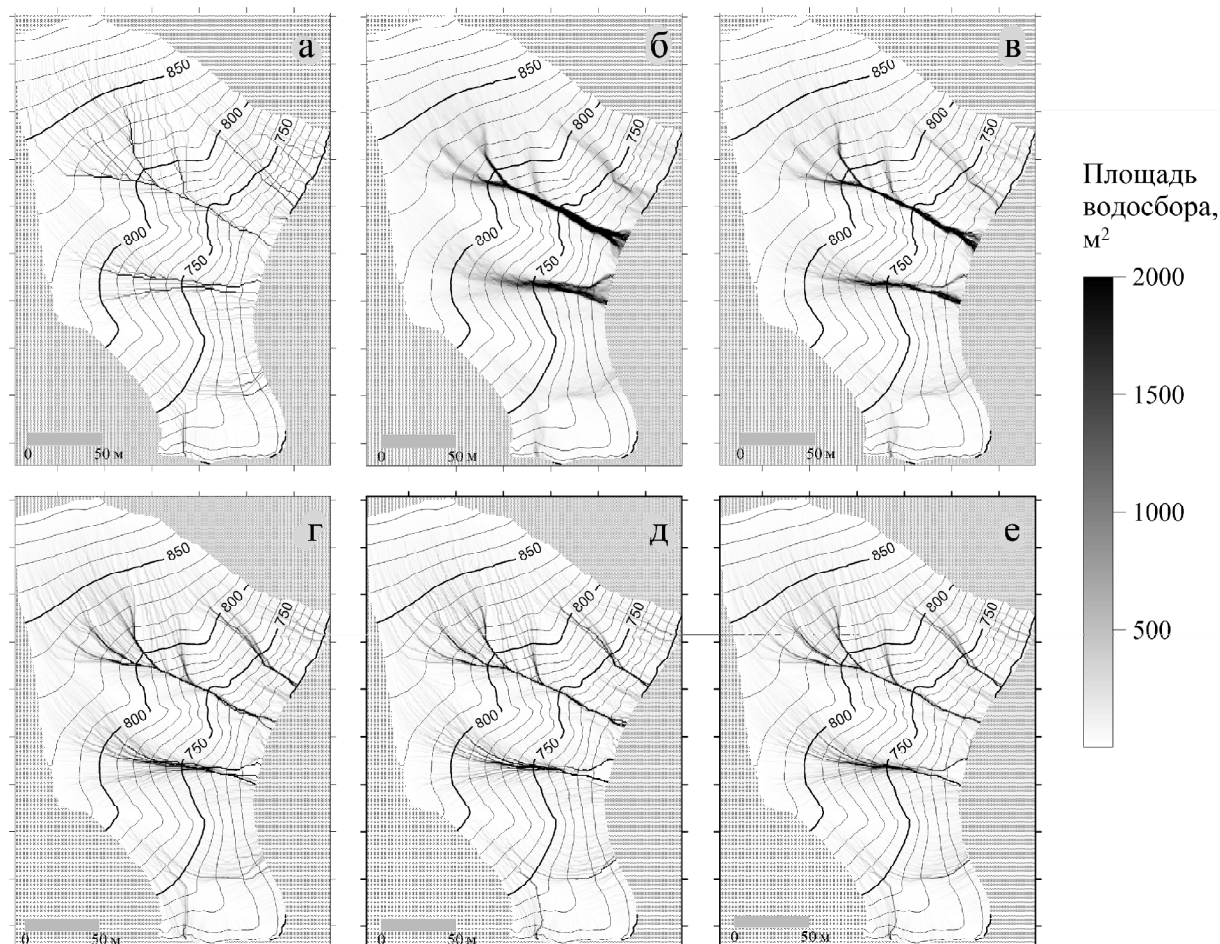


Рис. 3. Результаты расчета площади водосбора с использованием разных алгоритмов определения направлений тока: D8 (а), MFD (б), MFD-md (в), KRA (г), предложенного алгоритма (FLBA) – «простой» расчет (д), «точный» расчет (е)

Fig. 3. Catchment area computation results using different algorithms for identification of flowline direction: D8 (a), MFD (б), MFD-md (в), KRA (г), suggested FLBA – «simple» (д), FLBA, «accurate» (е)

эта ситуация похожа на остров посреди реки). Результаты расчета по разработанному алгоритму лишены этого недостатка, что позволяет их использовать в качестве основы для выделения сети потенциальных водотоков (сейчас для этих целей используется исключительно алгоритм D8).

На рис. 4 приведены поперечные разрезы через характерные участки рельефа, позволяющие более детально и наглядно проиллюстрировать особенности работы перечисленных выше алгоритмов. Профиль I (линия Ia–Iб) пересекает склон водосборного понижения параллельно горизонталям, профиль II (IIa–IIб) пересекает тальвег наиболее крупной эрозионной формы в верхнем течении, профиль III (IIIa–IIIб) пересекает тот же тальвег в нижнем течении. Плановое положение линий профилей показано на левой части рис. 4; сами профили приведены на правой части рис. 4. Видно, что для профиля I, ближайшего к водоразделу, для результатов расчета всеми алгоритмами характерны невысокие значения площади водосбора (порядка 100 м²). При этом алгоритмы MFD и MFD-md распределяют сток практически равномерно по склону, KRA и обе разновидности FLBA, на фоне общей равномерности, концентрируют сток вдоль несколь-

ких слабо выраженных эрозионных борозд. Распределение же, получаемое по алгоритму D8, отличается высокой неравномерностью и связано с его ограничениями, описанными выше, – именно так на профиле выглядит формируемая этим алгоритмом сеть параллельных водотоков. На профиле II можно наглядно видеть ширину полосы относительно высоких значений водосборной площади вблизи тальвега. Для алгоритмов группы MFD ширина этой полосы составляет около 3–5 м (напомним, что размер ячейки ЦМР равен 1 м), алгоритмы KRA, FLBA-s, FLBA-a концентрируют сток в единственной ячейке (самой низкой в поперечном профиле). Результат, показываемый алгоритмом D8 (три отдельных невысоких пика водосборной площади вблизи тальвега), вновь связан с особенностями определения направлений стока, но не с рельефом местности. Наконец, профиль III демонстрирует дивергенцию потока при переходе от ложбины к конусу выноса. Для алгоритмов группы MFD «полоса потока» становится еще шире (7–10 м). Алгоритм KRA рассчитывает два максимума вдоль линии профиля (та самая ситуация «острова посреди реки»); больший из этих максимумов соответствует «настоящему» тальвегу, меньший появляется

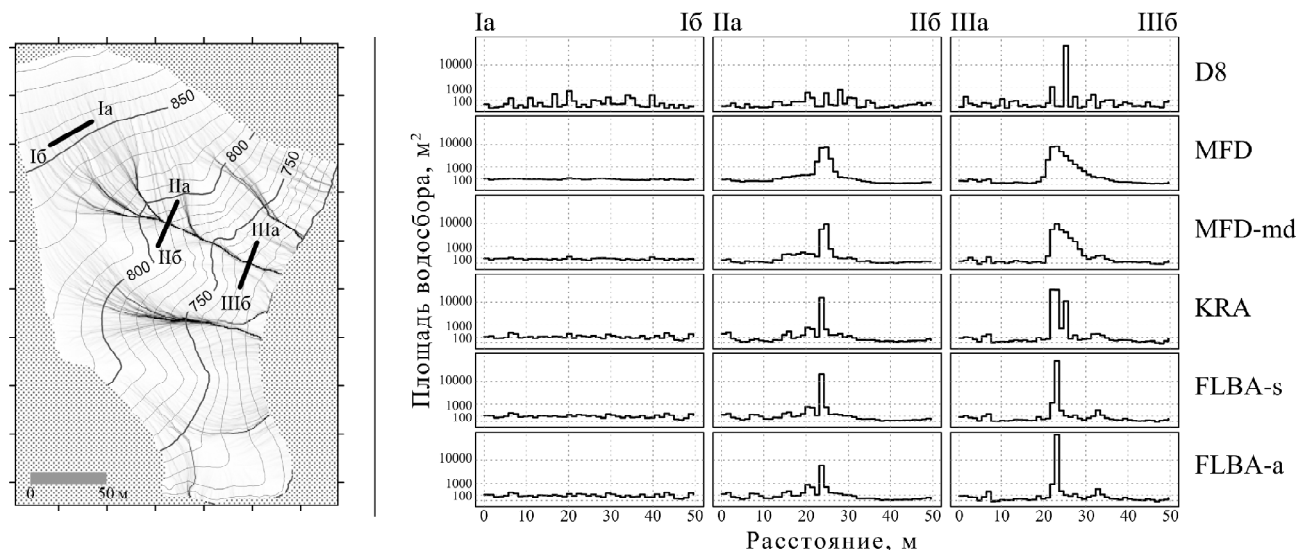


Рис. 4. Поперечные профили характерных элементов и форм рельефа: плановое положение (слева), значения площади водосбора, рассчитанной различными алгоритмами (D8, MFD, MFD-md, KRA, FLBA-s, FLBA-a) вдоль линий профилей I, II, III (справа)

Fig. 4. Profile lines across typical elements and landforms: location of profile lines (left), catchment area values along I, II and III profile lines (right). Catchment areas were computed using D8, MFD, MFD-md, KRA, FLBA-s, and FLBA-a algorithms

вследствие особенностей расчета в алгоритме KRA и соответствует «псевдотальвегу», появление которого связано скорее с особенностями реализации алгоритма, чем с рельефом местности. Отметим также, что положение меньшего из отмеченных локальных максимумов полностью совпадает с положением максимума, рассчитанного алгоритмом D8. Алгоритм FLBA по-прежнему, как и на профиле II выше по склону, концентрирует сток в одной-двух ячейках. Эту особенность FLBA следует учитывать при выборе разрешения ЦМР для анализа – если размер ячейки будет заметно меньше ширины днища ложбины, поток будет концентрироваться в наиболее низкой ее части, что приведет к недооценке водосборной площади в пределах относительно высоких участков ложбины.

Таким образом, предложенный алгоритм сочетает достоинства разработанных к настоящему времени методов, и при этом лишен их недостатков. К отрицательным моментам в работе алгоритма можно отнести, пожалуй, только его более низкую вычислительную эффективность (работает медленнее остальных). Однако это нельзя назвать существенным недостатком, особенно учитывая возможный потенциал для его дальнейшего развития. В частности, предложенный подход позволяет легко интегрировать в алгоритм расчета площади водосбора возможность прохождения линий тока через локальные понижения, что позволит использовать его и для моделей, не подготовленных предварительно с помощью специальных процедур. Для этого достаточно внести изменения только в способ вычисления градиента в уравнении (1), все остальные этапы алгоритма остаются неиз-

менными. Помимо того, промежуточная стадия алгоритма – построение линий тока – представляет самостоятельный интерес, особенно при реализации в интерактивном режиме.

Выводы:

– представлен алгоритм расчета площади водосбора и объема стока, базирующийся на построении линий тока, исходящих из узлов регулярной прямоугольной сетки в пределах исходной ЦМР, и последующем анализе прохождения построенных линий через ячейки результирующей регулярной сетки. Важной отличительной особенностью алгоритма является отказ от дискретного подхода к распределению стока из «ячейки в ячейку» ЦМР. Вместо этого используется непрерывная модельная функция рельефа, интерполирующая данные в узлах регулярной сетки исходной ЦМР, на основе которой строятся линии тока как решение некоторой системы дифференциальных уравнений;

– реализованный алгоритм формирует компактный поток, подобный результату расчета по алгоритму D8. Это позволяет, при достаточном качестве ЦМР, учитывать влияние форм рельефа, размер которых сопоставим с шагом сетки модели, а также использовать результаты расчета в качестве исходных данных для построения сети потенциальных водотоков. Однако, в отличие от D8, разработанный алгоритм не создает нереалистичные сети потоков, текущих под углами, кратными 45° . Это сближает его с подходами группы MFD. Таким образом, предложенный алгоритм сочетает достоинства разработанных к настоящему времени методов расчета площади водосбора, и при этом лишен их недостатков.

Благодарности. Исследование выполнено при поддержке гранта Президента Российской Федерации для молодых российских ученых – кандидатов наук МК-4829.2016.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Каханер Д., Моулер К., Нэш С. Численные методы и математическое обеспечение: Пер. с англ. М.: Мир, 1998. 575 с.
- Кошель С.М. Теоретическое обоснование структуры и функций блока моделирования рельефа в ГИС. Дис. ... канд. геогр. н. М., 2004. 105 с.
- Кошель С.М., Энтин А.Л. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа // Геоморфология: Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. Вып. 6. С. 24–34.
- Форсайт Д., Малькольм М., Моулер К. Математические методы машинных вычислений. Пер. с англ. М.: Мир, 1980. 280 с.
- Costa-Cabral M.C., Burges S.J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas // Water resources research. 1994. V. 30(6). P. 1681–1692.
- Fairfield J., Leymarie P. Drainage networks from grid digital elevation model // Water Resources Research. 1991. V. 27(5). P. 709–717.
- Freeman T. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid // Computers and Geosciences. 1991. V. 17. P. 413–422.
- Greenlee D.D. Raster and vector processing for scanned linework // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1987. V. 53. P. 1383–1387.
- Jasiewicz J., Metz M. A new GRASS GIS toolkit for Hortonian analysis of drainage networks // Computers and Geosciences. 2011. V. 37(8). P. 1162–1173.
- Lea N.L. An aspect-driven kinematic routing algorithm // Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics / Eds.: A.J. Parsons, A.D. Abrahams. New York, 1992.
- O'Callaghan J.F., Mark D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // Computer vision, graphics, and image processing. 1984. V. 28(3). P. 323–344.
- Olaya V. Hidrologna Computacional y Modelos Digitales de Terreno: Teoría, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://www.gabrielortiz.com/descargas/Hidrologia_Computacional_MDT_SIG.pdf. Дата обращения: 24.09.2015.
- Qin C., Zhu A.-X., Pei T., Li B., Zhou C., Yang L. An adaptive approach to selecting a flow partition exponent for a multiple flow direction algorithm // International Journal of Geographical Information Science. 2007. V. 21(4). P. 443–458.
- Quinn P., Beven K., Chevallier P., Planchon O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling // Hydrological Processes. 1991. V. 5(5). P. 59–79.
- Seibert J., McGlynn B.L. A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models // Water Resources Research. 2007. V. 43(4).
- Sibson R. A brief description of natural neighbour interpolation // Interpreting multivariate data. 1981. V. 21. P. 21–36.
- Tarboton D.G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models // Water Resources Research. 1997. V. 33(2). P. 309–319.
- Wang L., Liu H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling // International Journal of Geographical Information Science. 2006. V. 20(2). P. 193–213.

Поступила в редакцию 04.07.2016
Принята к публикации 09.02.2017

S.M. Koshelev¹, A.L. Entin²

CATCHMENT AREA DERIVATION FROM GRIDDED DIGITAL ELEVATION MODELS USING THE FLOWLINE-TRACING APPROACH

Hydrological terrain analysis on the basis of the digital elevation models is an important part of GIS-based geomorphometry. Hydrological parameters, such as the catchment area or flow accumulation, are frequently used in geographical studies, both directly and indirectly. Their computation is based on the determining of water flow through the regular grid of digital elevation model (DEM). There are many algorithms developed for this procedure, and their application gives extremely different computation results for the catchment area. All these algorithms apply a discrete, «cell-to-cell» flow conception. This, first, does not adequately represent real water movement, and, second, makes it difficult to verify results, because cells of a regular grid do not usually «suit» to the landforms.

The paper presents a new approach for catchment area and flow accumulation computation. It is based on flowline tracing on a continuous surface. The surface could be obtained through interpolation of discrete elevation values from a regular grid of DEM.

Keywords: digital elevation model (DEM), geographical information system (GIS), algorithm, hydrological terrain analysis, catchment area, flow accumulation, flowline tracing.

Acknowledgements. The study was financially supported by the President of Russia grant for young PhD scientists (МК-4829.2016.5).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Leading Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: skoshel@geogr.msu.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, postgraduate student; e-mail: andrei.entin.worknstudy@gmail.com

REFERENCES

- Costa-Cabral M.C., Burges S.J.* Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas // *Water resources research*. 1994. Vol. 30(6). P. 1681–1692.
- Fairfield J., Leymarie P.* Drainage networks from grid digital elevation model // *Water Resources Research*. 1991. Vol. 27(5), P. 709–717.
- Forsythe G.E., Malcolm M.A., Moler C.B.* *Matematicheskiye metody mashinnykh vychisleniy* (per. s angl.) [Computer Methods for Mathematical Computations (translated from English)]. Moscow: Mir, 1980. 280 p. (in Russian).
- Freeman T.* Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid // *Computers and Geosciences*. 1991. Vol. 17. P. 413–422.
- Greenlee D.D.* Raster and vector processing for scanned linework // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1987. Vol. 53. P. 1383–1387.
- Jasiewicz J., Metz M.* A new GRASS GIS toolkit for Hortonian analysis of drainage networks // *Computers and Geosciences*. 2011. Vol. 37(8). P. 1162–1173.
- Kahaner D., Moler C., Nash S.* *Chislennyye metody i matematicheskoe obespecheniye* (per. s angl.) [Numerical Methods and Software (translated from English)]. Moscow: Mir. 1998. 575 p. (in Russian).
- Koshel S.M.* *Teoreticheskoye obosnovaniye struktury i funktsij bloka modelirovaniya reljefa v GIS* [Theoretical basis of structure and functions of relief modeling block in GIS applications]. PhD Thesis. Moscow, 2004. 105 p. (in Russian).
- Koshel S.M., Entin A.L.* *Sovremennyye metody raschyota raspredeleniya poverhnostnogo stoka po tsifrovym modelyam reljefa* [Contemporary methods of DEM-based surface flow distribution modelling]. *Geomorfologiya: sovremennyye metody i tehnologii tsifrovogo modelirovaniya reljefa v naukah o Zemle*. Issue 6. Moscow: Media-PRESS, 2016. P. 24–34 (in Russian).
- Lea N.L.* An aspect-driven kinematic routing algorithm // *Overland Flow: Hydraulics and Erosion Mechanics* / Eds. A.J. Parsons, A.D. Abrahams. New York, 1992.
- O'Callaghan J.F., Mark D.M.* The extraction of drainage networks from digital elevation data // *Computer vision, graphics and image processing*. 1984. Vol. 28(3). P. 323–344.
- Olaya V.* *Hidrologia Computacional y Modelos Digitales de Terreno: Teoria, práctica y filosofía de una nueva forma de análisis hidrológico* [Electronic resource] // URL: http://www.gabrielortiz.com/descargas/Hidrologia_Computacional_MDT_SIG.pdf. (Accessed 24.09.2015).
- Qin C., Zhu A.-X., Pei T., Li B., Zhou C., Yang L.* An adaptive approach to selecting a flow partition exponent for a multiple flow direction algorithm // *International J. Geographical Information Science*. 2007. Vol. 21(4). P. 443–458.
- Quinn P., Beven K., Chevallier P., Planchon O.* The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling // *Hydrological Processes*. 1991. Vol. 5(5). P. 59–79.
- Seibert J., McGlynn B.L.* A new triangular multiple flow direction algorithm for computing upslope areas from gridded digital elevation models // *Water Resources Research*. 2007. Vol. 43(4).
- Sibson R.* A brief description of natural neighbour interpolation // *Interpreting multivariate data*. 1981. Vol. 21. P. 21–36.
- Tarboton D.G.* A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models // *Water Resources Research*. 1997. Vol. 33(2). P. 309–319.
- Wang L., Liu H.* An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling // *International Journal of Geographical Information Science*. 2006. Vol. 20(2). P. 193–213.

Received 04.07.2016

Accepted 09.02.2017

УДК 711.1

Д.М. Астанин¹

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАРКАСНОГО МЕТОДА В ПЛАНИРОВАНИИ И ФУНКЦИОНАЛЬНОМ ЗОНИРОВАНИИ ТЕРРИТОРИЙ, БЛАГОПРИЯТНЫХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЭКОТУРИЗМА (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА)

Сосредоточено внимание на использовании каркасных концепций как базового первичного метода при планировании организации экотуризма в регионе. Исследованы региональные каркасы центральной части Восточного Саяна, определяющие территорию, благоприятную для развития экотуризма, и показано их влияние на формирование средостабилизирующих функциональных зон.

Ключевые слова: территориальный каркас, метод балльной оценки территории.

Введение. Термин «каркас» обозначает «остов», «основание чего-либо в виде костяка» (по В.И. Да-лю). Каркасный метод позволяет скреплять отдельные части (страны, региона) в единое целое, и этим увеличивать их потенциал. Поэтому при проектировании туристско-рекреационных систем территориальные каркасы являются начальным основанием для определения территорий экотуризма и формирования их функциональных зон [Яковлева, 2013]. Территория экотуризма – это туристско-рекреационные зоны и районы, благоприятные для развития экотуризма [Гусанов, 2010]. Они должны иметь следующие признаки: 1 – охраняемое природное ядро, которое позволяет экосистеме оставаться в неизменном виде; 2 – быть расположенными на природной территории, мало подвергшейся антропогенному воздействию и благоприятной для развития туризма в ландшафтном и климатическом аспектах; 3 – иметь на данной территории традиционную культуру, накопившую опыт гармоничного сотворчества человека и природы; 4 – быть транспортно доступными для туристов. Из этого следует, что на территории экотуризма влияют экологический, транспортный, рекреационный, экокультурный каркасы.

Понятие природного (природно-экологического, экологического) каркаса вошло в отечественную научную лексику в конце 1970-х – начале 90-х годов, причем возникло оно в сфере градостроительного проектирования, в качестве экологического антипода планировочным, градостроительным и расселенческим каркасам. В настоящее время под экологическим каркасом региона или территории следует понимать «систему природных «диких» и культурных ландшафтов, построенную на основе крупных резерватов, соединенных экологическими коридорами, полярно дистанцированную от центров и осей хозяйственного воздействия человека, и обеспечивающую экологическую стабильность территории соответствующего уровня» [Колбовский, 1999]. Экологический каркас состоит из ареальных, линейных и точечных элементов. Ареальные эле-

менты – заповедники и другие особо охраняемые территории (ООПТ) – обеспечивают долговременное функционирование экосистем. Линейные элементы – экологические коридоры (русла и поймы крупных рек, долины малых рек, водоразделы) – поддерживают целостность каркаса. Элементарные составляющие экологического каркаса имеют в большинстве своем линейные формы, территории высокой плотности линейных элементов образуют узлы экологического каркаса. Точечные элементы экологического каркаса сохраняют отдельные уникальные явления и объекты природы [Колбовский, 1999].

Культурный каркас также имеет пространственную организацию. По К.А. Павлову – это модель нуклеарной геосистемы, где выделяются ядра, пути коммуникаций, а также полевые структуры ландшафта – зоны влияния и распространения определенных элементов культуры [Колбовский, 1999].

А.С. Кусков в книге «Рекреационная география» говорит о том, что кроме территорий наследия, играющих роль ядер, культурного ландшафта, имеющего определенную площадь, и элементов линейного распространения, играющих соединительную роль, выделяют и локальные объекты наследия. Все эти элементы соединяется в виде кристаллической решетки [Кусков, 2010].

Для определения территорий экотуризма необходимо построение нового объекта пространственного планирования – экокультурного каркаса. Экокультурный каркас строится на ареалах устойчивого развития, достигнутого на реализации опыта поколений по преобразованию и рациональному использованию природной среды в процессе освоения человеком природы, путей распространения элементов экологической культуры и локальных объектов наследия.

Еще одним объектом пространственного планирования является природно-рекреационный каркас, который представляет собой карту-схему комплексного характера, где выявлены рекреационные зоны

¹ ООО «Рустал», ООО «Рустал Северо-Запад», генеральный директор; СПб ГБПОУ «Академия управления городской средой, градостроительства и печати», преподаватель; член Русского географического общества; e-mail: montenegro.astanin@mail.ru

и районы, планировочные узлы, ландшафтно-маршрутные коридоры, связывающие их в единый территориальный каркас, и отдельные объекты туристического притяжения.

Экологический туризм тяготеет к малоизмененным природным территориям, в большинстве своем полярно дистанцированным от системы расселения. Поэтому транспортный каркас играет существенную роль в планировании экологического туризма. Транспортный каркас имеет осевую основу, представленную транспортными магистралями, пересечения которых образуют транспортные узлы различного ранга. Ареальной структурой транспортного каркаса в отношении туризма является транспортная доступность территории, которая зависит от вида туризма и определяет эффективность использования туристско-рекреационного потенциала.

Постановка проблемы. Анализ вышеперечисленных каркасов может служить методическим приемом для выявления экотуристического потенциала. Такой подход позволяет прогнозировать формирование территорий экотуризма со средостабилизирующими функциональными зонами. Сущность каркасного подхода – это анализ территориальных каркасов как пространственных сочетаний наиболее ценных элементов территориальной структуры, к которым относятся:

1. Ареалы – регионы сосредоточения ресурсов соответствующего территориального каркаса;

2. Оси – линейные структуры, связывающие между собой ареалы в единый территориальный каркас;

3. Ядра – узлы каркаса, формируемые в результате взаимного наложения, сближения и пересечения линейных структур;

4. Локусы – точечные элементы территориальной структуры [Яковлева, 2013].

Проектирование территориальных каркасных систем осуществляется на основе комплексной оценки экотуристического потенциала территории. Изучение природного потенциала региона имеет важное значение для определения ареальных структур туристско-рекреационного каркаса территории, так как экологический туризм имеет выраженную ориентацию на его использование.

Территория оценивалась по следующим природным компонентам: литогенной основе, гидрологии, растительности, климату. Оценка велась от наиболее инертных компонентов природных комплексов к наиболее изменчивым (от рельефа к климату) [Астанин, 2014].

Проявляясь и взаимодействуя на определенной территории, композиционные элементы вышеперечисленных территориальных каркасов определяют территорию экотуризма и формируют ее функциональные зоны. В данной статье это показано на основе территории, лежащей в центральной части Восточных Саян (Красноярский край и Иркутская область).

Крупными узловыми структурами в Красноярском крае являются горные узлы, расположенные

на плато Путорана и Восточном Саяне. Экологический узел плато Путорана оказывает влияние на экосистему севера края, расположенную между реками Нижняя Тунгуска, Хета и Хатанга и нижним течением Енисея. Экологический узел, расположенный в центральной части Восточного Саяна, имеет большое значение для стабильности экосистемы центральной и южной частей Красноярского края до Енисея. И, если на территории плато Путорана создан одноименный государственный природный заповедник, в буферной зоне которого развивается экологический туризм, то на территории Восточного Саяна – Саянский заповедник был дважды создан и дважды в 1919 и 1951 гг. закрыт. Сейчас на его территории действует Тофаларский заказник в десять раз меньший, чем площадь Саянского заповедника. Туризм в этом регионе существует в самодельном виде и никак не регулируется, что может нанести непоправимый ущерб природным системам (рис. 1).

На территории Красноярского края экорегионом, имеющим международное значение, является Алтай-Саянский регион. Горные системы Западного и Восточного Саяна входят в его состав. Если горная система Западного Саяна на территории Красноярского края представлена охраняемыми природными территориями, развивающими экологический туризм (национальным парком Шушенский бор и природным парком Ергаки), то горная система Восточного Саяна не имеет подобных территорий. Здесь только планируется создание природного парка Канское белогорье [Восточный Саян, 2014].

Мощный горный узел Восточного Саяна, расположенный на границе Красноярского края и Иркутской области, является наиболее важной территорией как регионального, так и глобального экологического каркаса. Здесь необходимо создание ООПТ с заповедной и защищающей ее от негативных воздействий буферной зоной. Буферная зона будет являться основной площадкой для развития экологического туризма.

Центральная часть Восточного Саяна является территорией, мало подвергнутой антропогенному воздействию, что видно из анализа транспортного каркаса. Здесь практически нет дорог, имеются в наличии только выючные и пешеходные тропы (рис. 2).

С исторической точки зрения, территория центральной части Восточного Саяна была первым примером организации заповедного дела в Российской империи, направленной на спасение соболя и охрану дикой природы. Уже в 1915 г. эта территория, проектируемая под Саянский заповедник, была изъята из пользования населением [Громов, 1951]. После проведенной в центральной части Восточного Саяна в 1914–1916 гг. научной экспедиции, петербургский зоолог Д.К. Соловьев в 1918 г. в своей работе «Типы организаций, способствующих охране природы» предложил более 30 форм защиты объектов природно-заповедного фонда. К сожалению, они не нашли своего применения в России. Но территория бывшего Саянского заповедника может служить памятником зарождения заповедного дела в России

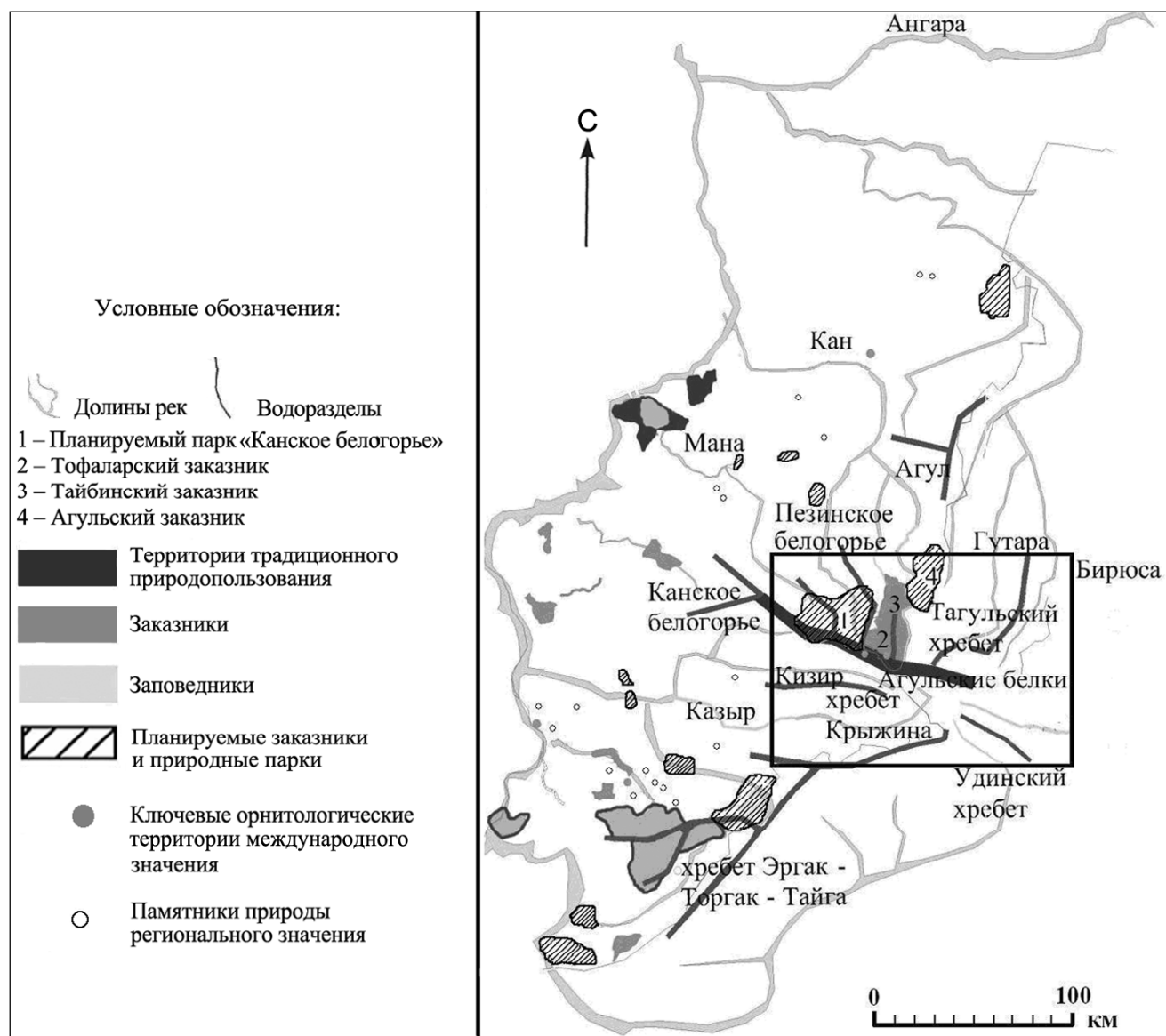


Рис. 1. Экологический каркас центральной части Восточного Саяна

Fig. 1. Ecological network of the central part of the Eastern Sayan Mountain

и экологической площадкой для апробации новых форм защиты природы.

О необходимости развития туризма на территории Саянского заповедника писал руководитель Саянской экспедиции Д.К. Соловьев: «Охотник – турист, не боящийся лишений, прокладывает дорогу простым туристам, а значение развития туризма яснее всего видно на примере Швейцарии. Наши замечательные по красоте и интересу местности имеют все «данные» для привлечения туристов» [Соловьев, 1921]. Это подтверждается развитием самостоятельного туризма на данной территории, который и определяет значительный социальный потенциал экотуризма.

Исследуя рекреационный каркас Восточного Саяна, мы видим, что самостоятельные туристические маршруты идут по Идарскому, Канскому белогорью, Агульским белкам, к таким объектам туристического притяжения, как Кинзелюкский и Гутарский водопады, ледники Стальнова и Кусургашева, озера Медвежье и Агульское, Орзагайским мрамор-

ным горам, пикам Грандиозный и Триангуляторов. Туристическими приютами им служат традиционные охотничьи зимовья. Этим подтверждаются слова Д.К. Соловьева: «Природа заповедника чрезвычайно разнообразна – скалистые пики гор, различные белогорья тундрового характера, щебневые розсыпи, роскошные альпийские луга ..., могучая кедровая тайга ..., реки с порогами и водопадами, озера ..., минеральные источники, каскады, – и все это в бесконечно живописных сочетаниях привлекает внимание, как натуралиста, так и туриста» [Соловьев, 1921].

Таким образом, территория бывшего Саянского заповедника, восстановленная в виде планируемого природного парка «Канское белогорье» и прилегающих к нему ООПТ, имеет все признаки, необходимые для создания здесь территории экотуризма.

Материалы и методы. Метод балльной оценки территории – количественная и качественная оцен-

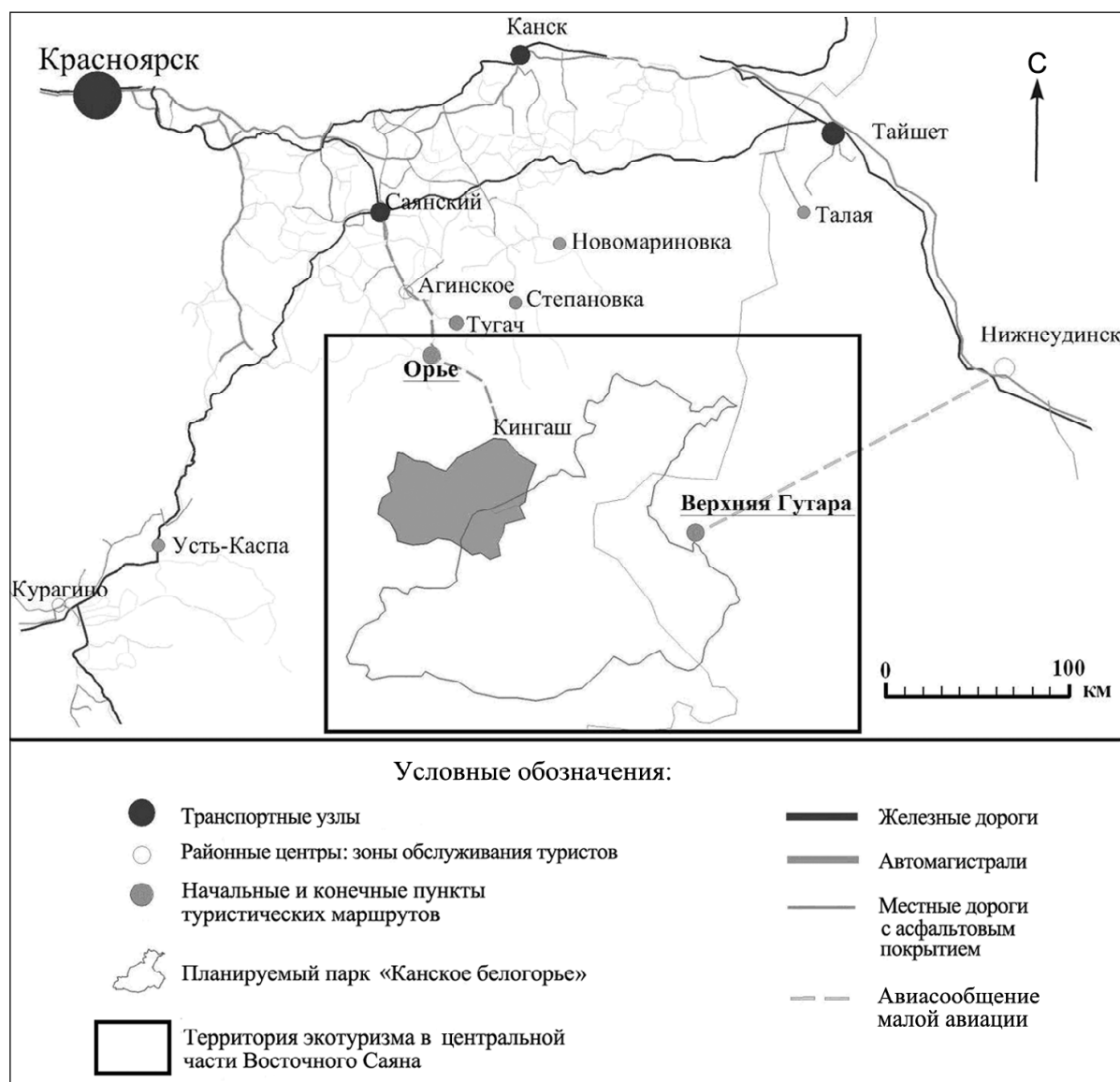


Рис. 2. Транспортный каркас центральной части Восточного Саяна

Fig. 2. Transportation network of the central part of the Eastern Sayan Mountain

ка территории для развития экологического туризма. Наиболее благоприятные элементы объединены в территориальные каркасы [Астанин, 2014].

Прежде всего, это многофункциональные зоны с высокой (благоприятной и особо благоприятной) оценкой в период зимней и летней рекреации, пригодные для различных видов рекреационной деятельности, где необходимо строительство стационарных объектов туризма и отдыха круглогодичного использования.

Следующие по значению – это малофункциональные рекреационные зоны, которые имеют благоприятную оценку в один из сезонов.

Определяющим фактором рациональной планировочной организации территории экотуризма является определение *функциональное зонирование*. Оно формирует создание дифференцированной планировочной структуры и регулирование туристских потоков в целях сокращения антропогенного воздействия на природные комплексы. Зонирование – это четкая идентификация режимов туристического ис-

пользования территории. Поэтому функциональное зонирование должно быть согласовано с экологическим каркасом региона.

Влияние экологического каркаса на формирование заповедного ядра и зоны познавательного туризма. Видами экокультурного туризма являются: экологический, этнографический, паломнический и экспедиционно-исторический туризм. В настоящее время растет интерес к изучению редких и уникальных природных объектов и явлений природы, при уважительном, бережном и гуманном отношении к животным и растениям посещаемой местности. В этом случае экологический туризм становится познавательным: так как познание природы – основной мотив путешествий по особо охраняемым природным территориям [Астанин, 2014].

Экологический каркас определяет заповедное ядро и зону познавательного туризма. Заповедное ядро – территория, наиболее важная для сохранения существующей экосистемы. Чаще всего это

крупный экологический узел, где сходятся основные экологические коридоры [Астанин, 2014].

Элементарные составляющие каркаса в большинстве случаев имеют линейные формы и могут, с точки зрения их пространственной организации, рассматриваться как структурные оси. Их взаимные наложения, пересечения, сближения формируют узлы каркаса. Узловые структуры – это участки территории с максимально высокой для региона выраженностью экологических функций, определяющие природную специфику региона. Структуры обычно формируются в местах взаимного пересечения или сближения линейных структур (при слиянии рек), или в условиях высокого геоэнергетического потенциала (островные системы, тектонические разломы, горные узлы). На территории Красноярского края примером таких крупных узловых структур, где созданы природные заповедники, является территория плато Путорана.

Горная система плато Путорана обладает большим геоэнергетическим потенциалом. Здесь берет начало большинство рек севера Красноярского края. Долина озера Аян (центральная часть плато Путорана) – огромный экологический коридор миграции северного оленя (от 300 тыс. особей в год), от численности которого во многом зависит жизнедеятельность всех коренных народов Севера края. Из сказанного выше можно сделать вывод, что центральная часть плато Путорана – это заповедное ядро, требующее режима строгой охраны. Здесь создан природный государственный заповедник, имеющий международное значение, – Путоранский, посещение которого возможно только с разрешения сотрудников заповедника [Астанин, 2014].

Центральный Саян представляет собой крупный горный узел на стыке Западного и Восточного Саяна. Он образует внушительный экологический модуль, оказывающий решающее влияние на экосистему центральной и южной частей Красноярского края. Здесь сходятся экологические коридоры: главный водораздел представлен широко расположенными Манским, Канским белогорьем и Агульскими белками, здесь берет начало реки Кан, Кизир, Казыр, Агул, Бирюса [Реки Центрального Саяна, 2014].

Экологический каркас центральной части Восточных Саян состоит из ключевых особо охраняемых природных территорий:

- Тофаларского государственного природного заповедника федерального подчинения;
- Тайбинского государственного природного заказника регионального подчинения;
- планируемого Агульского комплексного природного заказника;
- планируемого природного парка Канское белогорье.

Ядро экологического каркаса представляют Тофаларский и Тайбинский государственные природные заказники [Тофалария, 2014]. Поэтому посещение этой территории возможно при условии строгого регулирования рекреации, что соответствует режиму особо охраняемой зоны, посещение которой

возможно с разрешения или с сопровождением сотрудников заказника.

Зону экологического познавательного туризма составляют:

– для живой природы – экологические коридоры, представляющие пути миграции животных и их местообитания;

– для неживой – памятники природы – геологические, гидрологические и т. д. То есть зону познавательного туризма составляют линейные и точечные элементы экологического каркаса. Примером влияния точечных элементов экологического каркаса на функциональное зонирование может служить национальный парк Башкирия, на территории которого расположены 3 памятника природы [Национальный парк Башкирия, 2014].

Они удивительны в происхождении, уникальны как объекты живой и неживой природы, интересны для ученых и просто красивы.

Карстовый мост Куперля – гидрогеологический памятник природы – учрежден в 1965 г. и представляет собой остаток кровли древней пещеры. Он образовался в ходе развития карстовых процессов. Урочище Кутук-Сумган – гидрогеологический памятник природы, представляющий собой межгорную впадину. Медвежья поляна – ботанический памятник природы, учрежден в 1985 г. специально для охраны вида растения лука косого (*Allium obliquum*).

Памятники природы национального парка Башкирия Медвежья поляна и карстовый мост Куперля находятся на территории зоны познавательного туризма, в которой создаются условия для сохранения природных ландшафтов и покоя для животного мира. Здесь разрешается осуществление регулируемого туризма и отдыха. Территория зоны составляет 42% от территории парка. Урочище Кутук-Сумган находится на территории особо охраняемой зоны на границе с зоной познавательного туризма. Особо охраняемая зона предназначена для сохранения наиболее уязвимых и ценных экосистем, посещение возможно только в сопровождении сотрудников парка.

Итак, территории памятников природы составляют зону экологического познавательного туризма, но необходимо учитывать рекреационную емкость ландшафтов и уязвимость экосистем. В этом случае памятники природы необходимо включать в особо охраняемую зону.

Точечными элементами экологического каркаса центральной части Восточных Саян являются: (1) памятник природы Ледник Кусургашева; (2) планируемый ландшафтный памятник Кинзелюкский водопад; (3) озера Медвежье и Агульское, образующие охраняемый природный комплекс (рис. 1).

Территории памятников природы и охраняемых природных комплексов экологического каркаса составляют зону экологического познавательного туризма, где необходимо создавать условия для сохранения природных ландшафтов и покоя животного мира с осуществлением регулируемого туризма, направленного на ознакомление с природными объектами. Это территория регулируемой рекреа-

ции, включающая следующие памятники природы: ледник Кусургашева, Кинзелюкский водопад, озера Медвежье и Агульское. Они расположены в южной части Тофаларского заказника и на прилегающих к нему территориях лесного фонда.

Влияние транспортного каркаса на формирование зон обслуживания посетителей центральной части Восточного Саяна. Исторически сложились 3 пути в центральную часть Восточного Саяна: (1) западный – от Минусинска по Казыру – 500 км; (2) восточный – по реке Гутаре; (3) северный – от поселка Агинское 160 км.

Северный путь наиболее предпочтителен, так как идет по вершинам хребтов, лишенным растительности. Кроме того, планируется строительство автомагистрали к Кингашкому горно-обогатительному комбинату: Саянская – Агинское – Орье – Кингаш. В таком случае связь с поселком Орье из Красноярска будет осуществляться по железной дороге до станции Саянская и далее по планируемой автомагистрали. С востока связь с районными центрами Тофаларии осуществляется посредством малой авиации – вертолета Ми-8 и Ан-2. Авиаперевозки осуществляет Нижнеудинский авиаотряд – один раз в неделю. Начальные и конечные пункты туристических маршрутов должны быть связаны с транспортными коммуникациями. Для центральной части Восточного Саяна – это поселки Орье и Верхняя Гутара, так как территория, расположенная между ними, не имеет автодорог. В результате они выполняют функции зоны обслуживания посетителей, или территорий, открытых для туристов (рис. 2).

Влияние рекреационного каркаса на формирование рекреационной зоны, зоны обслуживания посетителей. Рекреационный каркас определяет рекреационную зону – территорию с наиболее высокой балльной оценкой, где сосредоточены ареалы концентрации основных объектов туристского притяжения и проложено большинство туристических маршрутов [Астанин, 2014]. Рекреационно-туристическая зона природного парка Ергаки занимает 49,9% территории парка. Она открыта для посещений и организованного туризма. Эта территория наиболее привлекательна для рекреационного использования из-за высокой концентрации объектов туристического притяжения и сложившихся туристических маршрутов [14].

Ергаки – край Каменных Идолов – гранитоидных останцев высотой до 30 м разных форм и размеров. Ландшафты предполагают создание на его территории первоклассных рекреационных объектов: от альпийских лагерей до горнолыжных трасс. Центром туристического паломничества является перевал Художников, с открывающейся широкой панорамой на пики Птица, Звездный, Зуб Дракона, Конус, Парабола и озера Горных Духов и Художников. Это позволяет организовывать радиальные, кольцевые и петлевые маршруты от головных туристических баз (зон обслуживания посетителей), расположенных в непосредственной близости от объектов туристского притяжения.

На рекреационный каркас Восточного Саяна решающее влияние оказывает рельеф местности. Линейные элементы природно-рекреационного каркаса – ландшафтно-маршрутные коридоры [Отчет о пеше-водном туристском походе пятой категории сложности по Центральному Саяну, 2014]. Основные самостоятельные туристические маршруты идут по лишенным растительности вершинам хребтов, составляющих основу рекреационной зоны. Также здесь популярны сплавы по рекам различной категории сложности. Реки центральной части Восточного Саяна принадлежат бассейну Енисея (Кан, Казыр, Кизир, Агул) и Ангары (Уда, Бирюса). Большая их часть имеет горный характер и большую скорость течения. Густота речной сети близка или превышает 1 км/км². Уже в верхнем течении саянские реки достигают ширины 10–15 м и глубины 0,5–1 м, что делает их пригодными для сплава. На горных реках много водопадов, наиболее крупные из них: Кинзелюкский – высотой около 400 м, каскад водопадов пика Грандиозный – с общей высотой падения 200 м, Сигачский – с высотой 100 м, Гутарский – 30 м и другие [Отчет о пеше-водном туристском походе пятой категории сложности по Центральному Саяну, 2014].

Основные маршруты в центральной части Восточных Саян начинаются в поселках Саянского района Красноярского края: Орье, Кан-Оклер, Тугач и поселки Верхняя Гутара Нижнеудинского района Иркутской области. Маршруты пролегают по Пезинскому, Идарскому, Канскому белогорьям и Агульским белкам. В районе сочленения хребтов Канского белогорья и Агульских белков сосредоточены основные объекты туристского притяжения. Это и перечисленные выше памятники природы привлекательны в эстетическом отношении. Орзогайская группа гольцов, долины рек Дикий Кан и Малый Агул, озеро Хребтовое, гора Пирамида, пик Грандиозный, интересны для ледолазания ледники Стальнова и Соловьева (рис. 3). В настоящее время имеются сведения о существовании 90 каровых и двух долинных ледников общей площадью около 24 км². Таким образом, рекреационная зона пролегает по линейно расположенным хребтам от поселка Орье до поселка Верхняя Гутара. Наиболее привлекательными для туристов являются озера Агульское и Медвежье. Здесь возможна организация планировочных узлов и, соответственно, зон обслуживания посетителей.

Влияние экокультурного каркаса на формирование территории традиционной культуры (территории традиционного природопользования, зоны охраны культурных ландшафтов). Экокультурный каркас определяет зону охраны культурных ландшафтов, зону охраны культурно-исторических объектов и территорию традиционного природопользования.

Территория традиционного природопользования – ареалы распространения исторически сложившихся форм хозяйствования местного населения. Коренными жителями центральной части Восточных Саян были камасинцы и тофалары. Основным

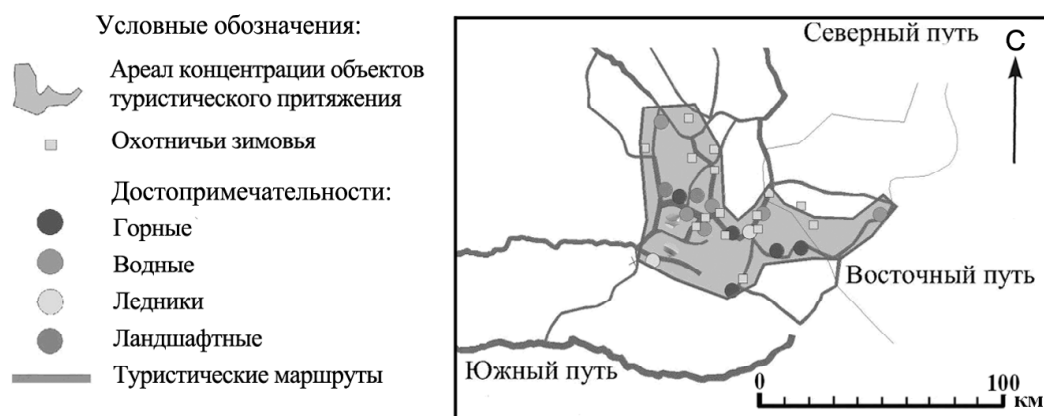


Рис. 3. Рекреационный каркас центральной части Восточного Саяна

Fig. 3. Recreational network of the central part of the Eastern Sayan Mountain

районом расселения тофаларов являются бассейны рек Уда, Кан, Бирюса, Гутара. До XX в. они вели кочевую форму хозяйственной деятельности, занимались охотой. Местность, прилегающая к тофаларскому поселку Верхняя Гутара, Д.К. Соловьевым определялась как иновечерский резерват. Сейчас эту местность можно отнести к территориям традиционного природопользования коренного населения и рекомендовать к организации этнографического парка «Тофалария».

Промысловое дело – основной стимул освоения Сибири русскими. На раннем этапе это была добыча пушнины. В 1660 г. экспорт пушнины составлял половину всех доходов России. По окладным книгам Енисейского уезда с коренного населения взимался ясак в размере 12 соболей с человека. Это был самый высокий размер ясака в Сибири. До 1829 г. нахождение русских на территории Саянского района имело эпизодический характер и было связано с охотничьим промыслом. Соболиный промысел имел большое значение для местного населения. Охотниками были проложены тропы с верховьев реки Мана и по реке Кан до самого Белогорья, построены охотничьи зимовья. Местность восточнее поселка Орье и сейчас используется русским населением для охотничьего промысла, сбора дикоросов, рыбалки. Для уменьшения количества конфликтов с местным населением, сохранения исторически сложившихся форм хозяйствования здесь необходимо организовать территорию традиционного природопользования для местного населения.

Зона охраны культурных ландшафтов – ареалы высокой концентрации культурных объектов экокультурного каркаса (по балльной оценке). Примером формирования зоны культурных ландшафтов может служить Кенозерский национальный парк. Основная тема Кенозерского национального парка – пример органичного соединения материальной и духовной культуры с окружающей средой. Кенозерье – музей русской деревянной архитектуры под открытым небом в естественном ландшафте, насчитывающий до 60-ти культовых сооружений. Причем все часовни расположены в комплексе со священными роща-

ми – остатками нетронутого леса, дошедшими до нас со времен язычества. Ареал концентрации культурно-исторических объектов сосредоточен вокруг озер Кенозеро и Лакшмиозеро. Эта территория и является зоной охраны культурных ландшафтов [Кенозерский национальный парк, 2014].

Позиция туриста по отношению к культурно-историческому наследию делит познавательный туризм на туризм наследия, или культурно-исторический туризм, и туризм впечатления, или экокультурный туризм.

Экокультурный туризм предлагает туристам в качестве средств размещения: экоотели, юрты, деревенские дома, палаточные городки, монастыри, а в качестве средств передвижения возможны собачьи и олени упряжки, конные повозки, то есть средства передвижения, соответствующие изучаемой культуре.

Экокультурный туризм объединяет природное и культурное наследие, показывая взаимное влияние друг на друга природных ландшафтов, форм природопользования и духовной жизни народа [Астанин, 2014].

Основой культурных ландшафтов Восточного Саяна является тема освоения Сибири, важной составляющей в деле освоения Сибири является пушной (соболиный) промысел. Но в начале XX в. в России наблюдалось резкое уменьшение поголовья соболя. Царское Правительство постановило «признать для сохранения соболя неотложность выделения охранных участков, так называемых заповедников». Для организации таких заповедников были выбраны Баргузинский уезд, «как район обитания самого ценного соболя»; Минусинский, Канский и Нижнеудинский округа Енисейской губернии как районы, где соболиный промысел имеет самое большое значение для местного населения. Саянскую экспедицию возглавил охотовед и этнограф Д.К. Соловьев. После того, как работы экспедиции закончились, на состоявшемся 25.02.1916 г. при Департаменте земледелия совещании получило одобрение предложение об организации первого заповедника России – Саянского соболиного заповедника в Енисейской губернии. В 1951 г. вместе с Алтайским, Кро-

носким, Башкирским и другими таежными заповедниками он был ликвидирован. Но работы, связанные с организацией заповедника, заложили основы заповедного дела в России.

Вслед за пушным промыслом стала развиваться золотодобыча. В 1834 г. на реке Кан нашли золото. Из деревни Усть-Анжа (резиденции золотопромышленников) в верховья Кана доставлялись товары на прииски Тукша, Негота, Сухой лог и др.

Научные исследования Восточного Саяна начались в 1771 г. с экспедиций пограничного комиссара Егора Пестерева. В XIX, XX вв. Восточный Саян исследовали топограф И.С. Крыжин, геологи В.И. Попов, Г.А. Стальнов, Я.С. Эдельштейн, охотовед Д.К. Соловьев, геодезист Г.Л. Федосеев, ботаники Ал.А. и Ан.А. Федоровы [Громов, 1951].

Анализируя экокультурный каркас центральной части Восточного Саяна, можно выделить территорию, прилегающую к нежилому поселку золотодобытчиков Негота, как зону охраны культурного ландшафта. Это территория с наиболее высокой балльной оценкой, так как здесь в XIX в. развивалась золотодобыча (было образовано несколько приисков, остатки которых сохранились по сей день), расположена избушка Д.К. Соловьева (руководителя Саянской экспедиции, разработавшего формы защиты природы), проходили маршруты многих научных экспедиций, останавливался Г.Л. Федосеев (рис. 4).

Зона охраны культурных объектов – точечные структуры экокультурного каркаса. Территория памятников культуры и истории образует зону охраны объектов культурного наследия народов Российской Федерации. На настоящий момент на территории центральной части Восточных Саян памятников культуры и истории не выявлено.

Таким образом, метод каркасных концепций позволил выделить территории следующих зон: особо охраняемой, познавательной, рекреационной, обслуживания посетителей, охраны культурных ландшафтов и территории традиционного природопользования.

Выводы:

– функциональное зонирование исследуемой территории построено по американской модели экотуризма [Астанин, 2014]. В центре территории расположено компактное охраняемое ядро (Тайбинский и северная часть Тофаларского заказников), окруженное зонами развития познавательного, рекреационного и культурного экотуризма. Это территории планируемого парка Канское белогорье, южной части Тофаларского заказника и рекомендуемого к организации этнографического парка Тофалария. Вместе с территориями населенных пунктов, расположенных у границ планируемого парка Канское белогорье и территории традиционного природопользования тофаларов в границах ликвидированного Саянского заповедника, исследуемая территория соответствует системе международного зонирования биосферных резерватов. Она включает в себя ядро, буферную (зону экотуризма) и переходную зоны (территории населенных пунктов и экстенсивного традиционного природопользования);

– данный биосферный резерват, в отличие от большинства биосферных резерватов России, состоящих из одной особо охраняемой природной территории (заповедника или национального парка), может быть комплексным. В его состав будут входить заказники Тофаларский, Тайбинский, природный парк Канское белогорье, этнографический парк Тофалария. Примеры этому в России уже имеются: заповедник Шульган-Таш, национальный парк Башкирия, природный парк Мурадымовское ущелье, заказник Алтын-Солок, заказник Икский, участок Кугарчинского лесничества, зона расширения заповедника Шульган-Таш и буферная зона национального парка Башкирия образуют один биосферный резерват;

– в Российском законодательстве нет понятия «этнографический парк», хотя огромное разнообразие народностей и этносов с характерным традиционным природопользованием говорит о необходимо-

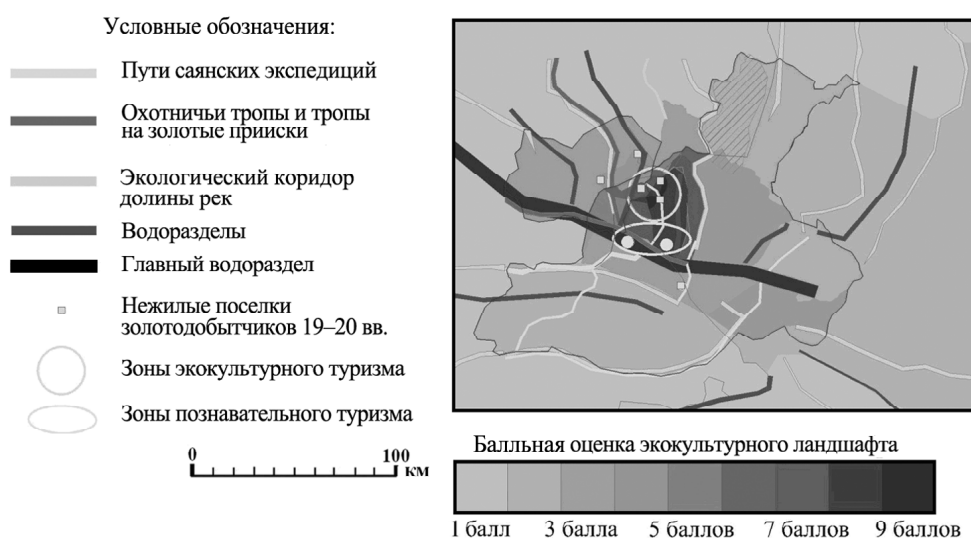


Рис. 4. Экокультурный каркас центральной части Восточного Саяна

Fig. 4. Ecological-cultural network of the Central Eastern Sayan Mountains

сти сохранения этнокультурного разнообразия для устойчивого развития человечества. Поэтому необходимо заняться развитием новых категорий охраняемых природных территорий, охватывающих природно-культурное разнообразие страны;

– проведенное исследование показывает, что анализ территориальных каркасов региона для планирования территорий экотуризма и формирования

их средостабилизирующих функциональных зон является базовым методом исследования при первичных проектных разработках в области экотуризма. Каркасный метод обеспечивает формирование территории экотуризма по основным культурно-историческим и природно-экологическим осям и ареалам концентрации привлекательных объектов природы, истории и культуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Астанин Д.М. Планировочная структура зон экологического туризма Северных территорий Красноярского края. Достижения вузовской науки // 4-я Межд. научно-практ. конф. Новосибирск, 2013. С. 7–12.

Астанин Д.М. Планировочная структура экологического туризма Красноярского края. Архитектон № 43. Екатеринбург, 2013.

Астанин Д.М. Пространственная структура познавательного туризма Красноярского края. Техника и технологии // Ж. Сибирского федерального Университета. Красноярск, 2013. Т. 6. № 6. С. 721–736.

Астанин Д.М. Экологический каркас Красноярского края как основа для развития экологического туризма (на примере планируемого парка «Канское белогорье»). Молодежь и наука. 10-я Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием, Красноярск, 2014.

Восточный Саян. URL: <http://www.rusadventures.ru/articles/353.aspx> (Дата обращения: 01.10.2014).

Громов К.И. Саянский заповедник // Заповедники СССР. М., 1951.

Гусанов А.А. Управление экологическим туризмом в регионах России. Автореф. дисс ... канд. экон. наук. 08.00.05. М., 2010. 26 с.

Кенозерский национальный парк. URL: <http://www.kenozero.ru/> (Дата обращения: 01.10.2014).

Колбовский Е.Ю. Культурный ландшафт и экологическая организация территории регионов: на примере Верхневолжья. Дис. ... докт. геогр. н. 11.00.01. Ярославль, 1999. 394 с.

Кусков А.С., Голубева В.Л., Одинцова Т.Н. Рекреационная география: учебно-методический комплекс. Рос. акад. образования, Моск. психол.-соц. ин-т. Москва: Флинта: МПСИ, 2005. 493 с.

Национальный парк: Башкирия. URL: <http://npbashkiria.ru> (Дата обращения: 01.10.2014).

Национальный парк: Русский север. URL: <http://parkrusever.ru/> (Дата обращения: 01.10.2014).

Отчет о пеше-водном туристском походе пятой категории сложности по Центральному Саяну, совершенному с 31.07 по 24.08.2000 г. URL: http://www.skitalets.ru/foot/2005/sayani_holkin (Дата обращения: 01.10.2014).

Природный парк: Ергаки. URL: <http://www.ergaki-park.ru/> (Дата обращения: 01.10.2014).

Реки Центрального Саяна. URL: <http://sayansib.ru/articles/articles-about-sayan/123-the-rivers-of-the-central-sayan> (Дата обращения: 01.10.2014).

Соловьев Д.К. Заповедники, их выделение, значение, организация и прочее // Саянский охот.-промысловый р-н и соболиный промысел в нем: отчет Саян. экспедиции Департамента земледелия. Петроград, 1920.

Соловьев Д.К. Саянский промыслово-охотничий район и соболиный промысел в нем // Труды экспедиции по изучению соболя и исследованию соболиного промысла, Петроград, 1921.

Соловьев Д.К. Типы организаций, способствующих охране природы. Петроград. Девятая государственная типография. Моховая, 40. 1918.

Тофалария. URL: <http://www.tofalaria.ru/orografi.htm>. (Дата обращения: 01.10.2014).

Яковлева С.И. Каркасные модели в региональных схемах территориального планирования. Псковский регионологический журнал. 2013. № 1.

Поступила в редакцию 20.08.2015

Принята к публикации 09.02.2017

D.M. Astanin¹

APPLICATION OF NETWORK METHOD IN THE PLANNING AND FUNCTIONAL ZONING OF TERRITORIES FAVORABLE FOR THE ORGANIZATION OF ECOTOURISM (CASE STUDY OF THE CENTRAL PART OF THE EASTERN SAYAN MOUNTAINS)

The article focuses on the application of network concepts as a basic primal method for the ecotourism planning in the region. Regional networks in the central part of the Eastern Sayan Mountains that define the area suitable for ecotourism development are investigated. Their influence on the formation of environment-stabilizing functional areas is described.

Key words: territorial network, method of scoring for the assessment of territories.

¹ Rustal Ltd, Rustal North-West Ltd, General Director; Saint-Petersburg state-funded vocational educational institution «Academy of urban management, constructing works and publishing», lecturer; member of the Russian Geographical Society; e-mail: montenegro.astanin@mail.ru

REFERENCES

- Astanin D.M.* Planirovochnaya struktura zon ekologicheskogo turizma Severnyh territorij Krasnojarskogo kraja. [Planning structure of ecotourism zones in the Northern Territories of the Krasnojarsk Krai] Dostizheniya vuzovskoj nauki // 4-aya Mezhd. Nauchno-prakt. konf. Novosibirsk, 2013. S. 7–12 (in Russian).
- Astanin D.M.* Planirovochnaya struktura ekologicheskogo turizma Krasnojarskogo kraja. [Planning structure of ecotourism in the Krasnojarsk Krai] Arhitekton № 43. Ekaterinburg, 2013 (in Russian).
- Astanin D.M.* Prostranstvennaya struktura poznavatelnogo turizma Krasnojarskogo kraja. Tehnika i tehnologii [Spatial structure of educational tourism in the Krasnojarsk Krai. Technique and technologies] // Z. Sibirskogo federalnogo Universiteta. Krasnojarsk. 2013. T. 6. № 6. S. 721–736 (in Russian).
- Astanin D.M.* Ekologicheskij karkas Krasnojarskogo kraja kak osnova dlya razvitiya ekologicheskogo turizma. [Econet of the Krasnojarsk Krai as a basis for ecotourism development] Molodyozh' i nauka // 10-ya vsrossijskaja nauchno-tehnicheskaya konf. s mezhdunarodnym uchastiem. Krasnojarsk, 2014 (in Russian).
- Vostochnyj Sayan. [Eastern Sayan Mountains] URL: <http://www.rusadventures.ru/articles/353.aspx> (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Gromov K.I.* Sayanskij zapovednik [The Sayan Reserve] // Zapovedniki SSSR. M., 1951 (in Russian).
- Gusanov A.A.* Upravlenie ekologicheskim turizmom v regionah Rossii. [Management of ecotourism in the regions of Russia] Avtoref. diss. kand. ek. nauk. 08.00.05. M., 2010. 26 s. (in Russian).
- Kenozerskij nacionalny park. [Kenozero National Park] URL: <http://www.kenozero.ru/> (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Kolbovskij E.Ju.* Kulturnyj landshaft i ekologicheskaya organizaciya territorii regionov: na primere Verhnevolzh'ya. [Cultural landscape and the ecological organization of regional territories (case study of the Upper Volga River region)] Dis. ... dokt. geogr. n. 11.00.01. Jaroslavl'. 1999. 394 s. (in Russian).
- Kuskov A.S., Golubeva V.L., Odincova T.N.* Rekreacionnaya geografiya: uchebno-metodicheskij kompleks [Recreational geography: teaching-methodical complex] // Ros. akad. obrazovanija, mosk. psihol.-soc. in-t. M.: Flinta: MPSI, 2005. 493 s. (in Russian).
- Nacionalny park: Bashkiriya. [National park: Bashkiriya] URL: <http://npbashkiriya.ru> (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Nacionalny park: Russkij Sever. [National park: Russkij Sever] URL: <http://parkrusever.ru/> (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Otchet o peshe-vodnom turistskom pohode pyatoy kategorii slozhnosti po Centralnomu Sajanu, sovershenom s 31.07 po 24.08.2000 g. [Report on the fifth-category hiking-water tour in the Central Sayan Mountains during 31.07–24.08 2000] URL: http://www.skitalets.ru/foot/2005/sayani_holkin. (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Prirodny park: Ergaki. [Natural park: Ergaki] URL: <http://www.ergaki-park.ru/> (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Reki Centralnogo Sajana. [Rivers of the Central Sayan Mountains] URL: <http://sayansib.ru/articles/articles-about-sayan/123-the-rivers-of-the-central-sayan>. (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Solovyev D.K.* Zapovedniki, ih vydelenie, znachenie, organizaciya i prochee [Reserves, their delimitation, importance, organization etc.] // Sajanskij ohot.-promyslovij r-n i sobolinyj promysel v nyom: otchyot Sajan. ekspedicii Departamenta zemledeliya. Petrograd, 1920 (in Russian).
- Solovyev D.K.* Sayanskij promyslovo-ohotnichij rajon i sobolinyj promysel v nyom. [The Sayan game hunting area and the sable hunting] Trudy ekspedicii po izucheniyu sobolya i issledovaniyu sobolinogo promysla, Petrograd, 1921 (in Russian).
- Solovyev D. K.* Tipy organizacij sposobstvujushchih ohrane prirody. [Types of organizations supporting the environment protection] Petrograd. Devtataya gosudarstvennaya tipografiya. Mohovaya, 40. 1918 (in Russian).
- Tofalariya. [Tofalariya] URL: <http://www.tofalaria.ru/orografi.html> (Accessed: 01.10.2014) (in Russian).
- Yakovleva S.I.* Karkasnye modeli v regionalnyh shemah territorialnogo planirovaniya. [Network models in the regional schemes of territorial planning] Pskovskiy regionologicheskij zhurnal. 2013. № 15 (in Russian).

Received 20.08.2015

Accepted 09.02.2017

УДК 911.8:33:630

С.Н. Жаринов¹, Е.И. Голубева²

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ (НА ПРИМЕРЕ ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ)

Рассмотрены подходы к экономической оценке ущерба от лесных пожаров, учитывающей различные экономические, экологические, социальные и биосферные функции леса. Необходимость расчета ущерба обусловлена требованием определения эффективности затрат, направленных на предотвращение или уменьшение влияния негативных прямых и косвенных воздействий лесных пожаров. Показатель соотношения ущерба и затрат на его предотвращение определяет экономическую эффективность вложенных средств и дальнейший выбор финансирования наиболее эффективных природоохранных мероприятий. Для Тверской области проведена комплексная экономическая оценка последствий лесных пожаров по трем основным блокам: продукция леса: древесина, недревесные лесные ресурсы; функции леса: климаторегулирующая, водоохранная, водорегулирующая, рекреационная; стоимость работ по восстановлению поврежденных территорий и тушению лесных пожаров. Использование нормативной стоимости ресурсов дает заниженную стоимость ущерба, что в конечном итоге может оказать влияние на анализ экономической эффективности при планировании противопожарных мероприятий. Проведенная методика расчета ущерба показала нормативную стоимость утраты лесных благ для экономики страны и ее регионов от лесных пожаров.

Ключевые слова: ущерб, стоимость ресурсов и функций леса, затраты на ликвидацию последствий лесных пожаров, экономическая эффективность планирования противопожарных мероприятий.

Введение. Проведение экономической оценки последствий негативных антропогенных воздействий, в том числе лесных пожаров, остается актуальным в настоящее время. Разнообразие подходов и обилие компонентов, которым наносится ущерб, делает этот процесс сложным с методологической точки зрения.

По данным официальной статистики, ежегодно количество лесных пожаров на территории Российской Федерации насчитывает десятки тысяч, а их общая площадь равняется нескольким миллионам гектар [ЕМИСС]. Основной причиной возникновения пожаров в лесу является антропогенный фактор. Очевидно, что лесные пожары наносят непоправимый вред, который отражается на жизнедеятельности человека. Комплексно оценить размер ущерба от лесных пожаров зачастую не представляется возможным, поскольку их последствия находят свое отражение в разных отраслях экономики, проявляясь не только на пораженных территориях, но и за их пределами, даже спустя несколько лет.

Необходимость расчета ущерба в первую очередь вызвана требованием определения эффективности затрат, направляемых на предотвращение или уменьшение влияния негативных воздействий. Под эффективностью затрат понимается достижение результатов наиболее экономичным способом [Экономика ..., 2000]. Показатель соотношения ущерба и затрат на его предотвращение определяет экономическую эффективность вложенных средств и

дальнейший выбор финансирования наиболее эффективных природоохранных мероприятий.

Цель исследования – консолидация подходов к экономической оценке последствий лесных пожаров. Для достижения цели поставлены следующие задачи: изучить существующие подходы к определению ущерба; выявить компоненты окружающей среды и социально-экономической сферы, которым наносится ущерб; провести комплексную количественную оценку ущерба.

Оценка ущерба от лесных пожаров тесно сопряжена с определением стоимости леса, предоставляемых им услуг и биосферными функциями. Поэтому прежде чем приступить к оценке ущерба, необходимо выявить функции леса, которые теряют качественные и количественные характеристики в результате воздействия огня.

Материалы и методы исследований. Единый подход к экономической оценке ущерба, причиняемого окружающей среде, способен обеспечить законодательство. В различных принимаемых нормативных правовых актах содержится методология определения ущерба, возникающего вследствие негативного воздействия на окружающую среду, в том числе лесных пожаров.

Стоимостное определение ставки платы за единицу объема древесины лесных насаждений проводится по разнице в ценах на продукцию из древесины и некоторой усредненной величины затрат на производство этой продукции, включая оплату труда, материалов, энергии, сумм износа основных

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра рационального природопользования, аспирант; e-mail: snzharinov@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра рационального природопользования, профессор, докт. биол. н.; e-mail: egolubeva@gmail.com

средств. На основании усредненных результатов, полученных на федеральном уровне, устанавливаются минимальные ставки платы за кубометр деловой и дровяной древесины [Экономическая ..., 1999]. Эти ставки дифференцированы по областям, лесным породам, таксовым разрядам и расстоянию вывозки древесины [Постановление ..., 2007]. Законодательное применение поправочных коэффициентов ежегодно корректирует ставку платы за единицу объема древесины той или иной породы.

Было отмечено, что при данном подходе основным недостатком в определении стоимости древесины является то, что централизованно установленные показатели не отражают реальную ценовую ситуацию на рынке леса [Экономическая ..., 1999]. Действительно, единственное назначение ставок платы – это определение начальной цены аукциона за право пользования участка леса с целью заготовки древесины [Корякин ..., 2013]. Соответственно, инструментальный рынок может полученную стоимость увеличить при наличии конкуренции.

В законодательстве порядок расчета ущерба от лесных пожаров существует с 1986 г. [Постановление ..., 1986]. В основу расчета положена ставка платы за древесину. Путем умножения объема поврежденной древесины на ставку платы определяется итоговый размер ущерба во всех категориях лесов, кроме защитных. При повреждении древесины, произрастающей в защитных лесах, полученная сумма ущерба увеличивается в 2 раза. Таким образом, можно говорить о том, что методология предусматривает учет не только прямого (древесина), но и косвенного (защитная функция лесов) ущерба. Однако в основу оценки косвенного ущерба положена ставка платы за древесину, что влияет на корректность расчетов стоимости защитных функций леса.

В 1998 г. принята новая методология учета ущерба, возникающего от лесных пожаров [Приказ ..., 1998]. В ее основу была положена таксовая стоимость древесины: по специальным таблицам рассчитывался объем ее потери, который зависел от вида пожара, его интенсивности и породы деревьев, которые повреждаются. Помимо учета потерь древесины, инструкция предусматривала расчет ущерба от повреждения ресурсов побочного пользования, от подавления почвозащитных, санитарно-гигиенических, водоохранных и других средообразующих функций леса, от загрязнения воздушной среды продуктами горения, от гибели животных и растений, занесенных в Красную книгу Российской Федерации. Кроме того, в сумму ущерба входили расходы на расчистку горельников и санитарные рубки в насаждениях, которые повреждались лесными пожарами, а также расходы на тушение пожаров.

На данный момент действующей является методология, утвержденная в 2007 г. [Постановление ..., 2007]. В понимании положений данного документа вред представляет собой ущерб и упущенную выгоду. Под упущенной выгодой понимаются

неполученные доходы от использования лесов. При определении стоимости потери древесины ее условно разделяют на 2 вида: поврежденную до степени прекращения роста и поврежденную не до степени прекращения роста. В первом случае размер ущерба составляет 50-кратную таксовую стоимость древесины, во втором – 10-кратную стоимость. Расчет ущерба от утраты средозащитных функций основан на применении повышающих коэффициентов. Они применяются только в отношении территорий защитных лесов и особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В сумму ущерба включаются расходы, связанные с тушением лесных пожаров и приведением территории в состояние, пригодное для дальнейшего использования.

Анализ методик определения размера ущерба, утвержденных нормативными правовыми актами, показал, что существующие подходы к оценке экономического ущерба носили и носят сугубо административный характер. Поскольку в основу их положено субъективное оценивание, целью которого является увеличение (или занижение) реальной стоимости потерь путем применения системы коэффициентов и кратности. Следовательно, ущерб, рассчитанный по рассмотренным методикам, не может использоваться в экономических целях, поскольку не отражает реального ущерба экономике.

Нами предлагается для оценки эффективности затрачиваемых средств разработать методику оценки ущерба, возникающего от лесных пожаров, в основу которой положен покомпонентный подход. Это создаст возможность исключения или включения стоимости ущерба, наносимого отдельным составляющим, для проведения соответствующих расчетов. Обязательным условием предлагаемой методики является то, что стоимость ущерба, наносимого отдельным компонентам (помимо древесины) не должна основываться на таксовой стоимости леса.

Согласно Лесному кодексу Российской Федерации (от 04.12.2006 №200-ФЗ), полномочия по организации мер пожарной безопасности в лесах на землях лесного фонда переданы органам государственной власти субъектов РФ. Поэтому определение ущерба от лесных пожаров, рассчитанное в отношении субъекта РФ, представляется наиболее целесообразным, поскольку позволит оценить экономическую эффективность средств, затрачиваемых на организацию системы охраны лесов от пожаров в том или ином регионе.

Апробация предлагаемой методики оценки ущерба, возникающего от лесных пожаров, проведена на примере Тверской области, входящей в состав Центрального федерального округа РФ. При расчете ущерба учитывались лесные пожары, действовавшие с 2007 по 2014 гг. на территории земель лесного фонда данного региона. За указанный период здесь возникло 1097 пожаров, их общая площадь составила 8996 га [Фондовые ..., 2015].

Результаты исследований и их обсуждение. Поскольку покомпонентный подход при проведении

работ по расчету ущерба связан с классификацией ресурсов леса, то его можно условно разделить на 3 основных блока:

1. Продукция леса: древесина, недревесные лесные ресурсы;

2. Функции леса: климаторегулирующая, водохранная, водорегулирующая, рекреационная;

3. Стоимость работ по восстановлению поврежденных территорий и тушению лесных пожаров.

Ущерб, наносимый ресурсам, относящимся к первому блоку, определялся исходя из их прямой стоимости; функциям, отнесенным ко второму блоку, – исходя из их альтернативной стоимости; стоимость необходимых работ – путем определения затрат на их выполнение (затратным методом).

Выявление новых видов природных ресурсов и функций, не традиционных с точки зрения хозяйственной деятельности, но необходимых для поддержания определенного качества окружающей человека природной среды, может потребовать проведения корректировки составляющих ущерба. Поэтому предлагаемый перечень не претендует на полноту, особенно в части тех функций, ущерб от потери которых проявляется косвенно. В большей степени это связано с тем, что некоторые функции в настоящий момент не подлежат монетизации.

Древесина. Определению прямого ущерба от пожаров должно предшествовать установление массы сгоревшей, непригодной к употреблению, а также не могущей быть использованной древесины на всей площади пожара. Вполне понятно, что в каждом отдельном случае в зависимости от вида пожара, его интенсивности, а также состава, возраста и состояния древостоев ущерб от пожара неодинаков [Вакуров, 1975].

Для вычисления массы сгоревшей древесины был определен вид лесных пожаров, который преобладает на покрытой лесом территории. За период с 2007 по 2014 гг. доминирующим в лесах Тверской области являлся низовой вид пожаров, составляя 98% по количеству и 99% по площади [Фондовые ..., 2015].

Для определения объема потерь древесины от пожаров для каждой породы были применены средние значения отпада для низовых пожаров [Приказ ..., 1998]. Проведенные вычисления показали, что процент отмершей древесины и последующий отпад будет составлять для ели 47%, сосны – 20%, для мягколиственных пород – 26%.

Для унификации определения объема потерь древесины на основе данных [Лесохозяйственные ..., 2015] был определен его средний запас с последующим распределением по основным лесообразующим породам на 1 гектар площади по каждому лесничеству.

Произведение площади пожаров на покрытых лесом землях и запаса древесины на гектар по каждой породе, определяет запас поврежденной древесины на этой площади. Объем потерь древесины по отдельным породам вычисляется умножением запаса этих пород на соответствующий им средний процент отпада древесины.

В денежном выражении ущерб от потерь древесины исчисляется как произведение ставок платы за древесину средней крупности [Постановление ..., 2007] на объем потерь древесины соответствующих древесных пород (1).

$$Y_{\text{экид}} = \Pi \times (Z_1 \times O_1 \times C_1 + O_{11} \times Z_{11} \times C_{11} + \dots + O_m \times Z_m \times C_m), \quad (1)$$

где $Y_{\text{экид}}$ – экономический ущерб от потери древесины, руб.; Π – площадь пожаров на покрытой лесом территории, га; Z_i – запас лесообразующей породы, м³/га; O_i – отпад, %; C_i – ставка платы за 1 м³ лесообразующей породы, руб.

Ставки платы применялись с использованием коэффициентов индексации к ставкам платы за единицу объема древесины, заготавливаемой на землях, находящихся в федеральной собственности [Постановление ..., 2007].

В среднем за рассматриваемый период ущерб от потери древесины составил около 4 млн 460 тыс. руб. ежегодно или 5 тыс. руб./га. Его наибольшие показатели регистрируются на территории Тверского, Фировского, Кашинского лесничеств (рис. 1).

Недревесные лесные ресурсы. К недревесным ресурсам леса относятся: ягоды, грибы, березовый сок, пневой осмол, береста, еловая и сосновая лапа, хворост и веточный корм, ель для новогодних праздников, мох и лесная подстилка [Постановление ..., 2007]. Для вычисления потерь был определен объем для каждого вида на 1 гектар для всех лесничеств [Лесохозяйственные ..., 2015]. На площадях, пройденных огнем, данные ресурсы уничтожаются, то есть полностью утрачивают свою ценность. В денежном выражении ущерб от потерь недревесных ресурсов леса исчислялся как произведение ставок платы за единицу недревесного ресурса [Постановление ..., 2007] на объем его потерь (2):

$$Y_{\text{экир}} = \Pi \times (P_i \times C_i + P_{i1} \times C_{i1} + \dots + P_{in} \times C_{in}), \quad (2)$$

где $Y_{\text{экир}}$ – ущерб от потерь недревесных ресурсов, руб.; P_i – объем вида ресурса, кг/га; Π – площадь пожара, га; C_i – стоимость единицы объема ресурса, руб.

В среднем за рассматриваемый период ущерб от потери недревесных ресурсов леса составлял около 9,6 тыс. руб. ежегодно или 8 руб./га.

Климаторегулирующая функция. Колебания климата во многом связаны с содержанием углерода в атмосфере [Замолотчиков с соавт., 2015]. Изменение климатических условий обуславливает трансформацию структуры природопользования регионов, влечет за собой дополнительные затраты на осуществление адаптационных мер, а также на ликвидацию негативных последствий. Поэтому необходимо способствовать поддержанию концентрации углерода в атмосфере, а поскольку лесные территории являются его консерваторами, эмиссия CO₂ в атмосферу, связанная с лесными пожарами, является ущербом. Он выражается не только в утрате способности определенных территорий депонировать углерод, но и к высвобождению уже накопленного углерода.

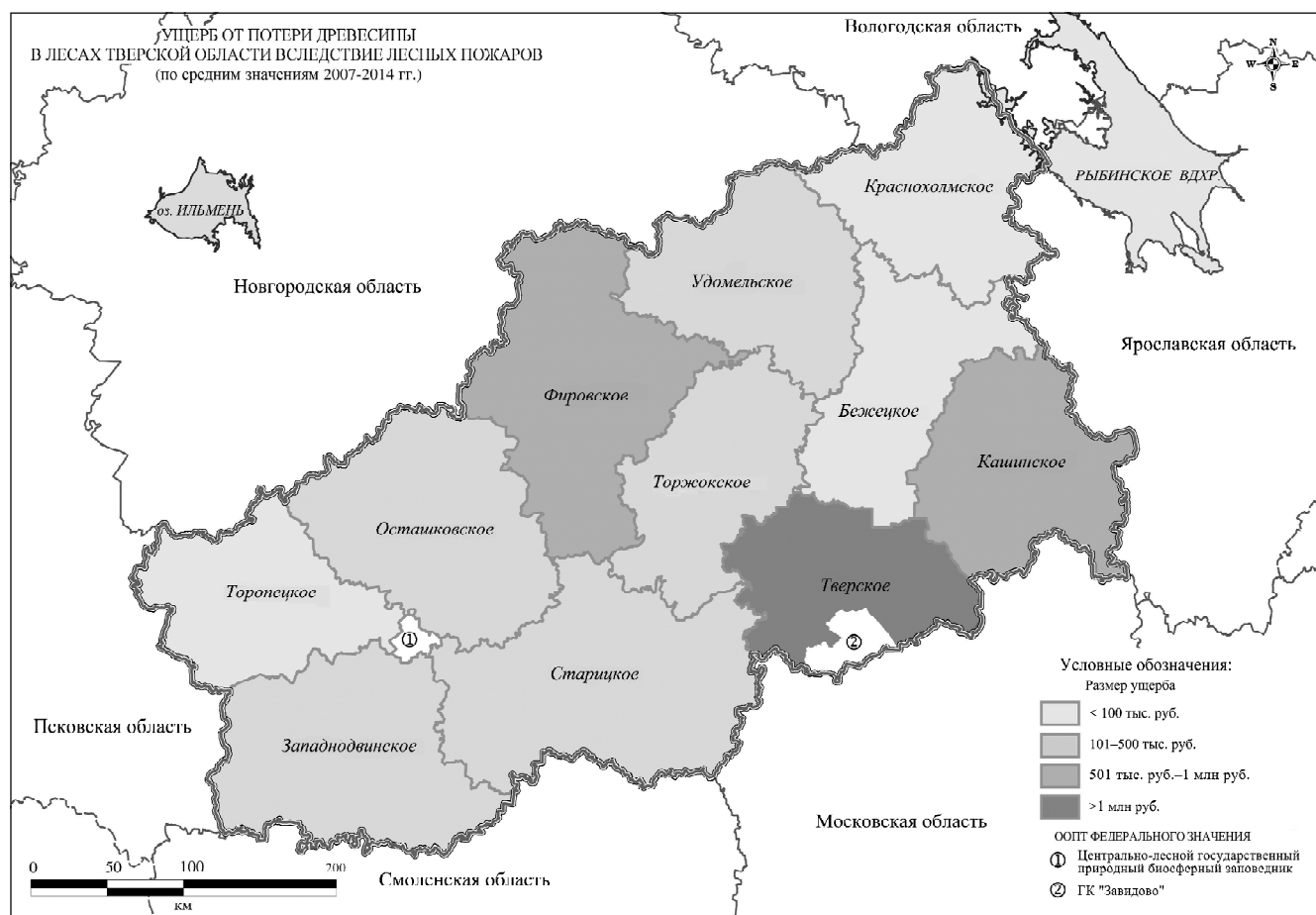


Рис. 1. Ущерб от потери древесины

Fig. 1. Damage from the loss of timber

При определении ущерба от утраты способности депонировать углерод считалось, что данная функция у поврежденных огнем площадей в Тверской области отсутствует 9 лет [Замолотчиков, 2015], что связано со сроком лесовосстановления до степени ранее утраченных свойств поглощения углерода. Определение объема углерода, который могли бы поглощать насаждения, проводилось только в отношении площадей, на которых зарегистрирована гибель лесных насаждений от лесных пожаров [Обзор ..., 2015]. Расчет объема депонируемого углерода древесными насаждениями был выполнен для каждого лесничества с использованием программы [Замолотчиков, 2015] на основе распределения площади лесов и запасов древесины по преобладающим породам и группам возраста по данным лесохозяйственных регламентов. Для определения стоимости потери функции использовались величины нормативов платы за выброс загрязняющих веществ (по углероду) с применением коэффициентов индексации для разных лет [Постановление ..., 2003].

В среднем за рассматриваемый период ущерб от утраты способности депонирования углерода составляет около 90,3 тыс. руб. ежегодно или 0,3 тыс. руб./га.

Процесс горения сопровождается выделением в окружающую среду продуктов пиролиза: оксид углерода (CO), диоксид углерода (CO₂), оксиды азо-

та (NO_x), сажа (C), дым (SiO₂), метан (CH₄), непредельные углеводороды, озон (O₃) [Приказ ..., 1997]. При определении ущерба от их выделения используются нормативы платы за выбросы загрязняющих веществ [Постановление ..., 2003]. В соответствии с методикой определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров [Приказ ..., 1997] вычислены их объемы (3):

$$M\alpha = \Pi \times K\alpha \times Mзв, \quad (3)$$

где $M\alpha$ – масса вещества, кг; Π – площадь пожара, га; $K\alpha$ – значение коэффициента эмиссии для каждого вещества, кг/кг; $Mзв$ – масса сгорающих органических материалов, т/га.

Исследования показывают, что при низовых пожарах масса сгорающего вещества составляет 12 т/га, при подземных (торфяных) – 120 т/га [Углерод ..., 1997]. В связи с тем, что объем сгорающих веществ зависит от вида пожара, расчет объема выброса загрязняющих веществ определялся отдельно для низовых и торфяных пожаров по каждому продукту пиролиза.

Стоимость ущерба от выделения в окружающую среду продуктов пиролиза определялась по формуле 4.

$$Y_{\text{эклп}} = M_i \times C_i + M_{i1} \times C_{i1} + \dots + M_{in} \times C_{in}, \quad (4)$$

где $Y_{\text{эклп}}$ – ущерб от утраты климаторегулирующей функции, руб; M_i – масса загрязняющего вещества,

т; C_i – плата за выброс тонны загрязняющего вещества в окружающую среду, руб.

Полученные данные показывают, что наибольший ущерб наблюдался в 2014 г. Это связано не только с наибольшей площадью лесных пожаров в этом году, но и с тем, что 66% (2878 га) площади, пройденной огнем, пришлось на подземные (торфяные) пожары.

В среднем за рассматриваемый период ущерб от выделения в окружающую среду продуктов горения составляет 3 384,1 тыс. рублей ежегодно или 1,7 тыс. руб./га.

Водоохранная функция леса определяется увеличением водоносности подземных источников за счет поверхностных вод. Ущерб от полной или частичной гибели лесов оценивают через снижение пополнения поверхностными водами подземных источников по формуле 1 [Приказ ..., 2007]:

$$U_{\text{эклвх}} = \Pi \times U_{\text{гс}} \times T \times B, \quad (5)$$

где $U_{\text{эклвх}}$ – экономический ущерб от потери водоохранной функции леса, руб.; Π – площадь погибших древостоев, га; $U_{\text{гс}}$ – объем прироста грунтового стока (65 м³/га); T – тариф на воду (0,45 руб./м³); B – время, необходимое для восстановления гидрологических свойств лесных почв (4 года).

В среднем за рассматриваемый период ущерб от утраты водоохранной функции составил 23,8 тыс. руб. ежегодно или 7 руб./га.

Водорегулирующая функция леса заключается в увеличении водности, снижении заселения и загрязнения водоемов и рек сточными, стоковыми водами, продуктами эрозии. Потеря водорегулирующих свойств леса в результате гибели насаждений определяется с использованием формулы 2 [Приказ ..., 2007]:

$$U_{\text{эклвр}} = \Pi \times U_{\text{гсп}} \times T \times B, \quad (6)$$

где $U_{\text{эклвр}}$ – экономический ущерб от потери водорегулирующей функции леса, руб.; $U_{\text{гсп}}$ – объем перевода запретных и водоохранных зон поверхностных вод во внутрипочвенные (1500 м³/га).

В среднем за рассматриваемый период ущерб от утраты водорегулирующей функции составляет 549,5 тыс. руб. ежегодно, что соответствует 1,6 тыс. руб./га.

Необходимо отметить, что тарифы за потребление м³ воды в среднем по Тверской области за период с 2007 по 2014 г. составляли от 11 до 19 руб., что значительно больше установленного тарифа, поэтому стоимость утраты водоохранной и водорегулирующей функции может быть занижена.

При рассмотрении подходов к определению ущерба от потери **рекреационной функции** принималось, что она утрачена полностью на площади, пройденной огнем. Стоимость выполнения данной функции принималась как нормативная [Постановление ..., 2007], определенная для каждого муниципального района Тверской области, равная стоимости минимальной ставки платы за использование лесного участка в рекреационных целях.

В среднем за рассматриваемый период стоимость утраты рекреационной функции составляет 7730,4 тыс. руб. ежегодно или 7,7 тыс. руб./га.

Перечень мероприятий по **восстановлению поврежденных территорий** включает: расчистку горельников, обработку почвы под лесные культуры, посадку лесных культур, проведение агротехнического ухода, дополнение лесных культур, уход за молодняками [Лесной ..., 2015]. Для адекватного определения стоимости выполнения данных работ необходимо иметь расчетно-технологические карты нормативов выполнения каждого вида мероприятий. Такие нормативы утверждены и включены в Лесной план Тверской области. Таким образом, применяемая стоимость выполнения единицы лесохозяйственных работ учитывает региональные социально-экономические условия. Установленные нормативы [Лесной ..., 2015] позволяют оценить стоимость восстановления леса, а затраты на выполнение необходимых мероприятий включить в состав ущерба. Стоимость работ рассчитывалась в отношении той площади леса, на которой насаждения погибли по причине воздействия огня [Обзор ..., 2015].

В среднем за рассматриваемый период стоимость восстановления поврежденных территорий составляет около 17597,1 тыс. руб. ежегодно или 59,8 тыс. руб./га.

Выполнение работ по **тушению лесных пожаров** влечет за собой финансовые затраты, которые можно считать ущербом. Определение его размера проводилось с использованием данных [Фондовые ..., 2015] о фактических израсходованных средствах при работах, связанных непосредственно с тушением лесных пожаров.

В среднем за рассматриваемый период стоимость тушения лесных пожаров составляет 4843,3 тыс. руб. ежегодно или 7,2 тыс. руб./га.

Общий экономический ущерб. В среднем за рассматриваемый период ущерб от лесных пожаров составил 38 690 тыс. руб. в год или 82,6 тыс. руб. на 1 гектар лесного пожара.

Расчетные данные показывают, что ущерб за рассматриваемый период неодинаков, его пиковые значения наблюдались в 2010 и 2014 гг., что обусловлено наибольшими площадями пожаров в эти годы, минимальные показатели ущерба регистрируются в 2012 и 2013 гг., что связано с наименьшими площадями пожаров в этот период.

По результатам проведенных расчетов определена структура ущерба от лесных пожаров (рис. 2).

Максимальные значения ущерба приходятся на территории Тверского, Фировского, Кашинского лесничеств. Минимальный ущерб наносится территориям Краснохолмского, Бежецкого, Торжокского, Торопецкого лесничеств (рис. 3), что согласуется с показателями площадей лесных пожаров на приведенных территориях.

Территориальную структуру горимости лесов региона определяет рекреационный фактор и природно-климатические условия, которые обуславливают в разной степени возникновение и распространение пожаров на определенных территориях [Государствен-

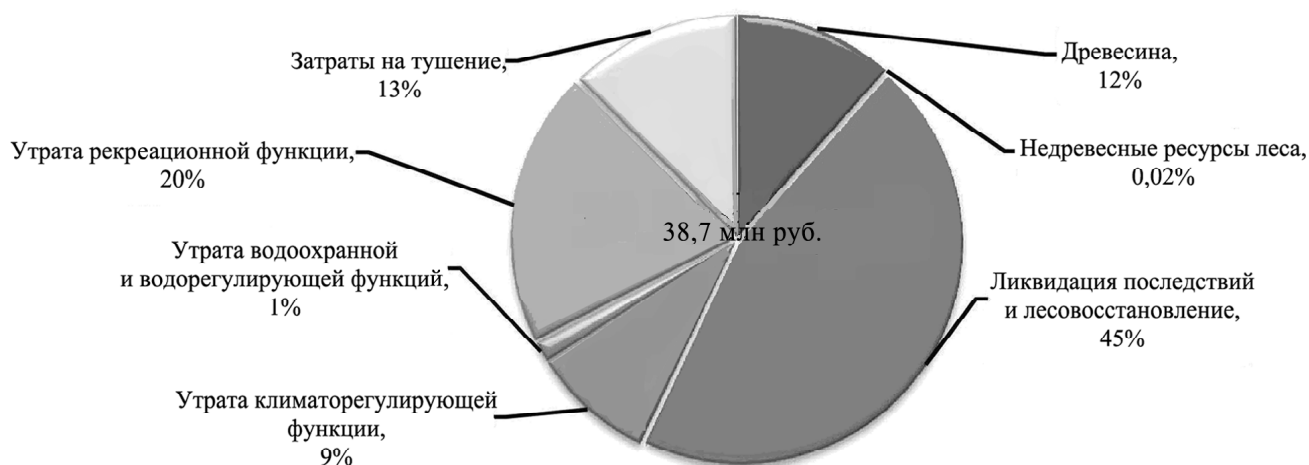


Рис. 2. Структура ущерба от лесных пожаров

Fig. 2. Structure of forest fires damage

ное ..., 2016]. Например, Тверское и Кашинское лесничества характеризуются наибольшими рекреационными нагрузками, а Фировское – повышенным классом природной пожарной опасности.

– поскольку в основу некоторых оценок заложены усредненные данные, предлагаемая методика наиболее точно определяет ущерб от пожаров в целом по субъекту Российской Федерации. Для оцен-

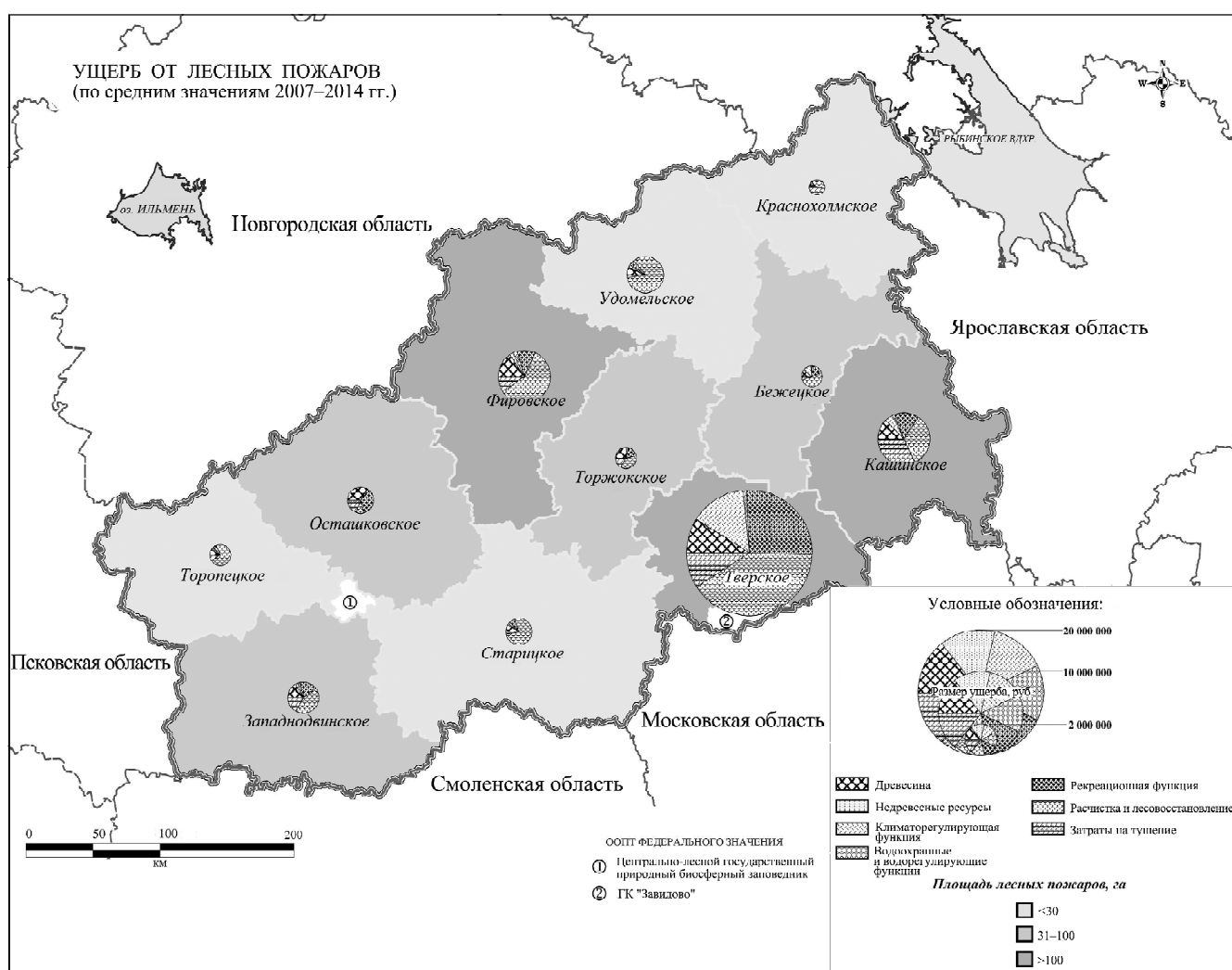


Рис. 3. Территориальная структура ущерба от лесных пожаров

Fig. 3. Territorial structure of forest fires damage

ки ущерба в отношении отдельного лесного пожара целесообразнее использовать данные, характерные для локального уровня;

– основным преимуществом примененного компонентного подхода является возможность оперирования составляющими ущерба в зависимости от поставленных целей. Например, для правильного планирования расходов на предупредительные мероприятия по охране лесов от пожаров и адекватной оценки их эффективности, затраты на тушение лесных пожаров можно включить в состав противопожарных мероприятий, а не в состав ущерба.

Предлагаемая методика расчета ущерба показывает стоимость утраты благ, производимых лесными территориями, с применением нормативного подхода. Помимо оценки от потери материальных ресурсов показана возможность определения стоимости некоторых экологических функций с формированием относительных оценок. Поэтому выполняемая оценка эффективности понесенных или планируемых затрат на осуществление противопожарных мероприятий с использованием результатов данного исследования будет учитывать не только социально-экономический, но и экологический аспект ценности лесных территорий.

Краснохолмское, Бежецкое, Торжокское и Торопецкое лесничества наименее привлекательны в рекреационном отношении и характеризуются низким классом природной пожарной опасности.

Выводы:

– утрата древесины как ресурса не оказывает значительного влияния на итоговую оценку ущерба, возникающего по причине лесных пожаров в Тверской области. Основную его часть составляют затраты на восстановление поврежденных территорий и прекращение действий экологических и социальных функций леса;

– выполненная оценка ущерба отдельных компонентов проведена независимо друг от друга, то есть стоимость утраты одного компонента не основана на стоимости другого, что исключает возможность мультиплицирования размера ущерба при его некорректном определении;

– в расчет утраты некоторых функций были заложены данные нормативной стоимости платы за использование ресурсов, что создает условия для недооценки ущерба, поскольку она в большинстве случаев ниже рыночной. Так, нормативная стоимость недревесных лесных ресурсов ниже рыночной более чем в 100 раз;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вакуров А.Д. Лесные пожары на Севере. М., 1975. 100 с.
- Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.fedstat.ru>. (Дата обращения: 11.02.2015).
- Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Краев Г.Н. Региональная оценка бюджета углерода лесов (РОБУЛ). Версия 1.1. М.: ЦЭПЛ РАН, 2011. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.cepl.rssi.ru/regional.htm. (Дата обращения: 06.11.2015).
- Замолодчиков Д.Г., Кобяков К.Н., Кокорин А.О., Алейников А.А., Шматков Н.М. Лес и климат. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2015. 40 с.
- Корякин В.А. Определение размера арендной платы при использовании лесов. Методическое пособие. М.: ФАУ ВИПКЛХ, 2013. 28 с.
- Лесной план Тверской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://les.tver.ru/index.php/normativnye-dokumenty>. (Дата обращения 22.07.2015).
- Лесохозяйственные регламенты лесничеств Тверской области. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://les.tver.ru/index.php/normativnye-dokumenty>. (Дата обращения 22.07.2015).
- Обзор санитарного и лесопатологического состояния лесов Тверской области в 2014 году и прогноз лесопатологической ситуации на 2015 год. М.: Филиал ФГУ «Рослесозащита» «Центр защиты леса Тверской области», 2015.
- Постановление Гослесхоза СССР от 22.04.1986 № 1 «Инструкции о порядке привлечения к ответственности за нарушение лесного законодательства».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 12.06.2003 № 344 «О нормативах платы за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками, сбросы загрязняющих веществ в по-
- верхностные и подземные водные объекты, в том числе через централизованные системы водоотведения, размещение отходов производства и потребления».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 08.05.2007 № 273 «Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 22.05.2007 № 310 «О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности».
- Приказ Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 05.03.1997 № 90 «Об утверждении методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу».
- Приказ Рослесхоза от 29.12.2007 № 523 «Об утверждении методических документов».
- Приказ Федеральной службы лесного хозяйства России от 03.04.1998 № 53 «Об утверждении инструкции по определению ущерба, причиняемого лесными пожарами».
- Углерод в биогеоценозах. Чтения памяти академика В.Н. Сукачева, XV. М., 1997. 126 с.
- Фондовые материалы Министерства лесного хозяйства Тверской области: Книги учетов лесных пожаров на территории Тверской области с 2007 по 2014 год Министерства лесного хозяйства Тверской области.
- Экономика. Толковый словарь. М.: «ИНФРА-М», Изд-во «Весь Мир». Дж. Блэк / Общ. ред. И.М. Осадчая, 2000.
- Экономическая оценка биоразнообразия / Под. ред. С.Н. Бобылева, А.А. Тишкова. М., 1999. 112 с.

Поступила в редакцию 19.07.2016
Принята к публикации 09.02.2017

S.N. Zharinov¹, E.I. Golubeva²ECONOMIC EVALUATION OF FOREST FIRES EFFECTS
(CASE STUDY OF THE TVER OBLAST)

Approaches to economic evaluation of the damage caused by forest fires are discussed, taking into account various economic, ecological, social and biospheric functions of forests. The damage should be calculated in order to determine the cost-effectiveness of preventing or reducing the direct and indirect negative effects of forest fires. Ratio of the damage and the costs of its prevention determines the cost-effectiveness of investment and the selection of the most effective financing of environmental protection measures. A comprehensive economic evaluation of forest fires effects for the Tver Oblast includes three main blocks: forest products: timber, non-timber forest resources; forest functions: climate-regulating, water protection, water, recreation; and the cost of the restoration of damaged areas and fighting forest fires. Application of standard costs of some resources underestimates the damage, thus affecting the cost-effectiveness analysis for the planning of fire prevention measures. Suggested technique of damage calculation gives a normative value of the loss of forest benefits because of forest fires for the economy of the country and its regions.

Key words: damage, cost of forest resources and functions, costs of eliminating the consequences of forest fires, cost-effectiveness of fire prevention planning.

REFERENCES

- Ekonomicheskaya otsenka bioraznoobraziya [Economic assessment of biodiversity] / Pod. red. S.N. Bobyleva, A.A. Tishkova. M., 1999. 112 s. (in Russian).
- Ekonomika. Tolkovyy slovar'. [Economics. Dictionary] M.: «INFRA-M», Izd-vo «Ves'Mir». Dzh. Blek / Obshch. red. I.M. Osadchaya, 2000 (in Russian).
- Fondovyye materialy Ministerstva lesnogo khozyaystva Tverskoy oblasti: Knigi ucheta lesnykh pozharov na territorii Tverskoy oblasti s 2007 po 2014 god. [Records of forest fires within the Tver Oblast territory during 2007–2014] Ministerstva lesnogo khozyaystva Tverskoy oblasti (in Russian).
- Koryakin V.A. Opredeleniye razmera arendnoy platy pri ispol'zovanii lesov. [Calculation of rental rates for forest use] Metodicheskoye posobiye. M.: FAU VIPKLKH, 2013. 28 s. (in Russian).
- Lesnoy plan Tverskoy oblasti. [Forest plan of the Tver Oblast] [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://les.tver.ru/index.php/normativnye-dokumenty>. Data obrashcheniya 22.07.2015 (in Russian).
- Lesokhozyaystvennyye reglamenty lesnichestv Tverskoy oblasti. [Forest management regulations for forest divisions of the Tver Oblast] [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://les.tver.ru/index.php/normativnye-dokumenty>. Data obrashcheniya 22.07.2015 (in Russian).
- Obzor sanitarnogo i lesopatologicheskogo sostoyaniya lesov Tverskoy oblasti v 2014 godu i prognoz lesopatologicheskoy situatsii na 2015 god. [Review of sanitary and forest pathology status of the forests in the Tver Oblast in 2014 and the 2015 forecast of the forest pathology situation] M.: Filial FGU «Roslesozashchita» «Tsentr zashchity lesa Tverskoy oblasti», 2015 (in Russian).
- Postanovleniye Gosleskhoza SSSR ot 22.04.1986 № 1 [Decree of the State Committee of Forestry on 22.04.1986 № 1] «Instruktsii o poryadke privlecheniya k otvetstvennosti za narusheniye lesnogo zakonodatel'stva» (in Russian).
- Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 08.05.2007 № 273 [Decree of the Government of the Russian Federation on 08.05.2007 № 273] «Ob ischislenii razmera vreda, prichinnogo lesam vsledstviye narusheniya lesnogo zakonodatel'stva» (in Russian).
- Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 12.06.2003 № 344 [Decree of the Government of the Russian Federation on 12.06.2003 № 344] «O normativakh platy za vybrosy v atmosferynyy vozdukh zagryaznyayushchikh veshchestv statsionarnymi i peredvizhnymi istochnikami, sbrosy zagryaznyayushchikh veshchestv v poverkhnostnyye i podzemnyye vodnyye ob'yekty, v tom chisle cherez tsentralizovannyye sistemy vodootvedeniya, razmeshcheniye otkhodov proizvodstva i potrebleniya» (in Russian).
- Postanovleniye Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii ot 22.05.2007 № 310 [Decree of the Government of the Russian Federation on 22.05.2007 № 310] «O stavkakh platy za yedinitu ob'yema lesnykh resursov i stavkakh platy za yedinitu ploshchadi lesnogo uchastka, nakhodyashchegosya v federal'noy sobstvennosti» (in Russian).
- Prikaz Federal'noy sluzhby lesnogo khozyaystva Rossii ot 03.04.1998 № 53 [Order of the Federal Forestry Service of Russia on 03.04.1998 № 53] «Ob utverzhdenii instruktsii po opredeleniyu ushcherba, prichinyayemogo lesnymi pozhamami» (in Russian).
- Prikaz Gosudarstvennogo komiteta Rossiyskoy Federatsii po okhrane okruzhayushchey sredy ot 05.03.1997 № 90 [Order of the State Committee of the Russian Federation for Environment Protection on 05.03.1997 № 90] «Ob utverzhdenii metodik rascheta vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu» (in Russian).
- Prikaz Rosleskhoza ot 29.12.2007 № 523 [Order of the Russian Committee of Forestry on 29.12.2007 № 523] «Ob utverzhdenii metodicheskikh dokumentov» (in Russian).
- Uglerod v biogeotsenozakh. [Carbon in biogeocenoses] Chteniya pamyati akademika V.N. Sukacheva, XV. M., 1997. 126 s. (in Russian).
- Vakurov A.D. Lesnyye pozhary na Severe. [Forest fires in the North] M., 1975. 100 s. (in Russian).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Environmental Management, post-graduate student; e-mail: snzharinov@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Environmental Management, Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: egolubeva@gmail.com

Yedinaya mezhvedomstvennaya informatsionno-statisticheskaya sistema (EMISS). [Integrated interdepartmental informational and statistical system] [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://www.fedstat.ru>. Data obrashcheniya: 11.02.2015 (in Russian).

Zamolodchikov D.G., Grabovskiy V.I., Krayev G.N. Regional'naya otsenka byudzheta ugleroda lesov (ROBUL).

Versiya 1.1. [Regional assessment of carbon budget in forests. Version 1.1] M.: TSEPL RAN, 2011. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: www.cepl.rssi.ru/regional.htm. Data obrashcheniya: 06.11.2015. (in Russian).

Zamolodchikov D.G., Kobyakov K.N., Kokorin A.O., Aleynikov A.A., Shmatkov N.M. Les i klimat. [Forest and climate] M.: Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF), 2015. 40 s. (in Russian).

Received 19.07.2016

Accepted 09.02.2017

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 550.4:[631.4+911.52] (571.651)

О.Д. Трегубов¹

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ В ПОЧВАХ И ЛАНДШАФТАХ АНАДЫРСКОЙ ТУНДРЫ

Исследовано взаимодействие радиальных и латеральных внутрипочвенных геохимических потоков на сопряжениях элементарных ландшафтов низменных тундр. Последовательно на примере двух типичных для Анадырской низменности урочищ рассмотрено строение геохимических ландшафтов и тундровых почв, распределение концентрации Fe, Mn, Zn, Cu на площади и в разрезе. Установлены закономерности и особенности расположения отрицательных и положительных геохимических аномалий во взаимосвязи с окислительным, глеевым и сорбционным барьерами в почвах и ландшафте. Сделан вывод, что радиальные и латеральные геохимические барьеры образуют в пространстве ландшафтов единые педологические тела, морфология которых определяется рельефом мерзлотного водоупора.

Ключевые слова: геохимические потоки, тундровые почвы, сезонно-талый слой, тундра, геохимические аномалии.

Введение. Тундровые ландшафты низменностей Крайнего Северо-Востока Евразии малопривлекательны для изучения почвенных и ландшафтно-геохимических процессов в силу низкой контрастности рельефа и близкого к поверхности залегания кровли многолетней мерзлоты, преобладания торфонакопления, аномально низкой концентрации большинства химических элементов. Поэтому радиальные и латеральные геохимические потоки, механизмы их взаимодействия в типичных тундрах и тундроболотах до настоящего времени остаются малоизученными.

Проблема взаимодействия почвоведения и геохимии ландшафтов актуальна с момента обособления наук. Общим объектом исследования для геохимии почв и ландшафтов являются геохимические барьеры [Геохимические ..., 2002; Глазовская, 2012]. Каждый генетический горизонт почв может рассматриваться как геохимический барьер определенного класса на пути радиальной миграции вещества в почвенном профиле. Набор генетических горизонтов почвенного профиля, а по сути радиальных барьеров субэкранных почв, определяет геохимическую специализацию природной почвенной зоны [Глазовская, 1972; Добровольский, 2009]. В трансэлювиальном и трансупераквальном ландшафтах радиальная миграция уступает латеральной и на границах смены условий среды формируются субгоризонтальные геохимические барьеры. Неизбежно возникает вопрос, каким образом радиальные и латеральные геохимические барьеры, являясь конкретными геологическими (педологическими) телами, вмещающими геохимические аномалии, взаимодействуют в трехмерном пространстве конкретного природного ландшафта.

Рассмотрим это взаимодействие на примере тундровых ландшафтов с мелким типом сезонного протаивания и геохимическими потоками кислого и слабокислого глеевого класса водной миграции. Для геохимической индикации сезонной оттайки автором были выявлены и описаны почвенные и ландшафтные геохимические барьеры [Трегубов, 2013]. Естественным продолжением исследования стала попытка анализа природы и формы сопряжения радиальных и латеральных геохимических потоков, чему и посвящается настоящая статья.

Объекты и методы исследования. Анадырская низменность в границах южных кустарниковых тундр занимает нижнее течение р. Анадырь, большей своей частью расположена на побережье Анадырского залива Берингова моря. Это безлесная увалистая тундра с обширными озерно-болотными котловинами и увалами, высотой от 40 до 60 м, единично по обрамлению 200–500 м [Трегубов, Львов, 2014].

Многолетнемерзлые породы (ММП) мощностью от 100 до 250 м имеют сплошное распространение. Температура ММП изменяется в пределах –1,4...–4,5 °С. В строении сезонно-талого слоя (СТС), мощностью от 45 до 75 см, выделяется несколько слоев-горизонтов, отличных по строению и составу, условиям промерзания и оттайки. Верхнюю часть разреза образует ежегодно оттаивающий почвенный профиль (35–55 см). Под почвами залегает льдистый переходный слой мощностью 10–20 см, периодически оттаивающий в теплые и дождливые годы, а также под воздействием тундровых пожаров.

В ландшафте абсолютными доминантами являются типичные кочкарные кустарничково-мохово-пушицевые тундры плоских водоразделов и пологих

¹ ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило, вед. науч. сотр., канд. геол.-минер. н.; e-mail: tregubov2@yandex.ru

склонов, бугорковатые мохово-осоковые с низкорослыми ивами полосы стока и тундроболота озерных котловин. Менее распространены кустарничковые лишайниково-моховые и разнотравно-ерниковые тундры дренируемых склонов и водоразделов. В поймах рек и ручьев обычны мохово-осоковые и злаково-разнотравные ивняки и ольховники.

На большей части низменности распространены типичные тундровые торфянистые и торфянисто-перегнойные оглеенные почвы, которые на увалах и их верхних склонах сменяются тундровыми иллювиально-гумусовыми, а в озерных котловинах гидроторфяными почвами. Типичными для почв низменности являются избыточное увлажнение, слабкокислая – кислая реакция почвенных растворов (рН 4,7–6,5) и восстановительные условия, обуславливающие оглеение различных горизонтов. Минерализация почвенных растворов низкая 20–35 мг/л. По составу надмерзлотные воды СТС преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые, обогащенные растворенными органическими веществами. Почвообразующими породами являются мерзлые суглинки, ледниковые и ледниково-морские осадки, обломочная кора выветривания базальтовых покровов.

Важным регулятором почвенных и, в целом, ландшафтных процессов является количество осадков, выпадающих в летний период. В описываемом районе за 10-летний период, предшествовавший исследованиям, в среднем за год выпадало 122 мм жидких осадков. Разброс количества выпавших осадков составил: 72 мм в засушливые и 205 мм в дождливые годы. В низменных тундрах количество осадков в летний период определяет высоту стояния зеркала надмерзлотных вод и соответственно вертикальную мощность геохимического ландшафта (15–100 см). В связи с этим к названию элементарных ландшафтов было присоединено дополнение «поверхностные» [Перельман, Касимов, 1999]. В настоящей работе это уточнение к определению ландшафтов не применяется.

Поступление химических элементов в ландшафт связано с выветриванием пород основного и среднего составов (Fe, Ca, Mn, Mo, Ag, Sn), с выщелачиванием суглинков (Ca, Fe, Mn, Mg), с разложением опада кустарничков и кустарников (Zn, Mn, B, Cu, Ca, Ba), дернины зеленых мхов и кустистых лишайников (Ag, Ca, Sn, Pb, Mn, Fe, Cr, Ni) [Трегубов, 1997; Трегубов, Тайсаев, 2012].

Объектами исследований являлись две площадки размером 100·100 м, получившие наименование Онемен и Дионисий, характеризующие ландшафтное разнообразие Анадырской низменности. Они входят в состав международной системы геоэкологического мониторинга [Трегубов, Львов, 2014]. Первая площадка представляет собой уплощенную вершину тундрового увала с пологими склонами и абсолютными высотами 18–20 м, покрытую климаксовой редко кочкарной кустарничковой мохово-пушицевой растительностью. Вторая площадка – горное подножье южной экспозиции с уклоном рельефа

1–4° и абсолютными высотами 145–150 м, западинами, торфяными буграми и пятнами-медальонами, парковой порослью кустарничковой ольхи, «травяными речками» и мохово-разнотравно-кустарничковыми крупными кочкарниками.

Более чем 20-летний мониторинг мощности и температуры СТС сопровождался изучением микрорельефа, растительного покрова, почвенных разрезов, экзогенно-криогенных процессов. В рамках настоящей работы использованы результаты измерений глубины сезонной оттайки по сетке 10·10 м, литогеохимической съемки, материалы инструментального нивелирования рельефа (20·20 м), ландшафтных исследований и описания почвенных профилей района, выполненные в разные годы.

Геохимические исследования предполагали площадное и вертикальное точечное опробование. По площади опробовался органо-минеральный материал с глубины 15–20 см с шагом 20 м. Вертикальное опробование почвенных горизонтов производилось трубчатым пробоотборником длиной 120 см и внутренним диаметром 38 мм. Пробоотборник забивался кувалдой на глубину сезонной оттайки, далее специальным поршнем керн выдавливался «столбиком» и опробовался в интервале глубин 10–15, 25–30, 40–45, 55–60 см. Для опробования почвенных профилей выбирались участки без проявлений криотурбирования и аномалий мерзлотного пучения, со средней по выборке глубиной протаивания. Пробы проходили стандартную для литогеохимии обработку, таблетировались для последующего рентгенофлуоресцентного анализа (Spectroscan-U). В твердом материале проб определялось валовое содержание Fe, Mn, Cu, Ni, Ti, Zn, Sr, Ca, Bi, Co, Se. Результаты анализов проходили стандартную статистико-математическую и графическую обработку с использованием программ Microsoft Excel и Surfer 8.0 (Kriging). Для статистической и графической обработки использовались данные аналитики по Fe, Mn, Cu, Zn, концентрации которых в 100% проб превышают предел обнаружения, а вариация содержаний по площадкам превышает 15%. Показатели кислотности – щелочности (рН) и минерализации (М, мг/л) определялись в верхнем увлажненном горизонте почв с помощью портативного рН-метра/солемера HI 9811 (HANNA).

В табл. приведены основные характеристики рельефа, деятельного слоя и геохимических условий верхних горизонтов почв.

Элементарные ландшафты картировались в соответствии с известными принципами геохимии ландшафтов [Богданова, Гаврилова, Герасимова, 2012]. Выделение радиальных и латеральных геохимических потоков выполнено по результатам инструментального нивелирования рельефа поверхности площадок и регулярным замерам глубины сезонного протаивания. В основе такого методического подхода, опирающегося на натурные наблюдения, лежит предположение, что инфильтрация наиболее выражена в условиях возвышенного рельефа с ровным мерзлотным водоупором и достаточной мощностью

Общая характеристика площадок

Параметр (число проб, точек измерений)	Онемен			Дионисий		
	C_x	C_v		C_x	C_v	
Абсолютная высота, м (36)	19,62	2		147,31	1	
Мощность сезонно-талого слоя, см (121)	52,0	9		59,7	21	
pH растворов (12)	5,8	3		6,4	3	
Минерализация растворов, мг/л (12)	34	16		13	55	
Элемент	C_x	A	St	C_x	A	St
Fe, % (36)	1,9	0,75	0,8	4,9	0,39	3,2
Mn, % (36)	0,009	0,76	0,0077	0,12	1,99	0,06
Cu, мг/кг (36)	11,4	−0,60	1,66	9,3	1,41	3,6
Zn, мг/кг (36)	11,3	−0,39	3,15	9,6	1,15	4,1

Примечание. C_x – среднее арифметическое выборки, C_v – коэффициент вариации, %; A – коэффициент асимметрии; St – стандартное отклонение.

СТС, то есть в автономных элювиальных и элювиально-аккумулятивных ландшафтах. Напротив, боковая внутрисочвенная миграция проявлена в условиях существенного уклона поверхности мерзлотного водоупора, причем тем интенсивнее, чем меньше мощность СТС. В изученных объектах это трансэлювиальные, трансупераквальные, отчасти элювиально-аккумулятивные ландшафты. Водная миграция в супераквальных и аккумулятивно-элювиальных ландшафтах отличается периодическим характером, связана с обилием летних осадков и экзогенно-криогенными процессами.

Геохимические барьеры выделялись в соответствии с первым эмпирическим правилом концепции барьеров – «геохимические аномалии формируются на геохимических барьерах» [Геохимические ..., 2002, с. 3]. Радиальная геохимическая структура изучалась путем расчета для почвенных горизонтов коэффициентов концентрации и рассеяния (КК, КР) химических элементов индикаторов относительно их содержания в мерзлой материнской породе. Основой анализа пространственной геохимической структуры являлось выделение положительных и отрицательных аномалий, их соотношение с положением сопряженных элементарных ландшафтов. Контрастность латеральных аномалий характеризовалась коэффициентами концентрации и рассеяния, рассчитываемыми как отношение аномальных содержаний химических элементов к фоновым – средним значениям в выборке. При выделении радиальных и латеральных геохимических аномалий особое внимание уделялось сопряжению по вектору миграции отрицательных и положительных аномалий элементов индикаторов.

Обсуждение результатов. На рис. 1 представлены схемы сопряжения элементарных ландшафтов с векторами уклона поверхности мерзлотного водоупора: от 0 до 5° на площадке Онемен и от 0 до 8,5° на площадке Дионисий.

На площадке Онемен, с посткриогенным рельефом (термокарстовым останцовым) зона доминирования радиальных потоков приурочена к вершине тундрового увала. Она находится в центральной

части площадки и имеет субширотное простирание. Ее обрамляют зоны проявлений латеральной миграции в поверхностном трансэлювиальном и трансупераквальном ландшафтах (рис. 1, А). В юго-восточной части располагается зона сопряжения трансупераквального и супераквального ландшафтов. Мощность СТС закономерно меняется от элювиального ландшафта (55–65 см) к супераквальному (50–40 см).

План ландшафтной структуры площадки Дионисий определяет общий юго-западный уклон рельефа и трансаквальный ландшафт в западной части, представляющий собой «травяную речку» – полосу поверхностного стока по сфагнумо-осоковым разреженным ивнякам [Трегубов, Львов, 2014]. Слабовыпуклый профиль склона осложнен солифлюкционными формами рельефа северного и северо-западного простирания. Таким же образом, полосами и языками изменяется глубина сезонного протаивания от 65–85 в положительных до 55–45 см в отрицательных формах микрорельефа. Участки иллювиирования почв радиальными потоками выявляются в северо-западной и восточной частях площадки (см. рис. 1, Б). Эти участки отнесены к элювиально-аккумулятивному ландшафту. В центральной и восточной части уклон 3–5° надмерзлотного водоупора свидетельствует об умеренной латеральной миграции в условиях трансэлювиального ландшафта. Полоса активной боковой внутрисочвенной миграции приходится на трансупераквальный ландшафт, протянувшийся по левому борту «травяной речки». В крайней юго-западной части можно выделить супераквальный ландшафт бугорково-мочажинного болота [Трегубов, Львов, 2014].

Следует отметить различия в рельефе поверхности и подошвы СТС. Величины уклона дневной поверхности площадок, определяющие интенсивность поверхностного стока, в 1,5–2 раза меньше и более выдержаны по простиранию, чем подошва надмерзлотного внутрисочвенного стока. Другой важный момент касается очевидной разницы в энергии рельефа площадок Онемен и Дионисий и более сложного ландшафтного устройства последней.

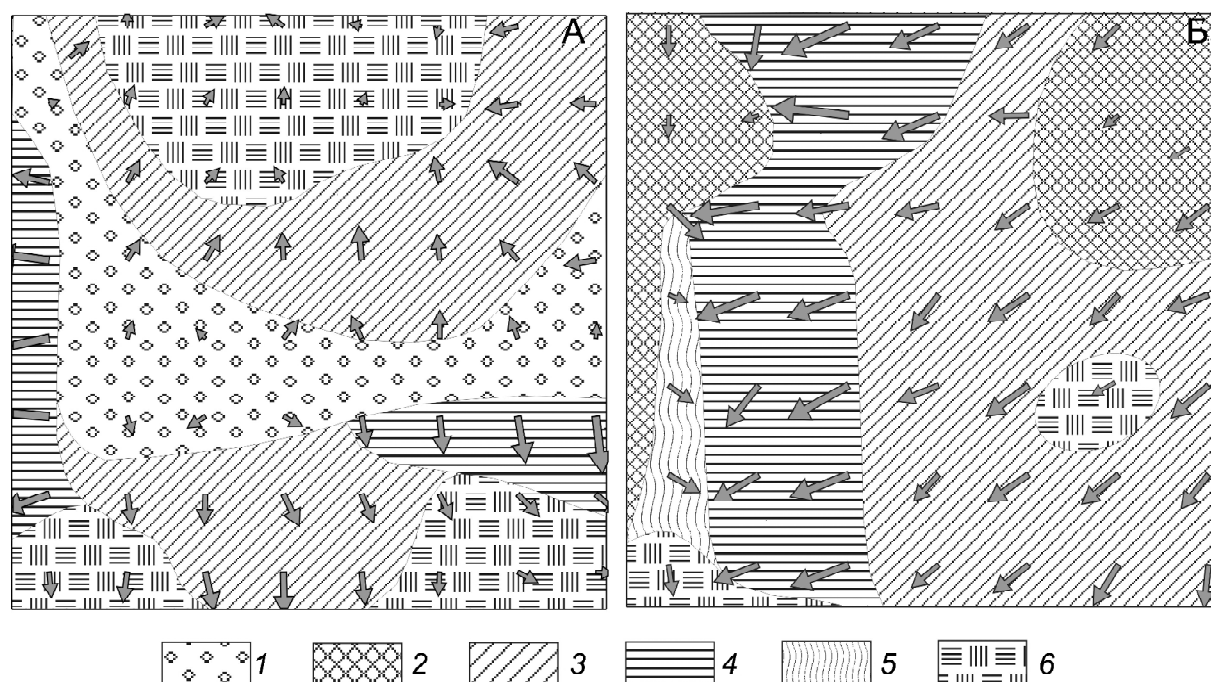


Рис. 1. Схема сопряжения элементарных ландшафтов на площадках Онемен (А) и Дионисий (Б): 1 – элювиальный; 2 – элювиально-аккумулятивный; 3 – трансэлювиальный; 4 – транссупераквальный; 5 – трансаквальный; 6 – супераквальный [Богданова, 2012].

Стрелками показаны векторы уклона надмерзлотного водоупора, размер стрелки показывает крутизну от 0 до 8,5 градусов

Fig. 1. Scheme of pairing elementary landscapes on the Onemen (A) and Dionisij (B) sites: 1 – eluvial; 2 – eluvial-accumulative; 3 – transeluvial; 4 – transsuperaquatic; 5 – transaquatic; 6 – superaquatic [Bogdanova, 2012]. Arrows indicate the line of slope of the overpermafrost waterproof layer, the size of arrows refers to the slope inclination (0–8,5 degrees)

Рассмотрим особенности пространственного распределения концентраций химических элементов, чтобы прояснить насколько и каким образом ландшафтное строение отражается на взаимодействии радиальных и латеральных потоков миграции вещества. Содержание типоморфных для ландшафта Анадырской низменности Fe и Mn в верхнем горизонте почв площадки Дионисий повышено по сравнению с площадкой Онемен в 2,6 и 1,3 раза соответственно (табл.). Содержание в почвах Zn и Cu, имеющих органогенное происхождение, на обеих площадках практически не меняется [Трегубов, 2012].

На площадке Онемен в центральной части, соответствующей автономному участку рельефа и элювиальному ландшафту внутри контуров выделяются положительные аномалии содержания Fe и Mn – 2,7 и 0,013% соответственно. Практически в этих же границах проходят изоконцентраты 9 и 10 мг/кг Zn и Cu, соответствующие их отрицательным аномалиям (рис. 2). Отрицательные аномалии Fe и Mn, положительные – Zn и Cu приурочены к границам трансэлювиального и аккумулятивно-супераквального ландшафтов на севере площадки. Подобные обратные соотношения положительных и отрицательных аномалий Mn, Zn и Cu прослеживаются на северо-западе и юге площадки. Антагонизм концентрации и рассеивания Fe, Mn, с одной стороны, и Zn, Cu – с другой, объясняется их различным геохимическим поведением в окислительных и восстановительных условиях. Контрастность аномалий невелика: КК – $\text{Fe}_{2,0} \text{Mn}_{1,5} \text{Zn}_{1,5} \text{Cu}_{1,2}$; КР – $\text{Fe}_{1,4} \text{Mn}_{2,2}$

$\text{Zn}_{2,3} \text{Cu}_{1,5}$. Однако благодаря закономерному сочетанию и сопряжению аномалий различного знака геохимическая структура площадки прослеживается достаточно ясно.

На площадке Дионисий более четко выражен субмеридиональный план аномалий (рис. 3). К

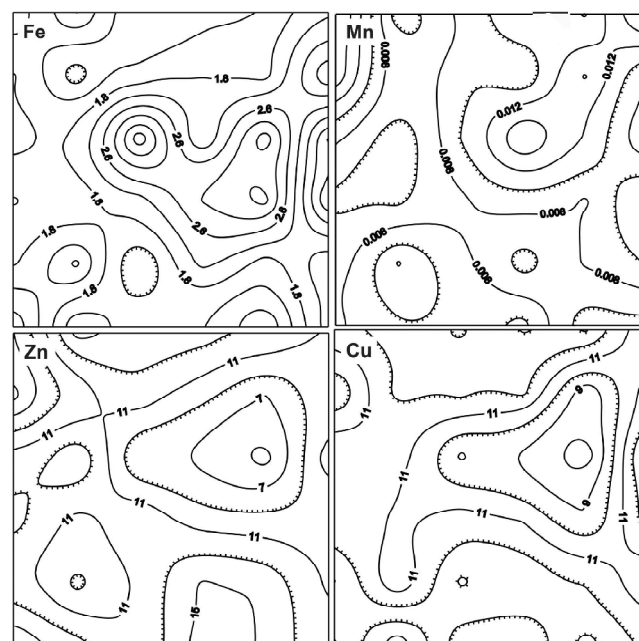


Рис. 2. Схема изоконцентрат Fe, Mn в процентах и Zn, Cu в мг/кг в почвах площадки Онемен

Fig. 2. Scheme of isoconcentrates of Fe and Mg (in %) and Zn and Cu (in mg/kg) in the soils of the Onemen

трансупераквальному ландшафту в левом борту травяной речки приурочены линейные положительные Zn, Cu аномалии (изоконцентраты 14 и 13 мг/кг), на которые накладываются полосы пониженных концентраций Fe и Mn (рис. 1, Б, 3). В восточной и северо-западной частях площадки выделяются положительные аномалии Mn и Fe (изоконцентраты 0,18 и 7%). Им соответствуют зоны пониженных концентраций Zn и Cu. На этих участках, отнесенных к элювиально-аккумулятивным ландшафтам, отмечается выполаживание мерзлотного водоупора и увеличение мощности сезонной оттайки. На южной окраине площадки совмещение отрицательных аномалий Fe, менее Mn, и положительных Zn, Cu проявляется в зоне сопряжения трансаквального – супераквального и трансэлювиального – супераквального ландшафтов. Контрастность аномалий площадки Дионисий: КК – $\text{Fe}_{2,0} \text{Mn}_{3,0} \text{Zn}_{2,0} \text{Cu}_{1,6}$; КР – $\text{Fe}_{5,0} \text{Mn}_{6,0} \text{Zn}_{1,6} \text{Cu}_{1,6}$. При близких с площадкой Онемен величинах коэффициентов положительных аномалий, отмечается интенсивный локальный вынос Fe и Mn. Большей частью это связано с отрицательными аномалиями, приуроченными к трансаквальному ландшафту.

Полученные результаты позволили предположить наличие окислительного барьера в автономных ландшафтах с пониженным и уплощенным мерзлотным водоупором. На участках резкого выполаживания уклона мерзлотного водоупора, то есть на сопряжении трансэлювиальных, трансупераквальных ландшафтов с супераквальным, выделяются глеевый, кислый и сорбционный барьеры. Fe, Mn, Zn и Cu, в достаточном количестве присутствующие в ландшафте и проявляющие противоположные свойства в отношении параметров окислительно-

восстановительных и кислотно-щелочных условий миграции и образования фульватных комплексов, позволяют идентифицировать и оконтурить эти геохимические барьерные зоны в пространстве.

Остается невыясненным вопрос о положении и механизме формирования радиальных геохимических барьеров и соответствующих им геохимических аномалий. Рассмотрим распределение химических элементов в почвенных профилях элювиального (элювиально-аккумулятивного), трансэлювиального (трансупераквального) и супераквального ландшафтов (рис. 4). Сделана попытка обобщения и типизации почвенных профилей, характеризующих местоположение литохимических аномалий и отражающих взаимодействие радиальных и латеральных геохимических потоков. Напротив каждого генетического горизонта линейчатыми диаграммами показаны коэффициенты рассеяния (КР – влево) и концентрации (КК – вправо) в диапазоне величин 1–3. В правой части указаны предполагаемые классы геохимических барьеров [Перельман, Касимов, 1999].

Для субэрадных условий характерны тундровые иллювиально-гумусовые и торфянисто-перегнойные почвы. В разрезе выделяются две контрастные геохимические аномалии, приуроченные к перегнойному (A_1), иллювиальному илистому, насыщенному фульватным гумусом (Bh,g) горизонтам. В профиле выделены окислительный, глеевый и термодинамический барьеры. Максимум коэффициента концентрации Mn и Fe, соответственно 2,3 и 2,6 – приходится на окислительный барьер в поверхностном слое почв. Cu и Zn концентрируются (КК 2,2 и 2,4) в иллювиальном горизонте на глеевом и предположительно сорбционном барьерах. В период наибольшей оттайки увлажнены верхняя часть профиля (OAv; A_1) и горизонт на фронте сезонной оттайки (Bh,g). Преобладает радиальная нисходящая и восходящая миграция. На разрывах оплывин видны пятна ожелезнения торфянистого материала.

Второй, переходный профиль еще сохраняет иллювиально-гумусовый характер, но приобретает черты тундровых грубогумусовых почв за счет формирования торфянистого горизонта (O_2) и сокращения элювиальной части профиля. Радиальные геохимические потоки при полной оттайке проявляются, но преобладает боковой почвенный вынос и привнос вещества в супесчаном перегнойном (A_1) и надмерзлотном горизонтах (Bh, g). По сравнению с иллювиально-гумусовым профилем мощность иллювиального горизонта здесь уменьшается на участках крутого уклона мерзлотного водоупора и, наоборот, увеличивается при его выполаживании. Рассеяние Cu и Zn в 1,3–1,4 раза отмечается в супесчаном перегнойном горизонте (A_1), а концентрирование, такое же по величине – в иллювиальном. Здесь же прослеживается антагонизм пар Fe-Mn и Zn-Cu в накоплении и рассеянии.

Для супераквальных условий типичен профиль тундровых оглеенных грубогумусовых и гидроторфя-

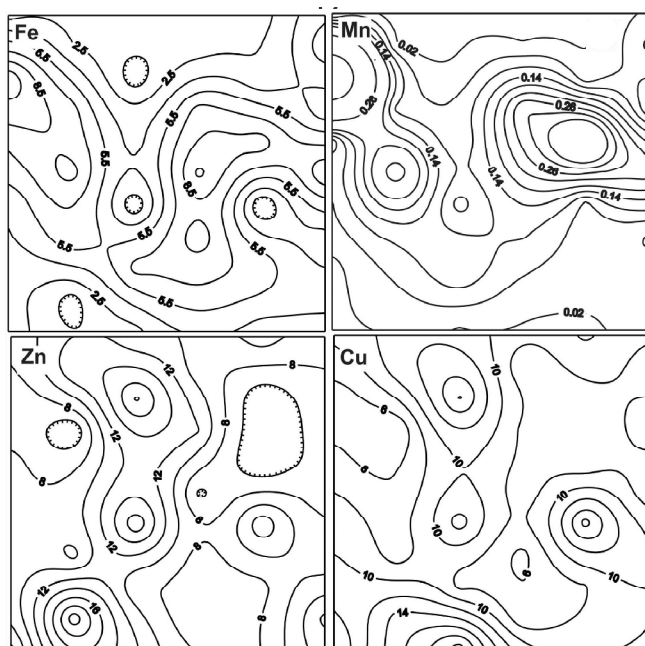


Рис. 3. Схема изоконцентрат Fe, Mn в % и Zn, Cu в мг/кг в почвах площадки Дионисий

Fig. 3. Scheme of isoconcentrates of Fe and Mg (in %) and Zn and Cu (in mg/kg) in the soils of the Dionisiy

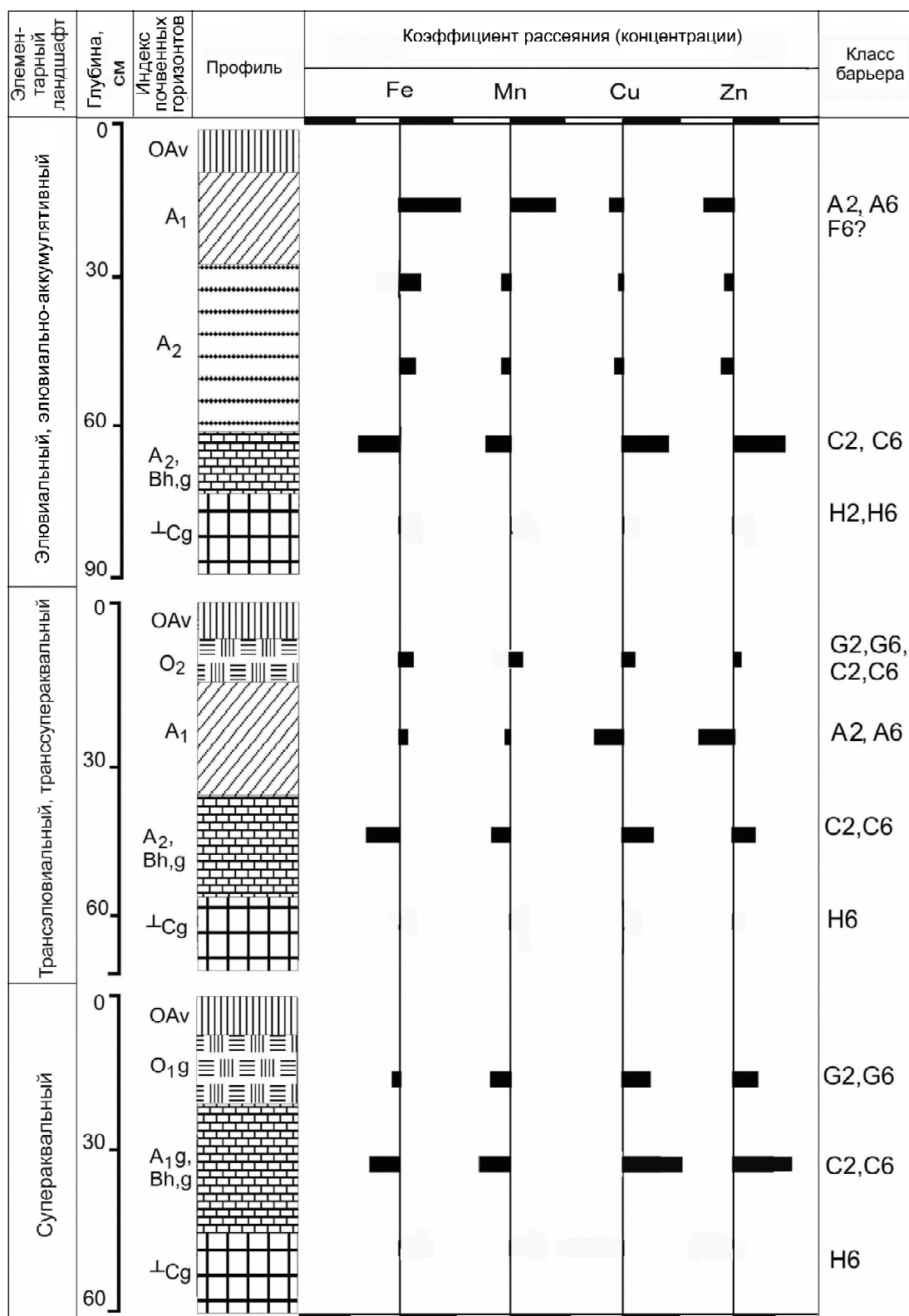


Рис. 4. Результаты анализа геохимической дифференциации почв элементарных ландшафтов площадки Онемен (цена деления шкалы КК, КР – 1,5)

Fig. 4. The results of analysis of the geochemical differentiation of soils for elementary landscapes of the Onemen site (scale graduation value for KK and KP is 1,5)

ных почв. Профиль морфологически не дифференцирован. В известных описаниях тундровых почв обычно выделяют трехчленный профиль (O_{1v} - O_2 - g - $^{\wedge}Cg$) из живой мохово-осоковой дернины, торфянистого глеевого и минерального мерзлого горизонтов

[Единый ..., 2014]. По нашим данным, надмерзлотный торфянистый слой делится на верхний торфянистый и нижний иллювиально-гумусовый горизонты. Они в различной степени насыщены черным илистым материалом и обогащены микроэлементами

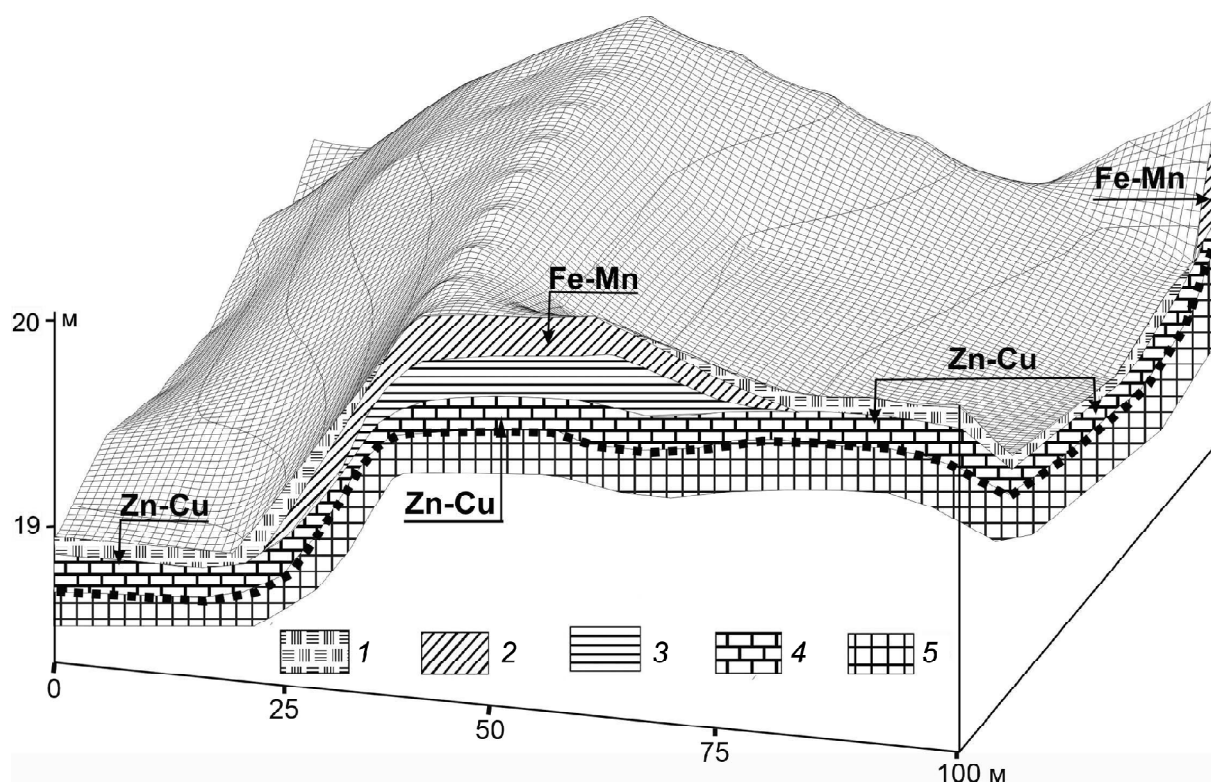


Рис. 5. Концептуальная 3d модель сопряжения радиальных и латеральных геохимических барьеров в ландшафтах площадки Онемен ($z:x,y = 1:20$): 1 – торфянистый горизонт (O_2 ; O_1 , g); 2 – органико-минеральный, перегнойный горизонт (A_1) с радиальным окислительным барьером (A_2 ; A_6), 3 – минеральный супесчано-суглинистый горизонт с признаками оподзоливания (A_2), радиальный окислительный барьер (A_6); 4 – органико-минеральный и минеральный илестый, насыщенный фульватным гумусом, оглеенный иллювиальный горизонт (Bh, g) радиальный и латеральный глеевый, сорбционный барьер (C_2 , C_6 , G_2 , G_6); 5 – мерзлый льдистый горизонт, водоупор (Cg), термодинамический барьер (H_2 , H_6)

Fig. 5. Conceptual 3d-model of pairing radial and lateral geochemical barriers in the landscapes of the Onemen site ($z:x,y = 1:20$): 1 – peaty horizon (O_2 ; O_1 , g); 2 – organic-mineral humus horizon (A_1) with radial oxidizing barrier (A_2 ; A_6), 3 – mineral sandy clay – clay loam horizon with podzolization features (A_2), radial oxidizing barrier (A_6); 4 – organic-mineral and mineral silty, – saturated with fulvate humus, gleyic illuvial horizon (Bh, g) radial and lateral gley sorption barrier (C_2 , C_6 , G_2 , G_6); 5 – frozen icy horizon, aquiclude (Cg), thermodynamic barrier (H_2 , H_6)

ми (рис. 4). Иллювиальный горизонт в большей степени формируется за счет бокового привноса вещества из трансупераквального ландшафта и осадения элементов на глеевом и сорбционном барьере. Коэффициент концентрирования здесь Zn, Cu достигает 2,5 раз, а Fe и Mn находятся в рассеянном состоянии. Радиальная миграция ограничена временем редких засушливых периодов. В целом же для почв характерен застойный режим надмерзлотных вод, который периодически нарушается сбросом воды по термокартово-термозрозионным канавам.

Интеграция радиальных и латеральных геохимических структур позволяет перейти на новый уровень геохимического анализа – создание трехмерных моделей геохимических барьеров. Объемные модели позволяют проследить взаимоотношение радиальных и латеральных поверхностных и внутрипочвенных геохимических потоков, более полно рассмотреть морфологию геохимических барьеров. В качестве объекта 3-d моделирования рассмотрим площадку Онемен с более ровным рельефом и однородным ландшафтом (рис. 5).

Элементарные ландшафты и характеристики почв обсуждены нами ранее, поэтому обратимся к

условиям залегания геохимических барьеров и приуроченных к ним геохимических аномалий. Окислительный барьер с положительной Fe-Mn аномалией имеет типичную форму «железной шляпы», ограниченной снизу и по флангам восстановительными условиями оглеенных горизонтов почв. Мощность зоны окисления в куполе достигает 0,4 м, она охватывает перегнойный (A_1) и верхнюю часть минерального (A_2) горизонтов. Образование аномалий Fe-Mn происходит при участии радиальных потоков, как по типу формирования остаточных кор выветривания, так и за счет восходящей миграции глеевых вод к поверхностной зоне окисления и испарения летом и к верхнему фронту промерзания в осенний период. Источником вещества являются почвообразующие породы.

Сложным залеганием и механизмом функционирования характеризуется комплексный глеевый – кислый – сорбционный барьер, приуроченный к иллювиальному горизонту (Bh, g). В плане и в разрезе он повторяет контуры кровли ММП, уменьшая мощность и выклиниваясь на бровках склона с крутым уклоном мерзлотного водоупора (рис. 5). В субэрадных условиях глубина залегания барьера 0,5–0,3 м, мощность – 0–0,25 м. В подчиненных лан-

дшафтах, с увеличением мощности до 0,35–0,45 м он проецируется на поверхность в виде Zn-Cu аномалий. Сплошность барьера нарушается локально, причем не только в пространстве, но и во времени. Кроме участков с крутым уклоном мерзлотного водоупора это может происходить за счет наложения на супераквальный трансаквальный ландшафта, как, например, в границах «травяной речки» площадки Дионисий (рис. 1, Б).

В формировании Zn-Cu аномалий участвуют радиальные и латеральные потоки нейтральных и слабокислых глеевых, насыщенных фульвокислотами и металлоорганическими комплексами надмерзлотных вод. Насыщенность органо-минеральными коллоидными частицами позволяет рассматривать внутрипочвенные воды как гидрозоли, транспортирующая способность которых значительно выше по сравнению с истинными растворами [Добровольский, 2009]. Граница смены радиального и латерального режимов зависит от обилия осадков, обычно бывает резкой на бровках выпуклого склона или постепенной на пологих и вогнутых склонах. Контрастность проявления радиальных барьеров осаждения Zn и Cu превышает таковую для латеральных аномалий, однако по количеству накопленного вещества супераквальный ландшафт многократно опережает иллювиальный горизонт субаэральных ландшафтов. Во внедренных супераквальных ландшафтах, на подножиях протяженных в несколько километров склонов увалов с разнообразным и динамичным растительным покровом, уровень концентрации Cu и Zn может превышать описанный для площадки Онемен в 2,5–4 раза. Случаи обнаружения «ложных ореолов» Zn, Cu, Mo на заболоченных террасах в практике литохимических поисков полезных ископаемых широко известны.

Трехмерное моделирование позволяет по-иному подойти к оценке емкости геохимических барьеров. Известна практика такой оценки с применением коэффициентов концентрации барьеров, с указанием мощности почвенных горизонтов – радиальных барьеров [Герасимова, Богданова, 2013]. В геохимии окружающей среды емкость характеризуется максимальным количеством вещества, которое может удерживаться геохимическим барьером без нарушения его структурных и функциональных свойств [Глазовская, 2012; Трифонова, 2005]. Под емкостью сорбционного барьера понимается полная катионообменная емкость поглощающего комплекса почв, дисперсных осадков, цеолитсодержащих горных пород [Никашина, Серова, Кац, 2010]. Емкость кислого барьера пахотных почв оценивают потребностью в их известковании, искусственного щелочного барьера на пути кислых техногенных потоков – количеством карбонатов, необходимых для их полной нейтрализации. Соответственно единицами измерения емкости являются: мг-экв или мг иона на 100 г материала сорбционного барьера; кг извести на гектар пашни с кислой реакцией; тонн карбонатного сырья на 10 м длины ис-

кусственного фильтрационного сооружения (щелочного барьера).

Предпосылкой для оценки емкости окислительного и комплексных барьеров площадки Онемен по Fe и Zn может быть допущение, что геохимический ландшафт климаксовых кочкарных тундр достиг равновесного состояния; условий, когда при наличии устойчивого многолетнего потока этих металлов, емкость барьеров полностью реализована. В этом случае для оценки их емкости по Fe и Zn необходим подсчет запасов этих металлов в объеме радиальной и латеральной частей барьеров элементарных ландшафтов.

Технически это можно выполнить, воспользовавшись методикой подсчета запасов полезных ископаемых – геометризации геологических блоков [Букринский, 2002]. Объем блока устанавливается как произведение площади, замеренной по проекции геохимического барьера – почвенного горизонта, на среднюю его мощность, тоннаж материала барьера – умножением объема на объемную плотность, а запасы металлов – исходя из вычисленного среднего их содержания:

$$V_i = S_i \times h_i, \quad (1)$$

$$M_i = V_i \times \rho_v, \quad (2)$$

$$P_i = M_i \times C_i, \quad (3)$$

$$P = \sum_{i=1}^n P_i, \quad (4)$$

где V_i – объем блока; S_i – площадь проекции барьера в блоке; h_i – средняя мощность барьера (почвенного горизонта); M_i – масса материала барьера; ρ_v – объемная плотность почвенного горизонта в блоке; C_i – среднее содержание химического элемента в блоке; P_i и P – запасы химического элемента в блоке и геохимическом барьере в целом (емкость барьера).

Расчеты по окислительному барьеру площадки Онемен, который выделен единым блоком и приурочен к иллювиальному ландшафту, дают объем 560 м³ (рис. 1, А), что при объемной плотности (удельный вес) перегнойного горизонта 0,4 т/м³ даст массу в 224 т. Запасы Fe на окислительном барьере площадки при средней концентрации 2,8% по массе составят 6,3 т.

Комплексный барьер, приуроченный к иллювиальному горизонту и супераквальному ландшафту в границах площадки Онемен, разбит на 2 блока. Первый блок по площади охватывает проекцию иллювиального горизонта почвенного профиля вершины увала, имеет объем порядка 300 м³, что при объемной плотности 1,6 т/м³ составит 480 т. Запасы Zn в этом блоке составят при средней концентрации металла 0,0012% – 5,8 кг. Второй блок включает выделы супераквальных ландшафтов на севере и на юге площадки общей площадью 2500 м² и объемом 1125 м³ (рис. 1, А). При средней объемной

плотности органо-минеральных горизонтов $0,8 \text{ т/м}^3$ масса материала барьера составит 900 т, а запасы Zn 10,8 кг. В сумме запасы Zn по двум блокам – емкость по Zn комплексного кислого, глеевого, сорбционного барьеров в границах площадки Онемен составит 16,6 кг.

Выводы:

– в низменных тундрах Чукотки с мелким типом протаивания взаимодействие радиальных и латеральных геохимических потоков осуществляется в СТС на сопряжении элювиального с трансэлювиальным и трансупераквальным ландшафтами. Интенсивность взаимодействия потоков определяется уклоном мерзлотного водоупора и глубиной сезонной оттайки;

– для Анадырской тундры типичными являются радиальные и латеральные окислительный и глеевый сорбционный геохимические барьеры, приуроченные в плане к элювиальным и супераквальным ландшафтам; в разрезе – к верхним органо-минеральным, минеральным горизонтам и нижнему надмерзлотному иллювиальному горизонту почв;

– индикаторами геохимических барьеров Анадырских тундр являются Fe, Mn, Zn, Cu, которые

активно мигрируют в составе внутрипочвенных коллоидных растворов и содержатся в тундровых почвах в достаточной для аналитического определения концентрации. Педогеохимические аномалии элементов могут быть использованы для картографирования почв и идентификации почвенных процессов;

– в трехмерном пространстве надмерзлотного слоя тундровых ландшафтов радиальные и латеральные барьеры и соответствующие им геохимические аномалии образуют единые педологические тела, морфология которых определяется рельефом дневной поверхности и мерзлотного водоупора. Педологические тела характеризуются элементами залегания, временной (сезонной, многолетней) динамикой. Накопленные в ненарушенных природных условиях в педологическом теле геохимического барьера запасы химического элемента-индикатора отражают его емкостные характеристики;

– подход к геохимическим барьерам как геологическим телам в трехмерном пространстве требует разработки дополнительных параметров, характеризующих мощность, линейные размеры и емкость барьеров.

Благодарности. Автор признателен старшему инженеру К.К. Уяганскому за профессиональный отбор и подготовку проб; технику Т.В. Никифоровой – за тщательный анализ проб.

Работа выполнена при финансовой поддержке международной программы CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring, грант NSF OPP-9732051 и OPP-0225603).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Богданова М.Д., Гаврилова И.П., Герасимова М.И. Элементарные ландшафты как объекты ландшафтно-геохимического картографирования // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2012. № 1. С. 23–28.

Букринский В.А. Геометрия недр. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 549 с.

Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / Под ред. Н.С. Касимова, А.Е. Воробьева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 395 с.

Герасимова М.И., Богданова М.Д. Мелкомасштабные карты геохимических барьеров // География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 9–17.

Глазовская М.А. Геохимические барьеры в почвах равнин, их типология, функциональные особенности и экологическое значение // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 2012. № 1. С. 8–14.

Глазовская М.А. Почвы мира. Основные семейства и типы почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 231 с.

Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов. Избр. тр. М.: Научный мир, 2009. Т. II. 735 с.

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. М.: Почвенный ин-т им В.В. Докучаева, 2014. 768 с.

Никашина В.А., Серова И.Б., Кац Э.М. Геохимические барьеры на основе клиноптилолитосодержащих туфов для решения экологических задач // Сорбционные и хроматографические процессы. 2010. Т. 10. Вып. 6. С. 949–959.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 764 с.

Трегубов О.Д. Геохимическая индикация иллювиального процесса тундровых почв // Современные проблемы загрязнения почв. Сб. матер. IV Межд. научной конференции 27–31 мая 2013. М.: МГУ, Факультет почвоведения, 2013. С. 181–185.

Трегубов О.Д. Геохимия урбанизированных ландшафтов Чукотки. Магадан: МПО СВНЦ ДВО РАН, 1997. 120 с.

Трегубов О.Д., Львов А.П. Репрезентативность наблюдений глубины сезонной оттайки в тундровых ландшафтах // Вестник СВФУ. 2014. Т. 11. № 5. С. 89–99.

Трегубов О.Д., Тайсаев Т.Т. Введение в геохимию аллелопатии на примере тундровых фитоценозов // Вестник Северного (Арктического) университета. Сер. Естественные науки. 2012. № 4. С. 28–40.

Экологическая геохимия: словарь-справочник / Авторы-составители: Т.А. Трифонова, Л.А. Ширкин. Владимир: Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2005. 140 с.

Поступила в редакцию 20.08.2015
Принята к публикации 09.02.2017

O.D. Tregubov¹GEOCHEMICAL BARRIERS IN SOILS
AND LANDSCAPES OF THE ANADYR TUNDRA

The interaction of radial and lateral subsurface geochemical fluxes on the pairing elementary landscapes of the lowland tundra is analyzed. Two typical Anadyr lowland urochishches were examined to describe the structure of geochemical landscapes and tundra soils, and the concentrations of Fe, Mn, Zn, and Cu within the area and along the section. The regularities and specific features of the location of low and high geochemical anomalies in correlation with oxidative, gleyic and sorption barriers in soil and landscape are revealed. It was concluded that the radial and lateral geochemical barriers form united geological bodies in landscapes. Their morphology depends on the topography of the impermeable permafrost horizon.

Key words: geochemical flows, cryosols, active layer, tundra, geochemical anomalies.

Acknowledgements. The author is grateful to the senior engineer K.K. Uyagansky for highly-professional sampling and sample preparation, and technician N.V. Nikifirova for the careful analysis of samples. The study was financially supported by the CALM (Circumpolar Active Layer Monitoring) international program (grants NSF OPP-9732051 и OPP-0225603).

REFERENCES

- Bogdanova M.D., Gavrilova I.P., Gerasimova M.I.* Elementarnye landshafty kak obekty landshaftno-geohimicheskogo kartografirovaniya [Elementary landscapes as objects of landscape-geochemical mapping] // *Geografija i prirodnye resursy*. 2012. № 1. S. 23–28 (in Russian).
- Bukrinskij V.A.* Geometriya neдр [The geometry of underground]. M.: Izd-vo MGGU, 2002. 549 s. (in Russian).
- Geohimicheskie bar'ery v zone gipergeneza / Pod red. N.S. Kasimova, A.E. Vorob'eva* [Geochemical barriers in the supergene zone / Under the editorships of N.S. Kasimov, A.E. Vorobiev]. M.: MGU, 2002. 395 s. (in Russian).
- Gerasimova M.I., Bogdanova M.D.* Melkomasshtabnye karty geohimicheskikh bar'erov [Small-scale maps of geochemical barriers] // *Geografiya i prirodnye resursy*, № 3, 2013. S. 9–17 (in Russian).
- Glazovskaya M.A.* Geohimicheskie bar'ery v pochvah ravnin, ih tipologiya, funktsional'nye osobennosti i ekologicheskoe znachenie [Geochemical barriers in soils of the plains, their types, functional characteristics and ecological value] // *Vestnik MGU. Ser. 5. Geografiya*, 2012. № 1. S. 8–14 (in Russian).
- Glazovskaya M.A.* Pochvy mira. Osnovnye semejstva i tipy pochv [Soils of the world. Basic families and soil types]. M.: MGU, 1972. 231 s. (in Russian).
- Dobrovolsky V.V.* Geohimija pochv i landshaftov. Izbrannyye trudy [Geochemistry of soils and landscapes]. M.: Nauchnyy mir, 2009. T. II. 735 s. (in Russian).
- Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennykh resursov Rossii [The unified state register of soil resources of Russia]. Versiya 1.0. Kollektivnaya monografiya. M.: Pochvennyy institut im V.V. Dokuchaeva Rossel'hozakademii, 2014. 768 s. (in Russian).
- Nikashina V.A., Serova I.B., Kac E.H.M.* Geohimicheskie bar'ery na osnove klinoptilolitsoderzhashchih tufov dlya resheniya ekologicheskikh zadach [Geochemical barriers on the basis of tuffs for solving environmental problems] // *Sorbtsionnye i hromatograficheskie processy*. 2010. T. 10. Vyp. 6. S. 949–959 (in Russian).
- Perel'man A.I., Kasimov N.S.* Geohimija landshafta. [Landscape geochemistry]. M.: Astreja-2000, 1999. 764 s. (in Russian).
- Tregubov O.D.* Geohimicheskaya indikatsiya illjuvial'nogo processa tundrovyykh pochv [Geochemical indication of illuvial process in tundra soils] // *Sovremennyye problemy zagryazneniya pochv. Sb. mater. IV Mezhdunar. nauchnoy konf. 27–31 maja 2013. M.: MGU, Fakul'tet pochvovedeniya*. 2013. S. 181–185 (in Russian).
- Tregubov O.D.* Geohimija urbanizirovannykh landshaftov Chukotki [Geochemistry of urban landscapes of Chukotka]. Magadan: MPO SVNC DVO RAN, 1997. 120 s. (in Russian).
- Tregubov O.D., Lvov A.P.* Reprezentativnost' nablyudenij glubiny sezonnoy ottajki v tundrovyykh landshaftah [The representativity of observations on the depth of seasonal defrost in tundra landscapes] // *Vestnik SVFU*. 2014. T. 11. № 5. S. 89–99 (in Russian).
- Tregubov O.D., Taysaev T.T.* Vvedenie v geohimiyu allelopatii na primere tundrovyykh fitocenozov [Introduction to the geochemistry of allelopathy by the example of tundra phytocenosis] // *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) universiteta. Ser. Estestvennye nauki*. 2012. № 4. S. 28–40 (in Russian).
- Ekologicheskaya geohimiya: slovar'-spravochnik [Environmental Geochemistry: Dictionary] / Avtory-sostaviteli: T.A. Trifonova, L.A. Shirkin. Vladimir: Red.-izdat. kompleks VIGU, 2005. 140 s. (in Russian).

Received 20.08.2015

Accepted 09.02.2017

¹ Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, Leading Scientific Researcher, PhD. in Geology and Mineralogy; e-mail: tregubov2@yandex.ru

УДК 551.461.8:551.465

Л.А. Кулешова¹

ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ-ГОЛОЦЕНЕ

В результате комплексного анализа осадков колонки АМК-4515 (данные по распределению материала ледового разноса, карбоната кальция и растворению карбонатных раковин фораминифер) из центральной части Северной Атлантики (район разлома Чарли-Гиббс) выделено 3 климатических интервала усиления и ослабления поверхностной циркуляции в районе исследования, соответствующих трем морским изотопным стадиям (МИС) – 3–1. Также сделаны выводы о миграциях Северного полярного фронта (СПФ). В пределах первого климатического интервала (слой 78–64 см, предположительно МИС 3) происходило усиление адвекции североатлантических водных масс, в это время СПФ находился севернее района исследования, но в непосредственной близости от него. Второй климатический интервал (слой 64–6 см, МИС 2) характеризуется миграцией фронта к югу от исследуемого района, во время наиболее холодных интервалов (последний ледниковый максимум; 36–12 см), а также включает в себя два события Хайнриха, сопровождающихся ослаблением активности поверхностной циркуляции. Третий климатический интервал (слой 6–0 см, МИС 1) соответствует периоду потепления: СПФ располагался много севернее района разлома Чарли-Гиббс, усилилась Атлантическая меридиональная термохалинная циркуляция, условия стали схожими с современными.

Ключевые слова: палеоокеанологические реконструкции, четвертичная палеоокеанология, разлом Чарли-Гиббс, поверхностная палеоциркуляция, Северо-Атлантическое течение, Северный полярный фронт, события Хайнриха.

Введение. Не вызывает сомнения необходимость в надежных реконструкциях океанологических событий прошлого для понимания и оценки климатических изменений, происходящих в настоящем. Так, например, исследования климатических колебаний в исторической перспективе позволяют понять механизмы смены ледниковых циклов и прогнозировать их. Поэтому сегодня интерес к изменению климата в прошлом значительно вырос [Clark et al., 2002; Kukla et al., 2002; McManus et al., 2002; Rahmstorf, 2006; Irvani et al., 2012].

Отмечается [Clark et al., 2002], что даже за небольшие (в геологическом масштабе) промежутки времени могли происходить значительные изменения палеосреды, которые влекли за собой перестройку всей системы глобальной термохалинной палеоциркуляции. К таким кратковременным перестройкам можно отнести события Хайнриха, когда в короткие сроки происходила массовая разгрузка айсбергов, сопровождающаяся повышенным сбросом терригенного материала в Северной Атлантике и распространением пресной холодной воды на поверхности океана [Ruddiman, 1977; Johnsen et al., 1992; MacAyeal, 1993]. Распреснение поверхностных водных масс способствовало установлению галоклина, который препятствовал вертикальному водообмену и ослаблению циркуляции, миграции Северного полярного фронта (СПФ) на юг и, как следствие, похолоданию климата.

В отечественной и в зарубежной терминологии существует много определений СПФ [например,

Родионов с соавт., 1998; Dickson et al., 1988; Swift et al., 1981]. В данной работе под СПФ понимается зона, обусловленная взаимодействием двух элементов планетарной циркуляции: распространяющихся с юга на север относительно теплых и соленых вод Атлантики и проникающих из приполярных областей к югу более холодных и распресненных вод [Родионов с соавт., 1998].

События Хайнриха идентифицируются по увеличению терригенных зерен (ice-rafted debris – IRD) в пробах донных осадков. В Атлантическом океане существует так называемый пояс IRD [Ruddiman, 1977], он расположен между 45° с. ш. и 55° с. ш. Этот пояс представляет собой зону наибольшего скопления терригенных зерен, разносимых айсбергами, которые, в свою очередь, отламывались от Лаврентийского ледникового щита, а также от северо-западных европейских ледниковых щитов. Особенности палеоциркуляции во время этих событий до сих пор изучены недостаточно.

Колебания глубины термоклина в периоды оледенений и межледниковий контролируют положение фораминиферового лизоклина – уровня максимальных изменений характеристик комплексов планктонных фораминифер [Berger, 1968]. Иными словами, лизоклин разделяет комплексы хорошей и плохой сохранности микрофоссилий [Кеннет, 1987]. Иногда выделяют три фораминиферовых лизоклина [Лисцин, 1978]: первый (верхний) лизоклин – растворение 10% от исходного числа раковин, второй – растворение 50% раковин, третий – растворение 75–

¹ Атлантическое отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН, лаборатория геологии Атлантики, инж.-исслед.; Балтийский федеральный университет имени И. Канта, аспирантка; e-mail: lubov_kuleshova@mail.ru

80% раковин. Современное положение верхнего лизоклина в центральной части Северной Атлантики варьирует от 3,5 до 4 км и приходится на 1–1,5 км выше глубины компенсации карбонатов (КГл) – конечной стадии удаления карбонатов из осадков [Бараш, 1988; Кеннет, 1987; Thurman et al., 2004].

Цель настоящей работы – реконструкция поверхностной циркуляции в районе трансформного разлома Чарли-Гиббс в позднем плейстоцене-голоцене по данным подсчета материала ледового разноса и растворения карбонатных раковин фораминифер.

Материалы и методы. *Местоположение колонки и общая характеристика района исследования.* Материалом исследования послужили образцы донных осадков колонки АМК-4515 (52°03.14' с. ш., 29°00.12' з. д., глубина 3630 м, длина 370 см), отобранной в 48-м рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2002 г. [Отчет о работах 48 рейса АМК, 2002]. Исследуемый разрез колонки сформировался в восточной части зоны разлома Чарли-Гиббс, выраженной в виде депрессии рельефа дна на границе Исландской и Европейской котловин (рис. 1). Литологический состав пород, слагающих разрез колонки АМК-4515, представлен миоценовыми мергельными и глинистыми илами (рис. 2) [Баширова с соавт., 2015; Дмитренко с соавт., 2009].

Особенностью колонки АМК-4515 является ее расположение на пути основного потока Северо-Атлантического течения (САТ), а также близость к СПФ, граница которого, как правило, следует кром-

ке плавучих льдов [Swift et al., 1981], и поясу IRD (рис. 1). Такое положение района исследования позволило по полученным данным зарегистрировать миграции СПФ и САТ, которые и определяли формирование поверхностных условий здесь в прошлом.

Современная гидрологическая обстановка в районе отбора колонки АМК-4515 определяется двумя пограничными течениями: с востока на запад через разлом Чарли-Гиббс движется Северо-Восточная глубинная вода (СВГВ), перетекающая через пороги между Исландией и Шотландией, ее подстилает противотечение (с запада на восток) Северо-Западной глубинной воды (СЗГВ), зарождающейся в Датском проливе [Harvey, 1980; Morozov et al., 2010; Shor et al., 1980]. Граница раздела между ними находится на глубинах около 3200 м [Shor et al., 1980].

Колонка АМК-4515 была опробована непрерывно с шагом 2 см. Всего было получено 186 проб, которые впоследствии анализировались на изменение содержания терригенного материала, разносимого айсбергами, и на степень растворения раковин фораминифер. Ранее в лаборатории геоэкологии АО ИО РАН был выполнен анализ содержания карбоната кальция в осадках (рис. 2).

Следует отметить, что с высокой надежностью можно интерпретировать только верхнюю часть колонки АМК-4515 – 0–78 см. Нижняя часть разреза (78–370 см) характеризуется плохой сохранностью раковин планктонных и бентосных фораминифер вплоть до их полного отсутствия. Обеднены пробы и терригенным материалом песчаной фрак-

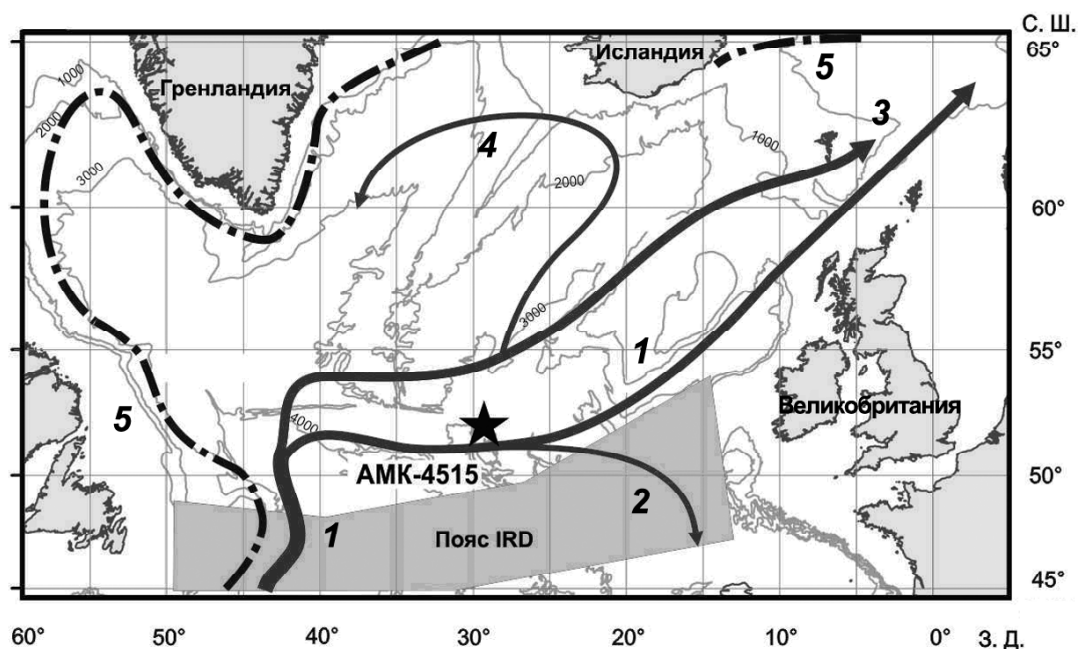


Рис. 1. Местоположение исследуемой колонки и общая схема поверхностной циркуляции в Северной Атлантике [Баширова с соавт., 2015]. Условные обозначения: 1 – Северо-Атлантическое течение, 2 – Канарское течение, 3 – Норвежско-Гренландское течение, 4 – течение Ирмингера; 5 – Северный полярный фронт. Звездочкой обозначена исследуемая колонка АМК-4515. Область серого цвета соответствует поясу IRD

Fig. 1. The position of studied core (showed by a star) and the general scheme of surface circulation in the North Atlantic [Bashirova et al., 2015]: 1 – North Atlantic Current, 2 – Canary Current, 3 – Norwegian Current, 4 – Irminger Current; 5 – North Atlantic Polar Front. The gray area indicates the IRD belt

ции, содержание которого недостаточно (<100 зерен на пробу) для правильного расчета показателя IRD: в пересчете их на 1 грамм значения приобретают аномально высокие показатели. В целом, осадки, накопленные в пределах данного интервала, имеют преимущественно глинистую размерность. Поэтому полученные данные по нижней секции не могут считаться статистически достоверными. Можно лишь предположить, что нижняя часть не является результатом нормальной пелагической седиментации. Далее будет рассматриваться и анализироваться только верхняя часть разреза.

Подсчет зерен IRD. Анализ изменения содержания терригенного материала в осадках позволяет зарегистрировать холодные события Хайнриха, имеющие общеизвестные датировки [Sarnthein et al., 2001; Hemming, 2004] и позволяющие уточнить палеотемпературные и другие реконструкции. В каждой пробе подсчитывалось не менее 300 зерен, после чего рассчитывался показатель IRD (количество терригенных зерен на 1 грамм просматриваемой навески). Для подсчета терригенных зерен использовалась фракция >150 мкм. Таким образом, кривая распределения IRD отражает соотношение терригенного и карбонатного материалов во фракции 150 мкм (рис. 3).

Сохранность раковин фораминифер. Для оценки степени влияния растворения на карбонатный материал все образцы из колонки АМК-4515 были дополнительно изучены на предмет сохранности раковин с помощью нескольких параметров:

1. Индекс растворения, предложенный В. Бергером [1970] и позволяющий подсчитать соотношение целых раковин в пробе и их фрагментов. Целыми раковинами считались также раковины, которые разрушены не более чем на 30%. Высокий процент фрагментов в образце является свидетельством растворения раковин холодными, агрессивными к карбонату глубинными водами.

2. Процент устойчивых к растворению видов (*Neoglobobadrina pachyderma* (s) (Ehrenberg), *Neoglobobadrina incompta* (Cifelli), *Globorotalia inflata* (d'Orbigny) [по Berger et al., 1972]. Позволя-

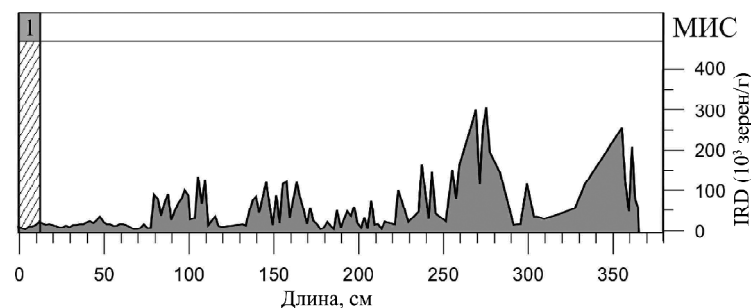


Рис. 3. Данные подсчета зерен IRD в колонке АМК-4515. МИС – морская изотопная стадия

Fig. 3. Ice-rafted debris (IRD) data from the AMK-4515 core, thousand grains/g. MIS – marine isotope stage

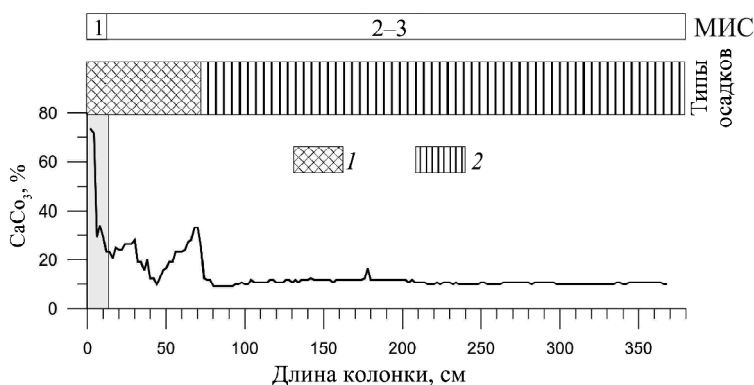


Рис. 2. Предварительное стратиграфическое подразделение колонки АМК-4515 и относительное содержание карбоната кальция в осадках. Серым цветом выделен климатический оптимум. МИС – морская изотопная стадия; 1 – мергельный кокколито-фораминиферовый ил, 2 – глинистый ил

Fig. 2. Preliminary stratigraphic subdivision of the AMK-4515 core and the proportion of calcium carbonate in sediments. The climatic optimum is shown by a gray bar. MIS – marine isotope stage; 1 – foraminiferal-nannofossil ooze, 2 – clayey mud

ет оценить степень ненарушенности танатоценоза. Как и предыдущий, этот параметр применяется в комплексе с другими и не может служить самостоятельным индикатором растворения, так как некоторые устойчивые к растворению виды всегда доминируют в танатоценозах во время холодных интервалов.

3. Доля неустойчивого к растворению вида планктонных фораминифер *Globigerinita glutinata* [Egger, 1893]. Помимо информации о растворении данный вид свидетельствует о распространении относительно теплых вод в районе исследования.

4. Соотношение бентосных и планктонных фораминифер. Резкое увеличение доли бентосных видов, имеющих более толстую стенку и в связи с этим более устойчивых к растворению, свидетельствует о влиянии растворения.

5. Относительное содержание карбоната кальция. Для правильной интерпретации данных этот параметр может использоваться только в комплексе с вышеперечисленными.

Результаты и обсуждение. При сопоставлении результатов подсчета зерен ледового разноса с данными по растворению и распределению карбоната кальция (рис. 4) в верхней части разреза колонки АМК-4515 (0–78 см) выявляется синхронность в изменении исследуемых параметров. Распределение устойчивых видов фораминифер и *G. glutinata* в целом соответствуют климатической изменчивости. Невысокие значения содержания фрагментов раковин и доли бентосных фораминифер в пробах (до 23 и 1,4% соответственно) свидетельствуют о незначительной роли растворения на исследуемом отрезке. В целом вариации содержания бентосных фораминифер отражают смену гидрологической обстановки в районе исследования, а не степень растворения карбонатных раковин. Анализ полученных кривых позволил выде-

лить три климатических интервала, предположительно охватывающих 3 морских изотопных стадии (МИС).

Первый интервал охватывает отрезок 78–64 см. Его пик характеризуется увеличением доли тепловодного вида *G. glutinata* (до 19%), а также уменьшением количества видов планктонных фораминифер (с 63 до 18%), устойчивых к низким температурам и растворению. Вероятно, в этот период СПФ мигрировал к северу от района исследования, что сопровождалось усилением адвекции теплых североатлантических вод в высокие широты. Это подтверждается относительно высоким (по сравнению с остальным разрезом) содержанием бентосных фораминифер (0,3–1,3%), реагирующих, в том числе, на увеличение продуктивности, что также является индикатором близости кромки плавучих льдов (СПФ); относительно высокими значениями карбоната кальция в осадках (10–35%) и фрагментов раковин (12–23%), а также низким содержанием зерен IRD (до 5 тыс. зерен/г) в пробах. Данный интервал, по всей видимости, относится к МИС 3.

Второй интервал (слой 64–6 см), по-видимому, соотносится с МИС 2 (максимум последнего оледенения). Маркерами резкого похолодания здесь выступают повышенные значения устойчивых к низким температурам и растворению видов планктонных фораминифер [по Berger et al., 1972], достигающих порядка 100% (по полученным ранее данным [Баширова с соавт., 2015]).

Абсолютное доминирование полярного вида *N. pachyderma* (s) с 35 см [Баширова с соавт., 2015] подтверждает сделанный вывод. Этот вид является показателем начавшегося самого холодного периода и миграции СПФ далеко на юг относительно своего современного положения. Почти полное отсутствие *G. glutinata* в образцах наряду с небольшим процентным содержанием фрагментов фораминифер свидетельствует о присутствии холодных вод в районе исследования. Влияние растворения здесь, как и в первом интервале, незначительно: содержание CaCO_3 не опускается ниже 10% и в среднем составляет 20%. Максимальные пики IRD отмечаются на 40–50 и 10–18 см (35 и 22 тыс. зерен/г соответственно) и, очевидно, соответствуют событиям Хайнриха (2? и 3?).

Айсберги, которые отламывались от ледниковых щитов, разносились течениями и при приближении к более южным и теплым широтам начинали таять, сбрасывая терригенный материал с материков и талую распресненную воду, препятствующую вертикальному водообмену. В свою очередь, это приводило к ослаблению активности

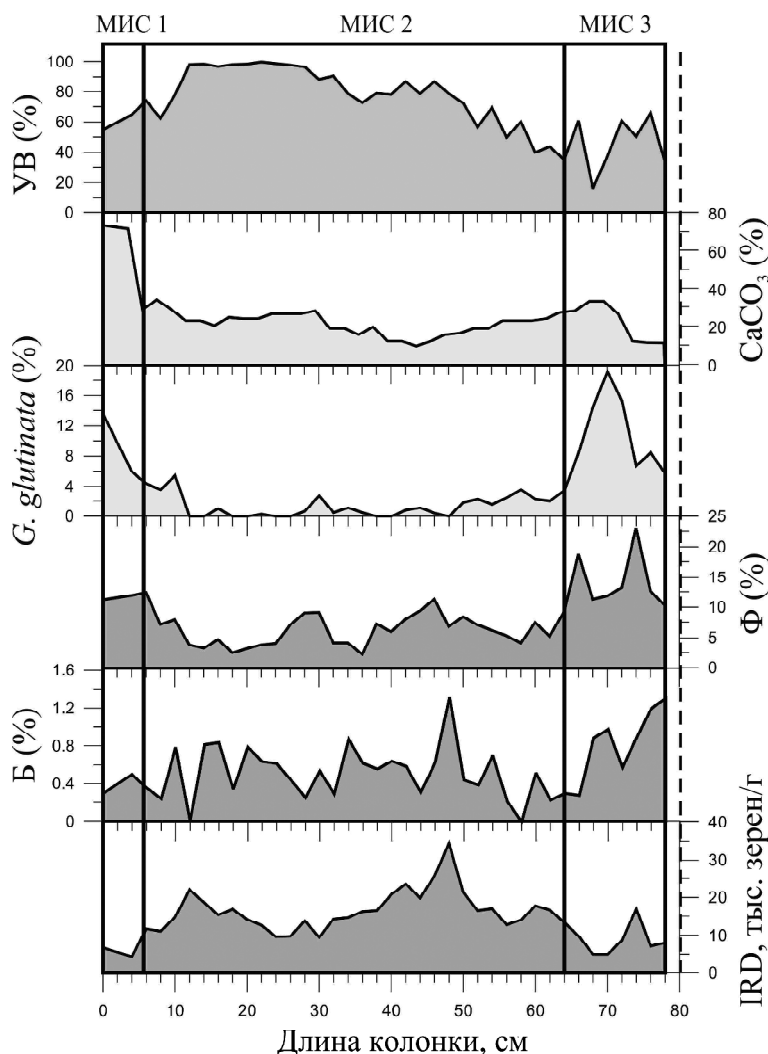


Рис. 4. Степень сохранности карбонатных раковин и данные подсчета зерен IRD в верхней части разреза АМК-4515: УВ – доля устойчивых видов в танатоценозе, Φ – доля фрагментов раковин, Б – доля бентосных фораминифер. МИС – морская изотопная стадия

Fig. 4. Degree of carbonate shell preservation and IRD data in the upper section of the AMK-4515 core: УВ – the percentage of resistant species, Φ – the proportion of fragments of foraminiferal shells, Б – the proportion of benthic foraminifera in total assemblages. MIS – marine isotope stage

поверхностной циркуляции в Северной Атлантике, в частности САТ, а значит, уменьшалась интенсивность формирования глубинных вод в Норвежско-Гренландском бассейне [Broecker, 1991; Ganopolski et al., 2001].

Известно, что во время последнего ледникового максимума СПФ мигрировал далеко на юг относительно своего современного положения. Это подтверждается опубликованными ранее данными [Бараш, 1974; Eynaud et al., 2009], свидетельствующими о том, что граница плавучих льдов во время последнего ледникового максимума достигала в Атлантике 40° с. ш. Полученные нами данные также показывают, что СПФ находился южнее местоположения колонки АМК-4515 в интервале 36–12 см (последний ледниковый максимум).

Очередное отступление СПФ к северу произошло во время последней дегляциации. По мере потеп-

ления холодноводные виды планктонных фораминифер уступали место тепловодным [Баширова с соавт., 2015]. В колонке АМК-4515, на горизонте 6–12 см наблюдается постепенное снижение доли устойчивых к растворению, холодноводных видов (до 60%), доли бентосных фораминифер (с 0,8 до 0,2%) и зерен IRD (до 11 тыс. зерен/г), а также увеличение содержания CaCO_3 (больше 30%) в осадке (рис. 4). Теплые североатлантические воды поступали в высокие широты, что неизбежно приводило к активизации формирования Северо-Атлантической глубинной воды и потеплению в Северном полушарии.

Во время МИС 1 (третий рассматриваемый интервал – 6–0 см) сохраняется общая тенденция потепления. Условия становятся близкими к современным.

Установлено, что на протяжении всего исследуемого периода глубина фораминиферового лизоклина варьировала незначительно относительно своего современного положения (примерно, на уровне 3,5–4 км [Бараш, 1988; Thurman et al., 2004]). На это указывает небольшое количество фрагментов раковин (до 10–20%) на данном интервале и не снижающиеся до критической глубины значения CaCO_3 (от 20 до 70%), а также низкий процент бентосных фораминифер (не более 0,6%).

Благодарности. Автор благодарит рецензентов, чьи замечания существенно улучшили статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бараш М.С. Граница плавучих льдов в Северной Атлантике в верхнем плейстоцене // Океанология. 1974. Т. XIV. Вып. 5. С. 846–851.
- Бараш М.С. Четвертичная палеоокеанология Атлантического океана. М.: Наука, 1988. 272 с.
- Баширова Л.Д., Кулешова Л.А., Матиль А.Г. Миграции Северо-Атлантического течения и Северного полярного фронта в последнем ледниковом интервале и голоцене по данным изучения планктонных фораминифер // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2015. Т. I. С. 54–58.
- Дмитренко О.Б., Сивков В.В., Русаков В.Ю. Позднечетвертичные миграции Субарктического фронта Северной Атлантики (по литологии и наннофосилиям) // Океанология. 2009. Т. 49. № 2. С. 262–277.
- Кеннет Дж. Морская геология: В 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 384 с.
- Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
- Отчет о работах 48 рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш»: Отчеты начальника экспедиции, капитана и начальников отряда. Москва, 2002. С. 77–103.
- Родионов В.Б., Костяной А.Г. Океанические фронты морей Северо-Европейского бассейна. М.: ГЕОС, 1998. 293 с.
- Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and paleoclimatic interpretation // Deep-Sea Research. 1968. V. 15. P. 31–43.
- Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and the lysocline // Mar. Geol. 1970. № 8. P. 111–138.
- Berger W.H., Piper D.J.W. Planktic foraminifera: Differential settling, dissolution, and redeposition // Limnology and Oceanography. 1972. V. 17. P. 275–287.
- Broecker W.S. The Great Ocean Conveyor // Oceanography. 1991. V. 4. P. 79–89.
- Clark P.U., Pisias N.G., Stocker T.F., Weaver A.J. The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change // Nature. 2002. V. 415. P. 863–869.
- Dickson R.R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A.J. The «great salinity anomaly» in the northern North Atlantic 1968–1982 // Prog. Oceanogr. 1988. V. 20. P. 103–151.
- Eynaud F., de Abreu L., Voelker A. Position of the Polar Front along the western Iberian margin during key cold episodes of the last 45 ka // Geochemistry, Geophysics, Geosystems. 2009. V. 10. № 7. Q07U05. P. 1–21.
- Ganopolski A., Rahmstorf S. Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model // Nature. 2001. V. 409. P. 153–158.
- Harvey J.G. Deep and bottom water in the Charlie-Gibbs Fracture Zone // J. Mar. Res. 1980. V. 38. P. 172–173.
- Hemming S.R. Heinrich events: Massive Late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint // Rev. Geophys. 2004. V. 42. RG1005. P. 1–43.
- Irvali N., Ninnemann U.S., Galaasen E.V. et al. Rapid switches in subpolar North Atlantic hydrography and climate during the Last Interglacial (MIS 5e) // Paleoceanography. 2012. V. 27. PA2207. P. 1–10.
- Johnsen S.J., Clausen H.B., Dansgaard W. et al. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core // Nature. 1992. V. 359. P. 311–313.
- Kukla G.J., Bender M.L., de Beaulieu J.-L. et al. Last Interglacial Climates // Quaternary Research. 2002. V. 58. P. 2–13.
- MacAyeal D.R. Binge/Purge oscillations of the Laurentide Ice Sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich Events // Paleoceanography. 1993. V. 8(6). P. 775–784.

Выводы:

– сравнение и анализ данных распределения зерен ледового разноса с данными по растворению и процентному соотношению карбоната кальция в верхней части колонки донных осадков АМК-4515 позволили выделить 3 климатических интервала:

– интервал 1 (слой 78–64 см, предположительно МИС 3) – начало этого периода знаменуется усилением адвекции североатлантических водных масс, отмечается положение СПФ севернее района исследования, но в непосредственной близости от него;

– интервал 2 (слой 64–6 см, МИС 2) характеризуется миграцией фронта к югу от исследуемого района в интервале 36–12 см (последний ледниковый максимум), а также включает в себя два события Хайнриха, сопровождающихся ослаблением активности поверхностной циркуляции;

– интервал 3 (слой 6–0 см, МИС 1) соответствует периоду потепления климата, при котором СПФ располагался севернее района исследования, усилилась Атлантическая меридиональная термохалинная циркуляция, условия стали схожими с современными.

McManus J.F., Oppo D.W., Keigwin L.D. et al. Thermohaline circulation and prolonged interglacial warmth in the North Atlantic // Quat. Res. 2002. V. 58(1). P. 17–21.

Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W. Abyssal Channels in the Atlantic Ocean. Springer, Dordrecht. 2010. 281 p.

Rahmstorf S. Thermohaline Ocean Circulation // Encyclopedia of Quaternary Sciences / Ed. S.A. Elias. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 1–10.

Ruddiman W.F. Late Quaternary deposition of ice-rafted sand in the sub-polar North Atlantic (lat 40° to 65°) // Geol. Soc. Amer. Bull. 1977. V. 88. P. 1813–1821.

Sarnthein M., Stategger K., Dreger D. et al. Fundamental modes and abrupt changes in North Atlantic circulation and climate

over the last 60 ky – Concepts, reconstruction, and numerical modeling // The Northern North Atlantic: A Changing Environment / Eds.: P. Schäfer, W. Ritzrau, M. Schlüter and J. Thiede. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. P. 365–410.

Shor A., Lonsdale P., Hollister C.D., Spencer D. Charlie-Gibbs fracture zone: bottom-water transport and its geological effects // Deep-Sea Research. 1980. V. 27A. P. 325–345.

Swift J.H., Aagaard K. Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland seas // Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers. 1981. V. 28. P. 1107–1129.

Thurman H.V., Trujillo A.P. Introductory Oceanography, 10th Edition (Upper Saddle River). New Jersey: Pearson-Prentice Hall, 2004. 608 p.

Поступила в редакцию 20.07.2016

Принята к публикации 09.02.2017

L.A. Kuleshova¹

LATE PLEISTOCENE TO HOLOCENE CHANGES OF SURFACE WATER CIRCULATION IN THE CENTRAL NORTH ATLANTIC

Distribution of ice-rafted debris (IRD) and calcium carbonate (CaCO₃), as well as the data on dissolution of foraminiferal shells were studied in the AMK-4515 marine sediment core (central North Atlantic, Charlie-Gibbs Fracture Zone). The multiproxy approach made it possible to identify three intervals of surface circulation strengthening and weakening for the study area, corresponding to marine isotope stages (MIS) 1–3. The shift of the North Atlantic Polar front (PF) was also reconstructed. During the first climatic interval (78–64 cm, referred to MIS 3) the increased advection of North Atlantic water masses was recorded. The PF was located north of the study area. The second climatic interval (64–6 cm, MIS 2) is characterized by the southward migration of the PF and also includes two Heinrich events, accompanied by weakening surface circulation activity. During the Last Glacial Maximum (36–12 cm interval) the PF was located south of the study area. The third climatic interval (6–0 cm, MIS 1) corresponds to the warm period: the PF was shifted far northward of the Charlie-Gibbs Fracture Zone; the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC) enhanced at that time; and the situation became similar to modern conditions.

Key words: palaeoceanographic reconstructions, Quaternary palaeoceanography, Charlie-Gibbs Fracture Zone, surface palaeocirculation, North Atlantic Current, North Atlantic Polar Front, Heinrich events.

Acknowledgements. Author would like to thank reviewers whose valuable comments contributed greatly to the improvement of the manuscript.

REFERENCES

Barash M.S. Chetvertichnaya paleoceanologiya Atlanticheskogo okeana [Quaternary Paleoceanology of the Atlantic Ocean]. Moscow: Nauka, 1988. 272 p. (in Russian).

Barash M.S. Granica plavuchikh l'dov v Severnoj Atlantike v verkhnem Plejstocene [The floating ice border in the North Atlantic in the Upper Pleistocene] // Okeanologiya. 1974. V. XIV. № 5. P. 846–851 (in Russian).

Bashirova L.D., Kuleshova L.A., Matul A.G. Migracii Severo-Atlanticheskogo techeniya i Severnogo polyarnogo fronta v poslednem lednikovom intervale i golocene po dannym izucheniya planktonnykh foraminifer [North Atlantic Current and Polar Front migrations during the Last Glacial interval and Holocene: evidence from planktonic foraminiferal data] // Geologiya morej i okeanov: Materialy XXI Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii. Moscow: GEOS, 2015. V. I. P. 54–58 (in Russian).

Berger W.H., Piper D.J.W. Planktic foraminifera: Differential settling, dissolution, and redeposition. Limnology and Oceanography. 1972. V. 17. P. 275–287.

Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and paleoclimatic interpretation // Deep-Sea Research. 1968. V. 15. P. 31–43.

Berger W.H. Planktonic foraminifera: selective solution and the lysocline // Mar. Geol. 1970. № 8. P. 111–138.

Broecker W.S. The Great Ocean Conveyor // Oceanography. 1991. V. 4. P. 79–89.

Clark P.U., Pisias N.G., Stocker T.F., Weaver A.J. The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change // Nature. 2002. V. 415. P. 863–869.

Dickson R.R., Meincke J., Malmberg S.-A., Lee A.J. The «great salinity anomaly» in the northern North Atlantic 1968–1982 // Prog. Oceanogr. 1988. V. 20. P. 103–151.

Dmitrenko O.B., Sivkov V.V., Rusakov V.Yu. Late quaternary migrations of the subarctic front in the North Atlantic (Based on lithology and nanofossils) // Oceanology. 2009. V. 49. № 2. P. 242–256.

Eynaud F., de Abreu L., Voelker A. Position of the Polar Front along the western Iberian margin during key cold episodes of the

¹ Atlantic Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Laboratory for Geology of Atlantic, Research Engineer; I. Kant Baltic Federal University, Ph.D. student; e-mail: lubov_kuleshova@mail.ru

last 45 ka // *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*. 2009. V. 10. № 7. Q07U05. P. 1–21.

Ganopolski A. and Rahmstorf S. Rapid changes of glacial climate simulated in a coupled climate model // *Nature*. 2001. V. 409. P. 153–158.

Harvey J.G. Deep and bottom water in the Charlie-Gibbs Fracture Zone // *J. Mar. Res.*, 38. 1980. P. 172–173.

Hemming S.R. Heinrich events: Massive Late Pleistocene detritus layers of the North Atlantic and their global climate imprint // *Rev. Geophys.* 2004. V. 42. RG1005. P. 1–43.

Irvali N., Ninnemann U.S., Galaasen E.V. et al. Rapid switches in subpolar North Atlantic hydrography and climate during the Last Interglacial (MIS 5e) // *Paleoceanography*. 2012. V. 27. PA2207. P. 1–10.

Johnsen S.J., Clausen H.B., Dansgaard W. et al. Irregular glacial interstadials recorded in a new Greenland ice core // *Nature*. 1992. V. 359. P. 311–313.

Kennett J. *Marine Geology* // Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall. 1982. 813 p.

Kukla G.J., Bender M.L., de Beaulieu J.-L. et al. Last Interglacial Climates // *Quaternary Research*. 2002. V. 58. P. 2–13.

Lisitzin A.P. *Processy okeanskoj sedimentacii* [Ocean sedimentary processes]. Moscow: Nauka, 1978. 392 p. (in Russian).

MacAyeal D.R. Binge/Purge oscillations of the Laurentide Ice Sheet as a cause of the North Atlantic's Heinrich Events // *Paleoceanography*. 1993. V. 8(6). P. 775–784.

McManus J.F., Oppo D.W., Keigwin L.D. et al. Thermohaline circulation and prolonged interglacial warmth in the North Atlantic // *Quat. Res.* 2002. V. 58(1). P. 17–21.

Morozov E.G., Demidov A.N., Tarakanov R.Y., Zenk W. *Abyssal Channels in the Atlantic Ocean*. Springer, Dordrecht. 2010. 281 p.

Отчет о работах 48 рейса НИС «Академик Мстислав Кельдыш»: Отчеты началь'ника экспедиции, капитана и началь'ников отрядов [Scientific report from the 48th cruise of R/V Akademik Mstislav Keldysh: reports of the head of the expedition, captain and heads of the groups]. М., 2002. P. 77–103 (in Russian).

Rahmstorf S. *Thermohaline Ocean Circulation* // *Encyclopedia of Quaternary Sciences* / Ed. S.A. Elias. Amsterdam: Elsevier. 2006. P. 1–10.

Rodionov V.B., Kostyanov A.G. *Okeanicheskie fronty morej Severo-Evropejskogo bassejna* [Oceanic Fronts of the Seas of the North European Basin]. Moscow: GEOS, 1998. 293 p. (in Russian).

Ruddiman W.F. Late Quaternary deposition of ice-rafted sand in the sub-polar North Atlantic (lat 40° to 65°) // *Geol. Soc. Amer. Bull.* 1977. V. 88. P. 1813–1821.

Sarnthein M., Stategger K., Dreger D. et al. Fundamental modes and abrupt changes in North Atlantic circulation and climate over the last 60 ky – Concepts, reconstruction, and numerical modeling // *The Northern North Atlantic: A Changing Environment* / Eds. P. Schafer, W. Ritzrau, M. Schluter, J. Thiede. Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. P. 365–410.

Shor A., Lonsdale P., Hollister C.D., Spencer D. Charlie-Gibbs fracture zone: bottom-water transport and its geological effects // *Deep-Sea Research*. 1980. V. 27A. P. 325–345.

Swift J.H., Aagaard K. Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland seas // *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. 1981. V. 28. P. 1107–1129.

Thurman H.V., Trujillo A.P. *Introductory Oceanography*, 10th Edition (Upper Saddle River). New Jersey: Pearson-Prentice Hall, 2004. 608 p.

Received 20.07.2016

Accepted 09.02.2017

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 911.375

Е.К. Куричева¹**ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В МОСКОВСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ:
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ**

Проведен анализ пространственных тенденций развития Московской агломерации в ходе жилищного строительства, выявлены экстенсивный и интенсивный тренды. Предложена концентрическая модель рынка жилья агломерации на основе пространственной дифференциации интенсивности жилищного строительства, стоимости квартир, исходного генезиса используемых под строительство земельных участков. Выделены два типа рынков жилья: единый «московский», включающий Москву с ближайшими пригородами, и ряд изолированных рынков на периферии агломерации. Показана взаимосвязь жилищного строительства с миграцией населения России в Московскую агломерацию.

Ключевые слова: Московская агломерация, жилищное строительство, рынок жилья, концентрическая модель, миграция.

Рост отечественной экономики, во многом обусловленный высокими мировыми ценами на сырье в 2000 – начале 2010-х гг., вызвал активизацию жилищного строительства в российских городах. В первую очередь это относится к Московской агломерации, в которой за 2000–2015 гг. введено в эксплуатацию 160,8 млн м² жилья [Росстат]. К настоящему времени накоплено большое количество работ, посвященных исследованию развития Московской агломерации в целом и рынка жилищного строительства в частности [Махрова, Нефедова, Трейвиш, 2008, 2012; Зубаревич, 2012; Попов, 2014; ФСК «Лидер», 2014]. Однако в научной литературе жилищное строительство рассматривается, как правило, в качестве автономного внутрирегионального процесса. Анализ зачастую производится на основе агрегированных статистических данных согласно принятому административно-территориальному делению [Махрова, Нефедова, Трейвиш, 2008], при этом возможно размывание границ пространственных явлений или вообще их «потеря» исследователем. Аналитические работы девелоперских компаний рассматривают ограниченное число параметров с целью оптимизации инвестиционной отдачи жилищного строительства в пределах локальной территории операционной деятельности [ФСК «Лидер»]. Между тем, масштабное жилищное строительство вызывает изменения пространственной структуры расселения, рабочих мест, маятниковой миграции, транспортных потоков в агломерации, а через миграционный приток связано с национальной системой расселения и межрегиональным неравенством. Исследованию воздействия жилищного строительства в Московской агломерации на пространственные изменения регионального и национального уровней и посвящена данная работа.

Эмпирической основой работы является сформированная автором база данных, содержащая информацию о количестве проектов, площади возводимого жилья, стоимости квартир, исходном генезисе используемых под строительство земельных участков и других параметрах. Анализ параметров жилищного строительства произведен на основе информации о географических координатах всех жилищных проектов, что повышает точность локализации исследуемых процессов. На январь 2015 г. в Московской агломерации на стадии строительства и продажи находилось 877 жилищных проектов с суммарной площадью жилья 37,5 млн м²; 30% этого пула жилья были уже введены в эксплуатацию, остальные 70% находились на разных стадиях строительства. Исследование взаимосвязи жилищного строительства с миграцией населения России в столичную агломерацию и с внутриагломерационными изменениями в структуре расселения опирается на базу данных Росреестра, содержащую адреса первоначальной регистрации 37,4 тыс. жителей, купивших в 2011–2013 гг. квартиры в 63 жилищных проектах [Росреестр, 2016].

Теоретической основой анализа пространственных изменений Московской агломерации под воздействием жилищного строительства является концентрическая модель, которая описывает дифференциацию землепользования в городе [Burgess, 1967; Duranton and Puga, 2014]. В соответствии с пространственной дифференциацией интенсивности жилищного строительства, стоимости и качества строящегося жилья, исходного генезиса используемых под строительство земельных участков автором выделены 6 концентрических поясов, по 3 в ядре и в пригородной зоне агломерации. Это: 1 – центральный деловой район (ЦДР) в пределах Садового кольца;

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, аспирантка; e-mail: kuricheva@gmail.com

2 – селитебно-деловой пояс вдоль Третьего транспортного кольца (ТТК) на месте бывших промышленных территорий, внешняя граница пояса удалена на 3 км от ТТК; 3 – жилой пояс в пределах МКАД; 4 – пояс субцентров, внешняя граница пояса проходит на расстоянии 10 км от МКАД; 5 – пригородный пояс, внешняя граница проходит по Московскому малому кольцу (ММК); 6 – периферийный пояс между ММК и границей Московской области. Исследование показало, что пространственная дифференциация параметров жилищного строительства происходит по концентрическим поясам вне зависимости от формального административно-территориального деления.

В ходе анализа выявлены полярные тренды развития Московской агломерации под воздействием жилищного строительства. Интенсивный вектор развития выражается в редевелопменте бывших промзон и реконструкции ветхого жилья в ядре агломерации, что вызывает уплотнение существующей городской ткани и повышение связности территорий. В результате в ЦДР наблюдается максимальная интенсивность жилищного строительства (площадь нового жилья на единицу площади территории) в агломерации – 17 тыс. м²/км², а 40% строительства осуществляется за счет сноса и реконструкции ветхого жилья. В селитебно-деловом поясе 67% нового жилья возводится в ходе редевелопмента промзон.

Напротив, за МКАД доминирует экстенсивный вектор развития. В поясе субцентров, где сосредоточена половина жилищного строительства (18 млн м²), 70% ввода жилья осуществляется за счет крупных проектов на свободных от застройки территориях. Это вызывает трансформацию совокупности ближайших к МКАД субцентров в сплошное кольцо городской застройки. Наиболее активно межмагистральные промежутки застраиваются в северо-западном (Химки и Красногорск) и восточном (Балашиха, Реутов и Железнодорожный) секторах. Особенностью пригородного пояса является концентрация сплошной жилой застройки вдоль полимагистралей: 95% нового жилья сосредоточено на расстоянии менее 3 км от ж/д или автомагистрали. В периферийном поясе (2,9 млн м² нового жилья) жилищное строительство концентрируется на территории субагломераций второго порядка – 86% нового жилья. В разрезе секторов максимум интенсивности жилищного строительства достигается в северо-западном, юго-западном, восточном и южном секторах, где преобладают крупные проекты микрорайонов на свободных территориях.

Жилищное строительство вызывает противоположно направленные изменения в структуре расселения агломерации. Центростремительный вектор направлен в ЦДР и в селитебно-деловой пояс, где сосредоточено жилье элитного и бизнес-класса, а москвичи составляют 70–80% среди покупателей. Центробежный вектор приводит к увеличению численности населения в поясе субцентров как за счет

миграции, так и вытеснения из столицы москвичей (50–60% среди покупателей), которые из-за высоких цен на московскую недвижимость могут решить свою жилищную проблему, лишь приобретя относительно дешевое жилье эконом-класса в Московской области. Ведь даже в жилом поясе средняя стоимость однокомнатной квартиры на первичном рынке достаточно велика – 13,8 млн рублей. Таким образом, осуществляется частичное замещение коренного населения столицы.

Различный пространственный масштаб агломерационного эффекта для различных отраслей экономики приводит к концентрации сферы услуг и управления в ядре агломерации, а промышленности – на ее периферии [Kolko, 2007]. Пространственная дифференциация структуры региональной экономики способствует формированию двух сегментов рынка жилья в агломерации. Во-первых, это единый рынок жилья в пределах ММК, ориентированный на московский рынок труда и включающий в себя пять концентрических поясов, что подтверждается высокой долей (50–80% в зависимости от пояса) москвичей среди покупателей жилья. Во-вторых, это ряд изолированных рынков жилья в периферийном поясе вокруг субагломераций второго порядка, ориентированных на местные рынки труда (более 50% жителей Московской области среди покупателей жилья). Таким образом, на уровне агломерации жилищное строительство вызывает пространственную дифференциацию рынка жилой недвижимости, структуры расселения, территориального состава покупателей.

Действие жилищного строительства не ограничивается региональными рамками, но за счет преобладания экстенсивного освоения территорий оказывает влияние на всю национальную систему расселения. Привлекательный рынок труда вызывает миграцию населения России в Московскую агломерацию, что усиливает спрос на жилье. Спрос стимулирует масштабную застройку свободных территорий, которая дает 50% нового жилья в агломерации. Это позволяет получить относительно невысокую цену жилья, что поддерживает возможность продолжения миграции. Так, в поясе субцентров средняя стоимость однокомнатной квартиры на первичном рынке составляет 4,6 млн руб., а доля жителей других регионов среди покупателей жилья достигает 25% (что вдвое больше, чем в пределах МКАД). Концентрация 71% строящегося жилья агломерации в поясе субцентров и пригородном поясе приводит не только к относительному, но и к абсолютному максимуму покупателей из других регионов в ближайших пригородах. Именно относительно недорогое жилье эконом-класса пояса субцентров и пригородного пояса способствует дальнейшему миграционному притоку в агломерацию, который за 1991–2015 гг. (с учетом поправок по результатам переписи населения 2002 и 2010 гг.) превысил 5,7 млн человек [Росстат]. За последние 25 лет миграция компенсировала естественную убыль населения агломе-

рации и привела к росту его численности на 4,1 млн человек [Росстат]. В результате строительство недорогого жилья на свободных территориях за МКАД сформировало петлю положительной обратной связи между жилищным строительством и миграцией в столичную агломерацию. К настоящему времени население Московской агломерации почти сравнялось с совокупным населением всех остальных городов-миллионников.

Концентрация населения достигла уровня, создающего риски для устойчивости национальной системы расселения. Отток человеческого капитала со всей территории России лишает ресурсов развития альтернативные центры. Таким образом, жилищное строительство в Московской агломерации является полимасштабным фактором, действующим не только на региональном, но и на национальном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Зубаревич Н.В. Москва на фоне других крупнейших городов России: что показывает статистика // SPERO. 2012. № 17. С. 57–68.

Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Московская область сегодня и завтра: тенденции и перспективы пространственного развития. М.: Новый хронограф, 2008. 344 с.

Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Пространственные тенденции социально-экономического развития Московской агломерации // Территория и планирование. 2012. № 4(40). С. 18–34.

Попов А.А. Пространственно-временной анализ факторов ценообразования на рынке жилой недвижимости Москвы // Региональные исследования. 2014. № 4(46). С. 70–80.

Росреестр. Портал услуг // URL: <https://rosreestr.ru/wps/portal/#> (Дата обращения: 26.05.2016).

Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Российский статистический ежегодник // URL: <http://>

www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078 (Дата обращения: 10.06.2016).

ФСР «Лидер». Аналитические материалы. 26.11.2014 // URL: <http://fsr-lider.ru/press/analitic/93581> (Дата обращения: 03.06.2016).

Burgess E. W. The growth of the city: an introduction to a research project. The University of Chicago Press. Chicago and London, 1967. P. 47–62.

Duranton G., Puga D. Urban Land Use. Handbook of Regional and Urban Economics. 2015. V. 5. Elsevier: Amsterdam. P. 467–560.

Kolko J. Agglomeration and Co-Agglomeration of Services Industries. MPRA Paper 3362, University Library of Munich, Germany, 2007. 46 p.

Поступила в редакцию 12.07.2016
Принята к публикации 09.02.2017

Е.К. Kuricheva¹

HOUSING CONSTRUCTION IN MOSCOW AGGLOMERATION: SPATIAL CONSEQUENCES

Spatial trajectories of the Moscow agglomeration development in the course of housing construction are analyzed, and the extensive and intensive trends are revealed. A concentric model of Moscow housing market is suggested basing on the spatial differentiation of housing construction intensity, cost of apartments and the initial genesis of plots used for construction. Two types of housing markets are identified, i.e. the integrated «Moscow» market including the city of Moscow and its immediate suburbs, and a number of isolated markets on the periphery of the agglomeration. The relationship between the housing construction and the migration of Russia's population into Moscow agglomeration is shown.

Key words: Moscow agglomeration, housing construction, housing market, concentric model, migration.

REFERENCES

Burgess E. W. The growth of the city: an introduction to a research project. The University of Chicago Press. Chicago and London, 1967. P. 47–62.

Duranton G., Puga D. Urban Land Use. Handbook of Regional and Urban Economics, 2015. V. 5. Elsevier: Amsterdam. P. 467–560.

Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki (Rosstat). Rossijskij statisticheskij ezhegodnik // URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1135087342078 (Accessed: 10.06.2016) (in Russian).

¹ Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, postgraduate student; e-mail: kuricheva@gmail.com

FSK «Lider». Analiticheskie materialy. 26.11.2014 // URL: <http://fsk-lider.ru/press/analytic/93581> (Accessed: 03.06.2016) (in Russian).

Kolko J. Agglomeration and Co-Agglomeration of Services Industries. MPRA Paper 3362, University Library of Munich, Germany, 2007. 46 p.

Makhrova A.G., Nefedova T.G., Treivish A.I. Moskovskaya oblast' segodnya i zavtra: tendencii i perspektivy prostranstvennogo razvitiya [The Moscow Oblast today and tomorrow: trends and prospects of spatial development]. M.: Novyj Khronograf, 2008. 344 p. (in Russian).

Makhrova A.G., Nefedova T.G., Treivish A.I. Prostranstvennye tendencii social'no-ekonomicheskogo razvitiya Moskovskoj aglomeracii [Spatial trends in socio-economic

development of the Moscow agglomeration] // *Territoriya i planirovanie*. 2012. № 4(40). P. 18–34 (in Russian).

Попов А.А. Prostranstvenno-vremennoj analiz faktorov cenoobrazovaniya na rynke zhiloy nedvizhimosti Moskvy [Spatial-temporal analysis of pricing factors at the residential real estate market of Moscow] // *Regional'nye issledovaniya*. 2014. № 4(46). P. 70–80 (in Russian).

Rosreestr. Portal uslug // URL: <https://rosreestr.ru/wps/portal/#> (Accessed: 26.05.2016) (in Russian).

Zubarevich N.V. Moskva na fone drugih krupnejshikh gorodov Rossii: chto pokazyvaet statistika [Moscow against the background of other largest cities of Russia: what does the statistics show] // *SPERO*. 2012. № 17. P. 57–68 (in Russian).

Received 12.07.2016

Accepted 09.02.2017

УДК: 379.85:502.2

В.В. Корбут¹, М.В. Цекина²

ДЮНЫ ЛЕТНЕГО БЕРЕГА БЕЛОГО МОРЯ КАК ОБЪЕКТ ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ТУРИЗМА

Виртуальная экологическая тропа посвящена уникальным природным образованиям побережья Белого моря – комплексу дюн разного возраста. Описаны особенности растительного покрова дюн, показано его участие в формировании и разрушении данного геоморфологического объекта.

Ключевые слова: экологическая тропа, экпросвещение, литораль, познавательный туризм.

Введение. Глобальные экологические проблемы затрагивают интересы каждого человека в отдельности и человечества в целом. В докладе «Основы государственной политики ... в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года» [Основы ..., 2012] определены стратегия и основные задачи в сфере охраны окружающей среды, механизмы их реализации при модернизации экономики. Экологически ориентированный рост экономики требует сохранения биоразнообразия и природных ресурсов, позволяющих реализацию права человека на благоприятную окружающую среду.

На сегодняшний день необходима интенсификация формирования экологически ответственного мировоззрения и экологической культуры, развитие экологического образования и воспитания [Корбут, Цекина, 2014], включающего экологический и познавательный туризм на территориях различных особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Многие интересные, с точки зрения экологического туризма, территории Арктики и Субарктики в настоящее время мало посещаемы из-за ограниченной транспортной доступности. Это охраняемые зоны заповедников и национальных парков, на территории которых экологическое просвещение относится к важному, но побочному виду деятельности. На сегодняшний день в национальных парках РФ существует несколько форм экпросвещения: экологические тропы, музеи и/или визит-центры, позволяющие получить некоторое впечатление о территории ООПТ. С недавнего времени стали появляться так называемые виртуальные тропы или туры. Они, как правило, знакомят «отдаленного туриста» с визуальным рядом наиболее красочных и выдающихся объектов или с круговой панорамой исследуемой территории.

Использование природно-культурных объектов в целях экологического образования ограничено природной сезонностью, погодными условиями и т. п. Увеличение нагрузок на геосистемы приводит к их ослаблению, необратимым разрушениям. Для смяг-

чения этих воздействий, интенсификации экологического мышления и увеличения креативности экскурсантов мы предлагаем использовать виртуальные экологические тропы.

Цель работы: дальнейшее развитие концепции виртуальных экологических маршрутов и троп на примере разработанных в 2015 г. для Национального парка «Онежское Поморье» виртуальных экотроп «Дюны», «Волны», «Литораль». В работе использованы материалы для одной из троп – «Дюны», в которой удалось соединить геоморфологические и экосистемные подходы.

Материалы и методы. Национальный парк «Онежское Поморье» создан в 2013 г. на побережье Онежского полуострова Архангельской области. Одна из целей его деятельности – развитие контролируемого туризма и сети экологических маршрутов. Виртуальные экологические тропы дополняют реальные или заменяют в условиях плохой погоды.

Исследования проведены на Летнем берегу Онежского полуострова национального парка «Онежское Поморье» в районе дер. Летняя Золотица. Старинная поморская деревня расположена в устье реки Золотица рядом с усадьбой национального парка. Основное внимание уделено прибрежному комплексу, включающему разные уровни морской литорали и разнообразные песчаные дюны как объекты туристского показа.

Своим возникновением дюны обязаны морской литорали, волнам и ветру и ряду других факторов [Лаврова, 1928]. В пределах литорали выделено три уровня: *сублитораль*, всегда покрытая морской водой кромка моря; *супралитораль* – пояс формирования солончаковой растительности; между ними расположена *собственно литораль* – зона действия приливно-отливной волны – два раза в сутки море заливают ее и осушает. Именно на нее приливные и штормовые волны выносят морские выбро-сы – источник пищи для разных животных.

На литорали Летнего берега практически отсутствуют препятствия для морских волн в виде

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, ст. науч. сотр., канд. биол. н.; e-mail: vadimkorb@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра рекреационной географии и туризма, науч. сотр., канд. геогр. н.; e-mail: mtsekina@list.ru



Рис. 1. Дюны разного возраста

Fig. 1. Dunes of different ages

островов, корг, баклышей, что создает возможность для постоянного линейного перемещения ветра, волн, вызывающих перевывание песка. Поверхность литорали сохраняет следы воздействия ветра и волн на песчаные пляжи. Выше литорали расположен комплекс современных растущих и развеваемых дюн, еще выше сохранились древние дюны, поросшие древесно-кустарниковой растительностью.

Визуальные наблюдения проводились для выделения наиболее информативных для виртуальной демонстрации туристам участков побережья и литорали. Сбор фотоматериала для создания банка данных по подбору зрительных образов местного пейзажа проходил в разное время суток. Внимание было уделено характеру и структуре дюнной растительности, влияющей на образование и разрушение тела дюны. Растительность дюны рассматривали как основной фактор ее формирования, сохранения и разрушения. Сообщества растений оценивались с позиции приспособленности к существованию в экстремальных условиях Арктического бассейна. Демонстрация геоморфологических особенностей дюн и их растительности усиливает аттрактивность данного участка территории парка.

Результаты и обсуждение. Основная цель виртуальной экологической тропы «Дюны» – демонстрация и объяснение сложных динамических процессов, протекающих в природном экотоне морского побережья. Особое внимание уделено взаимодействию береговых и морских процессов. Побережье от устья ручья Паранинский до мыса Сатанский характеризуется наличием комплекса береговых

дюн. Их развитие связывают с развеванием сложенной песком морской террасы, а также комплекса более древних дюн [Лаврова, 1928]. Возраст данных образований весьма молодой – ориентировочно, от 200 (небольшие дюны по переднему краю – авандюны) до 2000 лет (наиболее крупные, отодвинутые от моря ближе к тайге). Облик дюн разного возраста и состояния отражает изменения морфологии дюн (рис. 1).

При описании тропы «Дюны» даются особенности растительного покрова и животного мира дюн, их непрерывная динамика; «туристам» рассказывается о роли волн и ветра в их формировании, о причудливой архитектонике растений дюн – сферической форме кустов можжевельника и кустарничков вороники (рис. 2).

Расширение разнообразия эколого-туристского продукта в ООПТ подразумевает показ не только редких, уникальных или обычных объектов живой природы (растений, представителей животного мира), но и их связей с объектами неживой природы (рельефом, морем, пляжем) (рис. 3).

Работа над созданием виртуальной экологической тропы для Кандалакшского государственного природного заповедника в 2011–2014 гг. позволила разработать концепцию, логику и принципы построения подобных троп. Применение виртуальных троп позволяет решать различные целевые задачи:

- 1) вовлекать местных жителей, прежде всего школьников и подростков, в процессы экологического просвещения и воспитания;



Рис. 2. Архитектоника растений дюн – сферическая форма кустов можжевельника и кустарничков вороники

Fig. 2. Architectonics of dune vegetation – spherical bushes of juniper and crowberry dwarf shrubs



Рис. 3. Связь объектов живой и неживой природы в ООПТ

Fig. 3. Interrelation of living and abiotic objects within nature protected areas

2) знакомить вахтовых работников, туристов и учащуюся молодежь, научных работников, людей, по разным причинам не имеющих возможность путешествовать на данных территориях, с целостной картиной мира Севера;

3) способствовать защите природы Арктики и Субарктики через осознанный подход к выбору реального маршрута;

4) расширять возможности научного туризма на территории ООПТ, привлекая посетителей к участию в проведении научных исследований.

Традиционная культура (промысловый язык поморов) включена в круговорот природных процессов Субарктики и Арктики, что отражается в содержании виртуальных экологических троп в качестве необходимого условия существования человека в высоких широтах. Сохранение и сочетание культурных и природных компонентов позволяет трактовать данные тропы как культурно-экологические.

Виртуальные тропы могут быть полноценным элементом экопросвещения в ООПТ, став серьезным подспорьем для разнообразия этой деятельности при любой погоде и сезоне.

Реальные экологические тропы, как правило, посвящены биологическим объектам при отсутствии привязки этих объектов к ландшафтной основе. В подобных программах и маршрутах упор делается на демонстрацию редких видов растений и животных, большинство из которых внесено в Красные книги разного уровня. Показ яркой «картинки» объекта, не вписанного во вмещающий ландшафт, снижает

образовательно-просветительскую ценность тропы, туристскую привлекательность территории. В то же время такие географические характеристики объекта, как ландшафт, рельеф должны являться важнейшими «экспонатами» экологического туризма наравне с отдельными объектами экосистем. Виртуальные экотропы позволяют сместить аспекты демонстрации с отдельных объектов, наиболее ярких с точки зрения показа, на значимые особенности и взаимосвязи во вмещающих ландшафтах.

Выводы:

– виртуальные экологические тропы позволяют одновременно демонстрировать объекты живой и неживой природы и их взаимосвязи, увеличивая познавательную ценность реальной или проектируемой экологической тропы. Подобный дидактический прием значительно расширяет когнитивный эффект экологического просвещения в ООПТ, тем самым усиливая его привлекательность для посетителей;

– виртуальная экологическая тропа демонстрирует динамику экологических процессов и связей в природных сообществах, способствует получению комплексной информации и просвещению разных категорий посетителей ООПТ;

– важными объектами демонстрации на виртуальных экологических тропах являются экотопы как наиболее динамичные образования. Именно в них сосредоточены разноуровневые геоморфологические и биотические процессы, что позволяет демонстрировать посетителям ООПТ как отдельные природные сценарии, так и их целостную картину.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Блинова Ю.М., Бредихин А.В. Системообразующая роль геоморфологических памятников в рекреационной деятельности // Вопросы географии. Теория и практика туризма. М.: Изд. Дом Кодекс, 2014. Сб. 139. С. 347–371.

Корбут В.В., Цекина М.В. Виртуальные маршруты в экологическом просвещении // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 3. С. 10–15.

Лаврова М.А. О древних дюнах Онежского полуострова // Докл. АН СССР. Сер. А. 1928. № 12. С. 215–220.

Основы государственной политики в области экологического развития Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс] // Официальный сайт Президента России. URL: www.kremlin.ru (дата обращения 15.09.2013).

Поступила в редакцию 31.05.2016
Принята к публикации 09.02.2017

V.V. Korbut¹, M.V. Cekina²

DUNES OF THE WHITE SEA SUMMER COAST AS AN OBJECT OF EDUCATIONAL TOURISM

Virtual environmental trail presents the unique natural phenomena of the White Sea coast, i.e. the complex of age-diverse dunes. Specific features of dune vegetation cover are described. Its role in formation and destruction of the geomorphologic object is analyzed.

Key words: environmental trail, environmental education, littoral, educational tourism.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Senior Scientific Researcher, PhD. in Biology; e-mail: vadimkorb@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Recreational Geography and Tourism, Scientific Researcher, PhD. in Geography; e-mail: mtsekina@list.ru

REFERENCES

Blinova Yu.M., Bredikhin A.V. Sistemoobrazuyushaya rol geomorfologicheskikh pamyatnikov v rekreatsionnoj deyatel'nosti [System-forming role of geomorphologic monuments in recreation activities] // *Voprosy geografii. Teoriya i praktika turizma*. M.: Izd. Dom Kodeks, 2014, Sb. 139. S. 347–371 (in Russian).

Korbut V.V., Cekina M.V. Virtualnye marshruty v ekologicheskom prosvechshenii [Virtual tours for the environmental education] // *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5 Geografiya*. 2014. № 3. S. 10–15 (in Russian).

Lavrova M.A. O drevnikh dunakh Onezhskogo poluostrova [About ancient dunes of the Onega Peninsula] // *Dokl. AN SSSR. Ser. A* 1928. № 12. S. 215–220 (in Russian).

Osnovy gosudarstvennoj politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossijskoj Federatsii na period do 2030 goda [Basics of the state policy of environmental development of the Russian Federation for the period till 2030] // *Oficialnyj sayt Prezidenta Rossii*. URL: www.kremlin.ru (Data obrashcheniya 15.09.2013).

Received 31.05.2016

Accepted 09.02.2017

УДК 379.85

Ю.Н. Голубчиков¹, В.И. Кружалин²

АРКТИЧЕСКИЙ ТУРИЗМ

Впервые рассмотрена численность постоянного населения севернее границы леса в пределах тундры, лесотундры и полярных пустынь в сопоставлении с численностью туристов, посещающих эти области. Делается вывод, что в некоторых арктических субъектах превышение численности туристов над местным населением составляет десятки раз.

Ключевые слова: туризм, Арктика, население, освоение, политико-административные границы.

Материалы и методы. Условимся включать в Арктику те административные единицы, территории которых целиком или большей своей частью располагаются севернее границы леса. Такие физико-географические рамки отличаются от официальных границ Арктической зоны РФ. С этих позиций, например, районы Архангельской области (без Ненецкого округа), включенные в Арктическую зону РФ, арктическими не являются. Существенной своей частью они входят в подзону северной тайги, и располагаются они вне зоны вечной мерзлоты. Магаданская область, напротив, хотя и не включена в Арктическую зону РФ, но главные ее площади занимают субарктические гольцы, кедровостланниковые заросли, приморские тундры и лиственничные редколесья (мари). Не нашлось места в Арктической зоне РФ «полюсу холода» Северного полушария, лесотундрам Абыйского улуса на средней Индигирке, Оленёкскому улусу с плотностью населения в 1 чел. на 100 км², Корякскому округу Камчатской области.

Благодаря северной границе леса и появилось такое понятие, как «Арктика». Как отмечает Б.А. Юрцев [1991], выпадение деревьев во всех термических поясах – от экваториального до таежного – означает самую крупную перестройку экосистем, проявляющуюся в сокращении на порядок вертикальной мощности фитосферы. Снеговая линия и холодные пределы лесов – одни из наиболее комплексных рубежей планеты – ограничивают самые суровые перигляциальные среды, где еще может жить постоянно человек.

Динамика численности постоянного населения административных субъектов севернее границы сплошных лесов оценивалась за последние три десятилетия (табл.). В РФ учет велся по переписи населения 1989 г. и оценкам численности населения 2016 г. По зарубежным районам Арктики аналогичные сопоставления проводились по следующим административным единицам:

– в Норвегии по Финнмарк (Finnmark), Нурланн (Nordland) за 1986–2015 гг., по Тромс (Troms) за 1985–

2015 гг., по Шпицбергену и Ян-Майену (Svalbard and Jan Mayen) за 1982–2015 гг.;

– в Финляндии по Лапландии (Lappi) за 1985–2016 гг.;

– в Швеции по Норботтен (Norrbotten) за 1984–2016 гг.;

– в Дании по Фарерским островам (Faroe Islands) за 1984–2016 гг.;

– в Исландии за 1987–2016 гг.;

– в Гренландии за 1986–2016 гг.;

– в Канаде по Юкону и Северо-Западным территориям за 1986–2016 гг.; по Нунавуту (Nunavut), входившему до 1999 г. в Северо-Западные территории за 2009–2016 гг.; по Нунавиду (Nunavik) за 2001–2016 гг.; по Нунатсиавуту (Nunatsiavut) за 2006–2011 гг.;

– в США по Аляске за 1989–2015 гг.

Результаты исследований и их обсуждение.

Численность постоянного населения арктических и субарктических субъектов севернее границы сплошных лесов на 2016 г. оказалась равной 4,2 млн человек. Из них 2,2 млн проживает в Зарубежной Арктике и около 2,0 млн человек в Российской Арктике.

Депопуляция Российской Арктики севернее границы сплошных лесов составила с 1989 г. 1,3 млн чел. В то же время население Зарубежной Арктики выросло на 365 тыс. чел., в основном за счет Аляски и Исландии.

В настоящее время число туристов в Зарубежной Арктике превысило число постоянных арктических жителей в 6 раз. По некоторым из арктических субъектов число туристов превышает численность местного населения в десятки раз. К примеру, канадскую провинцию Юкон населяет 33 тыс. жителей, а число туристов достигает 313 тыс. чел. [Belik 2013; Pashkevich, 2014]. Шведский Норботтен населяет 250 тыс. чел., а навещает его ежегодно 4,5 млн туристов – больше чем жителей всей Арктики. В трех норвежских арктических районах (фюльке) численностью 480 тыс. чел. число туристов достигает 3,3 млн. Число жителей в финской Лапландии

¹ Кафедра рекреационной географии и туризма географического факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, вед. науч. сотр., канд. геогр. н.; e-mail: golubchikov@list.ru

² Кафедра рекреационной географии и туризма географического факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, заведующий кафедрой, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: v.kruzhalin@gmail.com

**Соотношение численности постоянного населения и туристов в субарктических и арктических областях
(тыс. чел)**

Административная единица	Численность постоянного населения в 2015–2016 гг.	Динамика численности населения за последние 30 лет	Ежегодная численность туристических посещений, в 2012–2016 гг.
<i>Российская Арктика:</i>			
Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. Национальный парк «Русская Арктика» (Россия)	3	0	1 [SahaNews, 2015]
Мурманская область	762	–385	312 [Доклад ..., 2016]
Ненецкий АО	44	–11	60 [Доклад ..., 2016]
Республика Коми, преимущественно тундровые и лесотундровые районы, в том числе городской округ Воркута, Интский, Усинский, Усть-Цильменский районы	168	–195	210, вся Республика [Доклад ..., 2016]
Ямало-Ненецкий округ	534	+48	484 [Доклад ..., 2016]
Красноярский край, Таймырский (Долгано- Ненецкий) район и городской округ Норильск	260	–105	588 [Доклад ..., 2016]
Якутия, преимущественно тундровые и лесотундровые районы, в том числе: Абыйский, Аллаиховский, Анабарский, Булунский, Верхоянский, Жиганский, Момский, Нижнеколымский, Оленекский, Среднеколымский, Усть-Янский, Эвено- Бытантайский	63	–76	170, вся Республика [Доклад ..., 2016]
Магаданская обл.	146	–397	1 [Доклад ..., 2016]
Чукотский АО	50	–108	25 [Доклад ..., 2016]
Корякский округ Камчатского края	17	–22	60 [Доклад..., 2016]
<i>Зарубежная Арктика</i> , преимущественно тундровые и лесотундровые районы, в том числе:	2047	–1251	944 [Доклад ..., 2016], 500 [Цекина, 2014]; авторская оценка
Норвегия: Финнмарк, Нурланн, Тромс, Шпицберген	480	+15	3440 [Pettersen, 2014]
Финляндия: Лапландия	181	–3	2400 (2013), из них 1300 финны и 1000 интуристы [Pashkevic, 2014]
Швеция: Норботтен	250	–14	4500 [Pashkevic, 2014]
Дания: Фарерские острова	49	+4	52 [Pashkevic, 2014]
Исландия	333	+86	807 [Pashkevic, 2014]
Арктическая Европа в целом	1293	+88	11200
Дания: Гренландия	56	+5	82 [Fay, Karlsd?ttir, 2011]
США: Аляска	738	+259	1960 [Pashkevic, 2014]
Канада: Юкон, Северо-Западные территории, Нунавут (Nunavut), Нунавик (Nunavik), Нунатсавуту (Nunatsiavut)	131	+13	64 [Belik 2013; Pashkevic, 2014]
Американская Арктика в целом	925	+277	2456
Заруб. Арктика в целом	2218	+365	13656
Арктика в целом	4265	–886	14200

составляет 184 тыс. чел. К ним ежегодно приезжают 2,4 млн туристов, из которых 1,4 млн финны, 1 млн иностранные туристы. Число туристов в одной финской Лапландии превышает численность всего населения Российской Арктики. Всего посещает Зарубежную Арктику 13,7 млн туристов в год.

Российскую Арктику при сопоставимой численности населения с Зарубежной Арктикой посещает около миллиона (944 тыс.) туристов в год [Доклад ..., 2016]. Цифра видится нам завышенной, в частности из-за завышенной численности туристических посещений Ямало-Ненецкого

(484 тыс.), Ненецкого (60 тыс.) и Чукотского округов (25 тыс.). Более достоверной видится оценка М.В. Цекиной [2014] в 500 тыс. арктических туристов в РФ в год, из которых более половины приходится на Мурманскую область. Иными словами, число туристов в Российской Арктике, занимающей половину по площади и населению всей Арктики, в 27 раз уступает численности туристов в Зарубежной Арктике.

Выводы:

— соотношение численности постоянного населения и туристов в субарктических и арктических областях дает представление о значимости туризма в жизни арктических территорий. В Зарубежной Арктике в ряде областей число туристов многократно превышает численность постоянного населения, даже с учетом сезонности и кратковременности туристических посещений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Доклад о состоянии и развитии туризма в Российской Федерации в 2015 году. М.: Министерство культуры Российской Федерации, 2016. 212 с.

Цекина М.В. Оценка туристско-рекреационного потенциала Российского Заполярья. Автореф. дис. ... канд. геогр. н. МГУ, Географический факультет, 2014. 24 с.

Юрцев Б.А. Растительный покров полярной безлесной области: проблемы изучения и охраны // Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983.

Belik V. Our annual tourism report card. Up Here Business. 2013, May. V. 118. Retrieved from www.upherebusiness.ca. Belik 2013 Проверено 23.02.2017.

Fay G., Karlsdyttir A. Social indicators for Arctic tourism: Observing trends and assessing data // Polar Geography. 2011. № 34. P. 63–86.

Pashkevich A. Arctic Tourism: Realities & Possibilities / Ed.: Dr. Lassi Heininen. Arctic Yearbook. 2014: Scholarly Articles, Section II: Regional Economy & Prosperity. P. 1–17.

Pettersen T. Barents Observer <http://barentsobserver.com/ru/biznes/2014/12/turisticheskiy-bum-v-severnoy-norvegii-10-12>. Проверено 23.02.2017.

SahaNews, 2015// <http://www.1sn.ru/154313.html>. Проверено 23.02.2017.

Поступила в редакцию 28.04.2016

Принята к публикации 09.02.2017

Yu.N. Golubchikov¹, V.I. Kruzhalin²

TOURISM IN THE ARCTIC REGIONS

For the first time the numbers of resident population living to the north of the forest limit within tundra, forest tundra and polar deserts are compared with the number of tourists visiting these areas. It is concluded that in some Arctic regions the number of tourists is dozens of times greater than the local population.

Key words: tourism, population, development, political and administrative boundaries, Arctic.

REFERENCES

Belik V. Our annual tourism report card. Up Here Business. 2013, May. 118. Retrieved from www.upherebusiness.ca. Belik 2013 Checked 23.02.2017.

Cekina M.V. Ocenka turistsko-rekreacionnogo potenciala rossijskogo Zapolyar'ja. [Assessment of the touristic-recreational potential of the Russian Arctic] Avtoreferat dis. kandidata geograficheskikh nauk: 25.00.24, MGU, Geograficheskij fakul'tet, 2014. 24 s. (in Russian).

Doklad o sostoyanii i razvitiu turizma v Rossijskoj Federacii v 2015 godu [2015 Report of the state and development of tourism in the Russian Federation]. M.: Ministerstvo kul'tury Rossijskoj Federacii, 2016, 212 s. (in Russian).

Fay G., Karlsdyttir A. Social indicators for Arctic tourism: Observing trends and assessing data. Polar Geography, 2011, no 34. P. 63–86.

Pashkevich A. Arctic Tourism: Realities & Possibilities / Ed.: Dr. Lassi Heininen. Arctic Yearbook 2014: Scholarly Articles, Section II: Regional Economy & Prosperity. P. 1–17.

Pettersen T. BarentsObserver <http://barentsobserver.com/ru/biznes/2014/12/turisticheskiy-bum-v-severnoy-norvegii-10-12>. Checked 23.02.2017.

Saha News, 2015. <http://www.1sn.ru/154313.html>. Checked 23.02.2017.

Yurcev B.A. Rastitel'nyj pokrov polyarnoj bezlesnoj oblasti: problemy izucheniya i ohrany [Vegetation cover of the polar treeless area, its investigation and protection] // Problemy ekologii polyarnyh oblastej. M.: Nauka, 1983 (in Russian).

Received 28.04.2016

Accepted 09.02.2017

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Recreational Geography and Tourism, Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; *e-mail:* golubchikov@list.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Recreational Geography and Tourism, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* v.kruzhalin@gmail.com

ЮБИЛЕЙ

80-летие НИКОЛАЯ НИКОЛАЕВИЧА ДРОЗДОВА

В июне 2017 года – юбилей профессора кафедры биогеографии географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова – Николая Николаевича Дроздова.

Вся научная деятельность Николая Николаевича связана с кафедрой биогеографии. В 1963 г. он с отличием окончил географический факультет МГУ и был принят в аспирантуру кафедры биогеографии. По окончании аспирантуры и до настоящего времени работает на кафедре биогеографии – сначала младшим, затем старшим научным сотрудником, затем доцентом и профессором.

Наибольшее влияние на формирование научных интересов Николая Николаевича оказали профессора А.Г. Банников, А.Г. Воронов, Н.А. Гладков, А.П. Кузьякин, А.М. Чельцов-Бебутов.

Еще со школьных лет Н.Н. Дроздов привлекала жизнь животных. В эти годы большое влияние на формирование его интересов и становление личности оказал выдающийся педагог, просветитель и натуралист П.П. Смолин.

Особый интерес Николай Николаевич проявлял к животному населению аридных регионов Земли, их биологическому разнообразию и охране. В 1968 г. Николай Николаевич защитил кандидатскую диссертацию на тему «Культурные ландшафты аридных ландшафтов Средней Азии и их орнитофауна» и в 2000 г. – докторскую диссертацию на тему «Фауна, животное население и охрана биологического разнообразия в аридных регионах Земли».

Николай Николаевич Дроздов – разносторонний ученый-естествоиспытатель, неутомимый путешественник, участник экспедиций, охвативших практически весь земной шар, талантливый педагог. Им внесен значительный вклад в развитие теории экологической биогеографии – разработаны подходы к классификации аридных биомов планеты, основанные на анализе структурно-функциональных связей, разнообразия фаун и динамики процессов формообразования в очагах аридности, вопросы фаунистического районирования. На протяжении всей своей научной деятельности Николай Николаевич большое внимание уделяет развитию и совершенствованию системы охраняемых территорий, в том числе биосферных заповедников. Н.Н. Дроздовым опубликовано около 200 научных и научно-популярных статей, более 20 книг, учебников и учебных пособий для школьников, студентов, учителей и преподавателей вузов. Он – автор крупных разделов в таких фундаментальных монографиях, как «Жизнь животных», «Пустыни мира»; им опубликовано несколько университетских учебников (в соавторстве) – «Биогеография», «Биогеография с основами экологии», «Биологическое разнообразие», выдержавших уже не одно издание.

Н.Н. Дроздов участвовал во многих научных экспедициях в нашей стране и за рубежом. В 1971–1972 гг. был командирован по линии Минвуза СССР в Австра-

лийский Национальный университет, где провел полевые исследования по теме докторской диссертации. Он объехал самые удаленные уголки континента и прилегающих островов. В 1980 г. он принял участие в четырехмесячной экспедиции ЮНЕСКО на корабле «Каллисто» по островам Фиджи, Тонга и Самоа. В 1993 и 1995 гг. участвовал в экспедициях к Северному полюсу, по Северному морскому пути и вдоль побережья Аляски и Канады на кораблях «Ямал» и «Дискаверер».

В разные годы Николай Николаевич читал курсы лекций на географическом факультете МГУ по биогеографии, экологии, орнитологии, охране природы и заповедному делу, преподавал в университетах Гаваны, Праги, Будапешта, Дар-эс-Салама, Лусаки. В настоящее время он читает лекции в межкафедрацетском курсе «Живая планета», который пользуется большим интересом у студентов.

Н.Н. Дроздов – талантливый популяризатор науки о живой природе и ее охране. Его известная всей стране телепередача «В мире животных» сыграла огромную роль в формировании экологического мировоззрения у нескольких поколений жителей нашей страны. Им написано много статей и книг, обращенных к школьникам и направленных на формирование у них интереса к живой природе.

Николай Николаевич ведет большую работу в международных природоохранных организациях: он член Комиссии национальных парков Международного Союза Охраны Природы (МСОП); в течение многих лет оказывает консультативную помощь природоохранным и зоологическим учреждениям России.

За вклад в охрану окружающей среды и сохранение биоразнообразия планеты Н.Н. Дроздов включен в почетный список ведущих экологов и специалистов по охране окружающей среды «Глобал-500» ЮНЕП, награжден почетным дипломом Всемирного фонда охраны природы. Научно-педагогическая и просветительская деятельность Николая Николаевича отмечена государственными наградами.

В 1996–1998 гг. Н.Н. Дроздов был членом Высшего консультативного совета по устойчивому развитию при Генеральном секретаре ООН; в 2001 г. – избран действительным членом Российской академии естественных наук (РАЕН) и действительным членом Российской экологической академии (РЭА).

Николай Николаевич – исключительно доброжелательный человек с высоким уровнем профессиональных знаний и широкой эрудицией в смежных областях, надежный спутник в экспедициях, он пользуется заслуженной любовью и уважением студентов и коллег.

Поздравляем Николая Николаевича с юбилеем и желаем ему здоровья, научного долголетия и новых творческих достижений.

Коллектив кафедры биогеографии

Редколлегия журнала

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. К публикации также принимаются краткие сообщения (объем до 4 стр. или 4000 знаков с пробелами, до 2 рисунков и до 10 позиций в списке литературы), информация о научных конференциях и событиях, рецензии на книги. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Комплектность. Представленные в редакцию материалы должны включать направление с места работы (учебы) автора; текст статьи, подписанный всеми авторами; аннотацию статьи и ключевые слова на русском и английском языках; таблицы, рисунки и подписи к ним. Материалы (за исключением направления) представляются в распечатанном виде в двух экземплярах и в электронном виде на двух дисках (рисунки представляются на отдельном диске).

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 сносков 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 12 кеглем через 2 интервала, с отступом абзацев 1,25 см. Страницы А4 имеют верхнее и нижнее поля 2 см, 2,5 см слева и 1,5 см справа; с нумерацией сверху страницы. Объем статьи не должен превышать 14–16 страниц (включая список литературы и таблицы) и не более 3–4 рисунков. Статьи большего 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 и др., 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 12, через 2 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.

Иллюстрации предоставляются в 2 экз. распечатки отдельно от текста статьи (на обороте каждой иллюстрации карандашом следует указать номер рисунка и фамилии авторов) и на отдельном CD-диске. 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 (2 экземпляра) должны быть черно-белыми, контрастными.

Подрисуночные подписи представляются на отдельной странице, кегль 12, через 2 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.