

СОДЕРЖАНИЕ

- Колосов В.А., Гречко Е.А., Мироненко К.В., Самбуrowa Е.Н.,
Слука Н.А., Тикунова И.Н., Ткаченко Т.Х., Федорченко А.В.,
Фомичев П.Ю. Горизонты исследований в области географии мирового
хозяйства (к 25-летию кафедры географии мирового хозяйства) 3

География и экология

- Малхазова С.М., Шартова Н.В., Тимонин С.А. Современная ситуа-
ция и тенденции изменения общественного здоровья в России 13
- Болысов С.И., Харченко С.В. Городской рельеф как фактор комфортности
проживания населения 21

Методы географических исследований

- Яблоков В.М., Тикунов В.С. Принципы создания атласной информацион-
ной системы на базе интернета для устойчивого развития территорий 29
- Бабурин В.Л., Земцов С.П., Кидяева В.М. Методика оценки потенциа-
ла экономико-географического положения городов России 39
- Фаддеев А.М. Оценка уязвимости энергосистем России, стран ближнего зару-
бежья и Европы к каскадным авариям 46
- Емельянова Л.Г., Леонова Н.Б. Исследование закономерностей простран-
ственной организации ареалов видов растений и животных с использованием
критерия активности и численности 53

Региональные исследования

- Анисимов О.А., Кокорев В.А. Климат в арктической зоне России: анализ
современных изменений и модельные проекции на XXI век 61
- Романов А.А., Мелихова Е.В. География и структура авифауны горных
областей Восточной Сибири 71
- Кораблина А.Д., Архипкин В.С., Самборский Т.В. Особенности
формирования штормовых нагонов в динамической системе Белое море –
устьевая область р. Северная Двина по результатам численного моделирования 78
- Ефимова Л.Е., Повалишников Е.С., Терская Е.В., Фролова Н.Л.,
Ломова Д.В. Гидрохимическое состояние водных объектов национального
парка Валдайский 87
- Залесский Н.В., Зюзин П.В., Кончева Е.О. Реорганизация
пространственной структуры комплекса регионального общественного
транспорта на примере Пермского края 96

- Юбилеи* 106

Хроника

- Чалов С.Р., Добролюбов С.А., Пупышева Н.В. Региональная
конференция Международного географического союза «География, культура
и общество для будущего нашей Земли» 108

Новые книги

- Горячкин С.В., Евсеев А.В. Учебное пособие о нефтегазовой геоэкологии 111

C O N T E N T S

Kolosov V.A., Grechko E.A., Mironenko K.V., Samburova E.N., Sluka N.A., Tikunova I.N., Tkachenko T.Kh., Fedorchenko A.V., Fomichev P.Yu. Horizons of research in the geography of world economy (to the 25 th anniversary of the Department of Geography of World Economy).	3
---	---

Geography and ecology

Malkhazova S.M., Shartova N.V., Timonin S.A. Current situation and the trends of changes of the public health in Russia	13
Bolysov S.I., Kharchenko S.V. Urban topography as a factor of comfortable living of the population.	21

Methods of geographical studies

Yablokov V.M., Tikunov V.S. Principles of elaboration of the Internet-based atlas information system for sustainable development of territories.	29
Baburin V.L., Zemtsov S.P., Kidyaeva V.M. Methodology of evaluating the potential of the economic-geographical position of Russia's towns.	39
Faddeyev A.M. Vulnerability of transmission systems of Russia, other post-Soviet states and European countries to the cascade faults.	46
Emelyanova L.G., Leonova N.B. Analysis of the regularities of spatial organization of plant and animal species ranges using the activity and abundance indices.	53

Regional studies

Anisimov O.A., Kokorev V.A. Climate in the Arctic zone of Russia: analysis of current changes and modeling trends for the 21 st century.	61
Romanov A.A., Melikhova E.V. Geography and structure of avifauna in the Eastern Siberia mountain regions.	71
Korablina A.D., Arkhipkin V.S., Samborsky T.V. Modeling features formation storm surge in a dynamic system White Sea – mouth area Northern Dvina River.	78
Efimova L.E., Povalishnikova E.S., Terskaya E.V., Frolova N.L., Lomova D.V. Hydrochemical state of water bodies in the Valdai national park Zalessky N.V., Zyuzin P.V., Koncheva E.O. Reorganization of the spatial structure of a regional public transportation complex (case study of the Permsky Krai).	96

<i>Jubilees</i>	106
---------------------------	-----

Chronicle

Chalov S.R., Dobrolyubov S.A., Pupysheva N.V. Regional Conference of the International Geographical Union «Geography, Culture and Society for Our Future Earth»	108
---	-----

New books

Goryachkin S.V., Evseev A.V. Textbook in geoecology of oil and gas.	111
---	-----

УДК 911.3

В.А. Колосов¹, Е.А. Гречко², К.В. Мироненко³, Е.Н. Самбунова⁴, Н.А. Слукса⁵, И.Н. Тикунова⁶,
Т.Х. Ткаченко⁷, А.В. Федорченко⁸, П.Ю. Фомичев⁹

ГОРИЗОНТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ГЕОГРАФИИ МИРОВОГО ХОЗЯЙСТВА (к 25-летию кафедры географии мирового хозяйства)

Наступление эпохи «мирохозяйственного перехода» и формирования многополярного мира эксперты увязывают с откатом от завоеваний глобализации, усилением формата регионализма, все возрастающей диверсификацией и фрагментацией современного мира, увеличением рисков и угроз мировому развитию. Это актуализирует проблематику изучения пространственной организации глобальной экономики и одновременно, требуя новых «идеологий», осложняет выбор приоритетов в научно-исследовательской деятельности кафедры географии мирового хозяйства географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова на 2016–2020 гг.

Подведены некоторые итоги «мозгового штурма», выполненного коллективом кафедры. Особо отметим, что в существенной ревизии нуждаются основополагающее для науки понятие «территориальное разделение труда», а также оценка современного соотношения ключевых акторов мирового хозяйства. В их число входят, во-первых, страны-гиганты, в частности стремительно растущий Китай – своего рода локомотив включения в международное разделение труда развивающихся стран. Во-вторых, все более ощутимо воздействие транснациональных корпораций на общую архитектуру и территориальную организацию мировой экономики. Феномен требует создания новой научной проблемной области – корпоративной географии – инструмента, позволяющего всесторонне исследовать транснациональное разделение труда.

Изменения в расстановке действующих сил теснейшим образом связаны с трансформациями в отраслевой и пространственной структуре глобальной экономики. Рассмотрен вопрос развития таких процессов, как сервисизация экономики, реиндустриализация и неоиндустриализация, под которой понимается эволюционный переход к наукоемкому, высокотехнологичному, массово трудозамещающему и экологически эффективному промышленному производству. На основе предварительных исследований с позиций сравнительно нового методологического подхода – формирования цепочек добавленной стоимости – обозначен вектор «географического перехода» в их создании из развитых стран в развивающиеся. Это означает усложнение территориальной структуры мирового хозяйства и увеличение значимости Полупериферии.

Пристального внимания и анализа требует пространственная проекция глобализационных процессов в виде обособления особого образования – архипелага городов, консолидирующего международные сетевые структуры ТНК в опорно-узловой каркас мирового хозяйства. Отмечена перспективность объединения работ в области географии мирового хозяйства в среде атласных информационных систем (АИС), которые по функциональным возможностям относятся к высшему классу электронных атласов.

Ключевые слова: география мирового хозяйства, международное разделение труда, отраслевые и пространственные сдвиги, структура глобальной экономики, страны-гиганты, корпоративная география, архипелаг городов, атласные информационные системы, приоритеты исследований.

Введение. В последнее время в международном сообществе ощутим быстрый рост интереса к вопросам как локального, так и глобального устройства общественного пространства, организационно

выливающийся в экспансию на традиционное «заповедное поле» социально-экономической географии со стороны представителей смежных с ней дисциплин, прежде всего экономической науки. Под-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, профессор, зав. кафедрой, докт. геогр. н.; e-mail: vladimirkolosov@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: grechko-gmh@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, науч. с.; e-mail: kenimzury@yandex.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: esamburova@yandex.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: gwe@geogr.msu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: intikunova@yandex.ru

⁷ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: maryasha_t@mail.ru

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: alidrisi@mail.ru

⁹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: fomit@mail.ru

тверждений тому множество. Один из самых, пожалуй, ярких примеров – изучение экономистами пространства хозяйствования и появление «новой экономической географии», родоначальником которой считается лауреат Нобелевский премии по экономике 2008 г. П. Кругман [Krugman, 1991]. Не менее значимая веха – подготовка в 2008 г. такой авторитетной организацией, как Всемирный банк, специального материала «Новый взгляд на экономическую географию» в рамках «Доклада о мировом развитии» [The World Bank..., 2008]. Не обошли своим вниманием эту тематику и организаторы саммита Азиатско-Тихоокеанского экономического сотрудничества (АТЭС) в 2014 г., которые предложили в предварительных материалах форума свой взгляд на «новую экономическую географию городов» (the new economic geography of cities), предполагающую особую значимость крупнейших центров региона как драйверов роста и инноваций [АРЕС..., 2014]. Нарастание конкуренции в области изучения содержательно-территориального развития глобальной экономики ощутимо даже на уровне факультетов МГУ имени М.В. Ломоносова. И это закономерно в современных условиях, выдвигающих особую значимость познания пространственного аспекта различных явлений и значимость междисциплинарного подхода в этом познании.

Цель статьи – рассмотрение приоритетных направлений и проблем в области пространственной организации (архитектуры) современного мироустройства, вопрос повышения конкурентоспособности общественной географии в изучении глобального экономического пространства. Видение полигона наиболее актуальных проблем – не только руководство к действию собственно коллектива кафедры, но и своего рода концепт конструктивной «площадки» для широкого обсуждения и роста взаимопонимания всех заинтересованных участников, для интенсификации интеграционных процессов как на уровне собственно географических, так и междисциплинарных исследований глобального общественного пространства. Представляется особенно важным, что хронологически это совпадает, с одной стороны, с наступлением эпохи «мирохозяйственного перехода» и формированием многополярного мира с пока трудно предсказуемыми последствиями, что весьма существенно, а с другой – с подготовкой плана научно-исследовательских работ (НИР) на 2016–2020 гг. как географического факультета в целом, так и его отдельных подразделений.

Материалы и методы исследований. Научно-теоретическую основу исследования составляют труды ведущих зарубежных и отечественных теоретиков глобальной экономики, мирового хозяйства, апологетов мир-системного устройства, фундаментальные положения работ классиков отечественной

социально-экономической географии и географии мирового хозяйства, специалистов из многих смежных с социально-экономической географией дисциплин [География..., 2012; Шумпетер, 1995; Amin et al., 2006; Arrighi, Silver, 1999; Braudel, 1973; Frank, Gills, 1993; Wallerstein, 1987]. Немалую роль в формировании идейного ядра и выработке перспективных направлений НИР кафедры географии мирового хозяйства на 2016–2020 гг. сыграли, с одной стороны, последние наработки многих международных организаций, например ООН [UNCTAD, 2013], Всемирного банка, АТЭС, а с другой – оперативная информация, почерпнутая из полемических материалов в ряде авторитетных журналов (например, «Economist») и на крупных общественных и научных форумах последнего времени, включая международный дискуссионный клуб «Валдай» (Сочи, 2015), конференцию Международного географического союза «География, культура и общество для будущего нашей Земли» (Москва, МГУ, 2015), международный научный конгресс «Глобалистика-2015» (Москва, МГУ, 2015) и др. В работе использованы преимущественно такие общенаучные методы, как анализ и синтез, а также программирование.

Результаты исследований и их обсуждение. Некоторые итоги исследований пространственной организации глобальной экономики, полученные коллективом кафедры географии мирового хозяйства географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова за последнюю четверть века, конспективно изложены в предыдущем номере журнала [Гитер и др., 2015]. Все они в той или иной степени связаны с именем непосредственного руководителя научного направления – Заслуженного профессора Московского университета Н.С. Мироненко (1941–2014) [Николай Мироненко..., 2015], безусловно, одаренного пресловутым «философским глазом»¹⁰. В течение года после его ухода из жизни сформулирован пакет наиболее актуальных направлений исследований.

До последнего времени глобализационные процессы определялись как устойчивые, преимущественно позитивные, как безальтернативное поле, в котором велись все географические исследования мировой экономики. На современном этапе условия мирового развития резко изменились. На нынешнем витке наблюдаются явная дестабилизация и торможение широко понимаемого глобализационного движения, что связано с обострением на геополитической «арене коллективного действия» и «кризисной ситуацией» эволюционно определенного циклами Н.Д. Кондратьева «мирохозяйственного перехода» [Кондратьев, 2002; Мироненко, Гитер, 2013]. Подобное наложение процессов вызывает, по предварительным оценкам, решительный откат от завоеваний глобализации, усиление формата регионализма, все возрастаю-

¹⁰ В наши дни многие ученые являются квалифицированными экспертами в своих, часто узких, областях. По Э. Канту, это «одноглазые чудовища», у которых отсутствует «философский глаз». У Н.С. Мироненко, несомненно, философский глаз» был [Слука, Ткаченко, 2015].

щую диверсификацию и фрагментацию современного мира, увеличение рисков и угроз мировому развитию. Поэтому неслучайно международные потоки иностранных прямых, портфельных инвестиций и банковских кредитов и депозитов в 2014 г. составили лишь 24% от уровня 2005 г. Иными словами, новая эпоха, дефинируемая многими экспертами как эпоха неопределенности, турбулентности и непредсказуемости развития, требует новых «идеологий» и направлений географических исследований.

В существенной ревизии нуждается основополагающее для науки понятие «территориальное разделение труда», а также всеобъемлющая оценка соотношения реальных сил ключевых акторов мирового хозяйства. В системе международного разделения труда в эпоху глобализации сложились взаимодействия в двух различных по природе «мировых» полях: в международном, отражающем торговые связи между государствами, и в транснациональном, отражающем связи в транснациональных структурах и сетях [География..., 2012]. Выступая в современных условиях в качестве авангарда сдвигов в глобальной экономике, именно крупнейшие страны и ТНК способны задать генеральный вектор на перспективу мирохозяйственного развития: либо продолжение глобальной интернационализации, либо развитие вспять, сворачивание в сторону региональных и локальных территориальных процессов. Поэтому особую актуальность и научно-практическое значение получает детальный географический анализ роли и трансформационных возможностей в мироустройстве, с одной стороны, стран-гигантов, а с другой – крупнейших корпораций мира. Первые выступают как реализаторы внутристрановых, национальных ресурсов, интересов и амбиций с учетом международных условий и отношений; вторые – как реализаторы сугубо частных экономических интересов, предоставляемых процессом глобализации либо регионализации.

С позиций географических мирохозяйственных исследований среди стран-гигантов приоритетный интерес вызывает, безусловно, Китай, который в условиях глобализации стал «мировой фабрикой»¹¹ и в 2014 г., по предварительным данным МВФ, по объему ВВП по паритету покупательной способности (17,6 трлн долл. США) вышел на первое место в мире [World Economic..., 2015]. Не менее значимо место Китая в потреблении продукции, произведенной как в самой стране, так и за ее пределами. Растущие доходы огромного населения позволяют

постепенно осуществить переход от внешнеориентированной модели к модели, ориентированной на внутренний спрос, который обеспечивается как производством внутри страны, так и импортными поставками. Рост емкости внутреннего рынка способствует сохранению привлекательности Китая для ТНК, несмотря на некоторую потерю конкурентных преимуществ из-за стремительного роста заработной платы.

Следствием стремительного развития этой страны – одного из главных полюсов роста – стало усложнение пространственной структуры мирового хозяйства, переход от дихотомии Центр–Периферия к расширению и росту значимости полупериферии. Та роль, которую взял на себя Китай в глобальной экономике, трансформирует всю хозяйственную структуру стран мира. Одна из главных тенденций мировой экономики – ее терциаризация, характерная для стран, находящихся на постиндустриальном этапе развития. Сохранение высокого уровня потребления в этих странах обеспечивается прежде всего импортом из Китая, взявшего на себя производственные функции. Включение Китая в формирующиеся цепочки добавленной стоимости определяется особенностями ведения вертикальной торговли со странами мира. Переход КНР на более высокие ступени цепочек добавленной стоимости, специализация на производстве высокотехнологической продукции при росте заработной платы ведет к частичному переносу трудоемких производств в менее развитые азиатские страны. Таким образом, Китай играет роль локомотива включения развивающихся стран¹² в международное разделение труда.

Большой интерес, в отличие от традиционного для географии страноведческого направления, вызывает исследование в рамках корпоративной географии как новой научной области в общественной географии. ТНК – мощные акторы глобальной экономики, представляют собой наднациональную форму организации и в неявной форме конкурируют со странами, оказывают колоссальное и все большее влияние на мировую архитектуру. Они на протяжении длительного времени устойчиво занимают более 2/5 мест в списке 100 крупнейших экономик мира, обеспечивают около 1/2 мирового промышленного производства и, выступая ключевым организующим звеном, жестко контролируют многие глобальные рынки [Трифонов, 2013; Хесин, 2010; UNCTAD, 2013].

Соответственно, основная цель корпоративной географии как потенциального подразделения геогра-

¹¹ Китай обеспечивает весь мир разнообразной продукцией, в первую очередь продукцией с высокой долей труда в структуре затрат. На него приходится около 40% мирового производства компьютеров, 60% – мобильных телефонов, более 1/3 мирового рынка одежды.

¹² Как инструмент усиления влияния в мире можно рассматривать китайскую инициативу «один пояс и один путь», выдвинутую Председателем КНР Си Цзиньпином в 2013 г., предполагающую формирование «Экономического пояса Шелкового пути» и «Морского Шелкового пути XXI века». Реализация этой инициативы позволит усилить многостороннее сотрудничество между странами вдоль древнего Великого Шелкового пути и приморскими странами к востоку и югу от Китая. Для реализации проекта китайской стороной учреждены Азиатский банк инфраструктурных инвестиций, Фонд Шелкового пути и Фонд морского сотрудничества Китай–АСЕАН.

фии мирового хозяйства – раскрытие пространственной обусловленности и выраженности транснационализации мировой экономики. Одна из важнейших ее задач – выявление воздействия географических условий, социально-экономических предпосылок и технико-экономических факторов развития транснационализационных процессов производства и других видов деятельности, формирующих их современную и будущую глобальную социально-экономическую географию. Вторая задача – выявление территориальных различий транснационализационного процесса в целом, обусловленных влиянием многих факторов, в том числе географических. Главными пространственными объектами анализа при этом являются не традиционные для экономической и социальной географии страны и регионы, в которых складываются основополагающие отраслевые, территориальные и организационные структуры хозяйства мира, а многоцикличный рисунок взаимодействия территориально-отраслевых структур ТНК в глобальном масштабе [Маергойз, 1986]. Третья задача – изучение генезиса и территориально-организационной структуры конкретных корпораций и их особенностей в зависимости от страны происхождения, отраслевой специализации, производственной и рыночной стратегии, характера взаимоотношения между компаниями разных стран. Наконец, четвертая важнейшая задача корпоративной географии – всесторонний пространственный анализ разветвленной и всеохватывающей системы международных внутри- и межфирменных потоков товаров, услуг, инвестиций, информации, инноваций, рабочей силы и т.д. Географические исследования трансграничных хозяйственных связей на уровне ТНК наиболее полно могут раскрыть особенности интернационализации и глобализации мировой экономики [Sluka, 2015]. В целом можно говорить о том, что изучение пространственной структуры мирового хозяйства невозможно без такого инструмента, как корпоративная география, позволяющего всесторонне исследовать транснациональное разделение труда и его воздействие на территориально-организационную структуру мирового хозяйства на всех иерархических уровнях.

Глобализация и инновационное развитие привели, как известно, к глубоким изменениям в отраслевой структуре мирового хозяйства, главным из которых стала сервисизация экономики. Уже сейчас по оценкам Всемирного банка доля сферы обращения и услуг в мировом ВВП превысила 70%. По прогнозам пятилетней давности к 2020 г. в развитых странах удельный вес отраслей материального производства в ВВП не

должен превысить 1/4 (при этом доля сельского хозяйства не более 2%) [Хесин, 2010, с. 31–33]. Несмотря на доминирование к настоящему времени сферы обращения и услуг в структуре производства ВВП и занятости, теория постиндустриального общества основана на признании того, что источником прогресса цивилизации и его измерителем выступает совершенствование форм и методов именно материального производства. Деиндустриализация, сокращение занятости в мировой промышленности за последние 30 лет в 2 раза не означают ненужность этой отрасли для экономики¹³. Развитие промышленности (даже при условии снижающейся занятости) – решающий фактор для достижения высокой производительности и эффективности всего экономического механизма. Знаменательно, что многие ведущие страны после последнего глобального экономического кризиса пустили свои стратегии по рельсам реиндустриализации – восстановления роли материального производства.

Неоиндустриализация, в отличие от реиндустриализации в узком смысле, чаще всего понимаемой как совокупность мер по преодолению деиндустриализационного тренда в форме возрождения прежних производств, прежних хозяйственных связей в рамках технологических цепочек и т.п., рассматривается как закономерный процесс совершенствования производительных сил, ведущий к технотронной эре в развитии общества. Неоиндустриализация – переход к наукоемкому, высокотехнологичному, массово трудозамещающему, экологически эффективному промышленному производству, выход экономики на новый уровень современного материального базиса.

Флагманом процесса неоиндустриализации специалисты называют развитие концепции «Интернета вещей» (Internet of Things, IoT), т.е. концепции вычислительной сети физических объектов, оснащенных встроенными технологиями для взаимодействия между собой или с внешней средой. Ожидаемый темп роста «Интернета вещей» ошеломляет. На сегодняшний день более 99% объектов реального мира не подсоединены к интернету, но, по оценкам Gartner, в 2016 г. «Интернет вещей» объединит 6,4 млрд «вещей», это на 30% больше по сравнению с предыдущим годом. В 2020 г. «Интернет вещей» будет включать уже 20,8 млрд устройств. По прогнозам CISCO, одной из ведущих компаний в этой области, к 2020 г. к интернету будут подсоединены 37 млрд интеллектуальных объектов. Следующим этапом развития этой концепции предположительно станет «Интернет все-

¹³ На наш взгляд, термин «деиндустриализация», скорее, вводит в заблуждение, чем дает емкое определение процессам, разворачивающимся в промышленности. Во-первых, очевидное сокращение доли индустриального сектора есть в немалой степени эффект «лукавости» статистики – ряд видов деятельности, обеспечивающих процесс производства и ранее учитывавшихся в рамках индустриального сектора в результате процессов аутсорсинга, отпочкования («spin-off») и др., стали причислять к сектору услуг, что создает эффект видимости деиндустриализации. Во-вторых, анализ статистики по профессиям (а не по секторам занятости) вскрывает другой процесс – идет быстрый рост профессиональных групп, занятых обеспечением процесса производства (оказанием производственных услуг), как на самих промышленных предприятиях, так и на многочисленных специализированных (преимущественно мелких и средних) сервисных предприятиях [Слука, Ткаченко, 2009, с. 246].

го» (Internet of Everything, IoE), который позволит подключить к всемирной сети буквально все, что только возможно себе представить. Планетарная сеть станет развиваться самостоятельно и принимать решения по разработанным программистами алгоритмам. На пути к этой картине мироустройства, как предполагает менеджер компании «Микрософт» М. Ла Велл, отрасли будут переделаны, экосистемы перекроены, новые игроки возникнут, некоторые исчезнут, т.е. предстоит огромный парадигмальный сдвиг [La Well, 2015].

Какова пространственная проекция этого сдвига, как изменится соотношение сил в мировом хозяйстве и позиции стран в нем? Не перевесят ли такие очевидные риски неоиндустриализации, как усиление безработицы, экономическая власть ключевых корпораций ИТ-сферы, уязвимость сетей к кибератакам, другие ее преимущества и выгоды? Даст ли неоиндустриализация шанс развитому миру восстановить свой производственный потенциал и ослабить позиции Китая и других поднимающихся экономик? Останется ли Китай на индустриальной фазе развития? Подчеркнем в связи с этим значимость некоторых фактов.

Во-первых, в наиболее развитых экономиках тренд неоиндустриализации наиболее ощутим. Следуя политике реиндустриализации, в Германии осуществляется правительственный «План реализации высокотехнологичной стратегии 2020». Основой немецкой стратегии выступает реализация концепции «Индустрия 4.0», расцениваемая специалистами как производственный эквивалент «Интернету вещей», ориентированному на потребителей. Предприятия, присоединившиеся в платформе «Индустрия 4.0» (в 2011 г. их было 57), создают сеть машин, которые не только производят товары, но и смогут автономно менять производственные шаблоны в соответствии с необходимостью. В 2016 г. ожидаются первые работающие производственные модули, к 2030 г. должна заработать вся система компьютеризированной промышленности. По сути, «Индустрия 4.0» – концепция будущего развития обрабатывающей промышленности Германии, особенно ее машиностроения. В США, уже на протяжении нескольких лет усиленно насаждающих идею реиндустриализации, осуществляется несколько отличающаяся от немецкой модель неоиндустриализации под названием «Промышленный Интернет». Если «Индустрия 4.0» – «это современная форма немецкой промышленной политики с решающим участием государства, то “Промышленный интернет” это более тонкая сетевая форма промышленной политики американского государства или американского гражданского общества с привлечением в создаваемую сеть всех потенциальных участников глобального рынка» [Толкачев, 2015, с. 21].

Во-вторых, в Китае стремительно увеличивает объем инвестиций в развитие отрасли «Интернет вещей», в 2015 г. он должен составить 800 млн долл. США. По данным Министерства информации и технологии Китая, в 2015 г. объем рынка «Интернета

вещей» оценивается в 80,3 млрд долл., а уже к 2020 г. в 165 млрд долл. Правительство организует государственно финансируемые зоны по развитию технологии «Интернет вещей», подобно первой из них в провинции Сычуань (Chengdu Internet of Things Technology Institute). Более амбициозные цели ставит Китай в области разработки стандартов IoT, которые использовались бы всем международным сообществом, планируя выйти на передовую линию в этой области.

Итак, усложнение, турбулентность социально-экономического развития современного мира, очевидные тенденции деглобализации как внешние условия развития промышленного производства, с одной стороны, и огромная скорость развития процессов неоиндустриализации, с другой стороны, определяют становление новой парадигмы промышленного и в целом экономического развития мира. Именно так определяют нынешнюю фазу экономисты, предметно занимающиеся разработкой концепции неоиндустриализации (см., в частности, дискуссию на страницах журнала «Экономист», развернувшуюся в 2014–2015 гг., № 10, 2014; № 11, 2015).

Установление пространственных закономерностей в рамках новой геоэкономической парадигмы является актуальнейшей задачей для географии мирового хозяйства. По инерции пока по-прежнему сохраняется основной механизм эволюции пространственной структуры мировой экономики – центр-периферический. Он основан на высвобождении со временем (по концепции Р. Вернона, как правило, в 3-й из 5 фаз цикла жизни товара) экономически высокоразвитых стран Центра от экономически неэффективных производств и переносу их в страны Полупериферии и Периферии [Braudel, 1973; Wallerstein, 1987]. Явление мировой миграции производства не ново: спираль неравномерности экономического развития раскручивалась при переходе от аграрной экономики к индустриальной. По существу, в Центре шло и продолжает идти, согласно Й. Шумпетеру [Шумпетер, 1995], циклическое «созидательное разрушение», постоянная качественная его трансформация, что обеспечивало развитие и воспроизводство системы отношений Центр–Периферия.

Но модель Центр–Периферия, очень удобная для анализа многих пространственных причинно-следственных зависимостей, достаточно схематична и нуждается на современном этапе в новых, хотя бы дополняющих методологических подходах. В частности, центр-периферический подход к анализу, хотя и применим, но его исследовательские возможности стали относительными в условиях, когда пространственная структура мирового хозяйства все в большей степени приобретает анклавный характер. В международное разделение труда в пределах стран и регионов мира вовлекаются выборочные ареалы и центры, особенно обладающие выгодами географического положения, институциональными и инфраструктурными преимуществами, а также, если

не в первую очередь, качеством трудовых ресурсов. Не природные ресурсы (исключая нефть и газ), а качество человека играет ключевую роль в развитии. Учитывая требования глобальной экономики, ряд стран и районов предпринимает активные усилия по повышению уровня привлекательности в системе мирового хозяйства, что, в частности, проявляется в формировании кластеров отраслей (наподобие Силиконовой долины, Третьей Италии и т.д.). Однако каковы перспективные тренды в условиях формирования новейшего международного разделения труда, которое происходит не только и не столько между странами, сколько между иными экономическими агентами?

Существенно углубить и одновременно расширить представления о современных пропорциях и новейших изменениях в пространственной архитектуре мировой экономики позволяет реализация подхода географического исследования мирового воспроизводственного процесса с позиций методологии трансграничных цепочек добавленной стоимости (ЦДС) (value-added chain). Применение этого подхода необходимо для того, чтобы точнее определить место стран в системе международного разделения труда и мировой «технологической пирамиды»: в условиях процесса экономической глобализации экономико-географам уже невозможно ограничиваться рамками исключительно торгово-посреднической парадигмы – подобные ограничения неизбежно приведут к искажению реальной картины мирохозяйственных связей [Кондратьев, 2015]. Так, вышеупомянутое доминирование Китая в области производства и экспорта компьютерной техники определяется его специализацией на окончательной сборке электроники. Однако вклад этой операции в общую стоимость готового продукта, как правило, не превышает 15%, тогда как львиная доля приходится на стоимость комплектующих изделий, импортируемых из Японии и новых индустриальных стран Восточной и Юго-Восточной Азии. В данном случае мы сталкиваемся с проблемой двойного счета в торговой статистике, когда в стоимость экспорта страны включается еще и стоимость промежуточных товаров иностранного происхождения, которые ранее уже были учтены как экспорт страны-поставщика. Таким образом, традиционные методы исследования внешнеторговых связей обязательно должны сопровождаться еще и исследованием ЦДС.

Дополнительной аргументации требует и гипотетическое положение о ведущей роли крупнейших ТНК в формировании глобальных ЦДС, роли международных сетевых структур, состоящих из филиалов и дочерних компаний ТНК, а также независимых фирм, которые участвуют в процессе создания готового продукта или предоставления услуги на той или иной его стадии (производство комплектующих изделий, промежуточная и окончательная сборка, предоставление разного рода производственных услуг и пр.). Контролируя потоки полуфабрикатов и готовых изделий внутри глобальных ЦДС, ТНК способствуют территориальным сдвигам

в производстве добавленной стоимости из развитых стран в развивающиеся. Для этого явления предлагается ввести специальный термин – «географический переход» в создании добавленной стоимости.

Консолидация международных сетевых структур на волне новейших процессов, с одной стороны, а с другой – преимущественно урбанистическая дислокация подразделений ТНК имеют далеко идущие последствия. Это ведет к тому, что мировая экономика все в большей мере пространственно организуется в форме так называемого архипелага городов и контролирующих его центров – глобальных городов, которые не имеют разделения труда с промежуточными зонами, практически не участвующими в процессах глобализации (своего рода закрытые территории). Под архипелагом городов подразумевается большая совокупность территориально дифференцированных, разнокалиберных по плотности и функционально разнопрофильных, но тесно взаимодействующих в общепланетарном масштабе центров. Именно сетевой принцип строения, как вообще доминирующий принцип в социальной морфологии современных обществ, обеспечивает возможность наиболее широкого охвата и получения полной информации в любой территориальной системе [Слука, 2005]. Известен и другой принцип экономически эффективного построения сетевых структур – соподчиненность. Элита современного городского мира – глобальные города – представляет собой особые фокусные узлы, по меткому выражению М. Кастельса, «рубильники», которые выступают в качестве центров осуществления властных функций и стратегического управления в сети [Castells, 1989, 1996]. Они образуют своеобразное объединение, корпорацию, по многим признакам соответствующую системе олигополистического типа. Таким образом, пространственной проекцией глобализационных процессов стало обособление архипелага городов как опорно-узлового каркаса мирового хозяйства. Однако остается открытым вопрос о его прочности и устойчивости под воздействием геополитических и геоэкономических инноваций: открытость и дальнейшее углубление интеграции или дезагрегация и региональное сегментирование?

Масштабность, динамика и сложность глобальной экономики как общепланетарной системы требует видения не только приоритетных поисковых инициатив, но и определения инструментария для облегчения процесса принятия решений в области географии мирового хозяйства. С нашей точки зрения, перспективно объединение работ по всем перечисленным выше направлениям географического исследования глобальной экономики в среде атласных информационных систем (АИС). АИС по функциональным возможностям относятся к высшему классу электронных атласов и применяются в виде систем поддержки принятия решений, при разработке сценариев развития территорий и др. Они имеют развитые моделирующие функции, могут интегрировать экспертные системы и оформляться как полномасштабные мультимедийные конструкторы

ции. АИС позволяют интегрировать разнообразные информационные ресурсы, моделировать, визуализировать и проводить разнообразный анализ, вплоть до разработки сценариев и представления возможных вариантов развития пространственной организации глобальной экономики [Краак, Ормелинг, 2005; Ormeling, 1995]. В АИС реализуется ряд принципов [Тикунов, 2004]: когнитивность системы, когда сюжеты соединяются ассоциативными (смысловыми) связями, например, сюжеты более низкого иерархического уровня не только отображают какой-либо тематический сюжет в соответствующем масштабе, но и раскрывают, разворачивают, детализируют его; блочность системы, поскольку отдельные логические блоки могут видоизменяться, пополняться или расширяться, не меняя структуры всей системы; эволюционность и динамичность, учитывая временной аспект отображения глобальной экономики; многовариантность и мультимедийность (многосредность), что облегчает процесс принятия решений в области географии мирового хозяйства. Кроме того, АИС служат хорошей средой для формирования механизмов управления геосервисами.

Выводы:

– наложение современных процессов переформатирования геополитического пространства и фазы «мирохозяйственного перехода» вызвало явную дестабилизацию глобализационного движения, которое до последнего времени определялось как устойчивое и безальтернативное поле для проведения всех географических исследований мировой экономики. Это актуализирует поиск новых «идеологий» и ключевых направлений географических исследований с повышенной конкурентоспособностью территориального подхода, отражающих приоритетность пространственной парадигмы в рамках междисциплинарного познания мирохозяйственной архитектуры;

– в новых условиях налицо глубокие трансформационные сдвиги в системе международного тер-

риториального разделения труда под влиянием динамичного перераспределения полномочий ключевых акторов мирового хозяйства. Одновременно снижается роль государств и усиливается отдельных экономических группировок, стран-гигантов, в частности стремительно растущего Китая, – своего рода локомотива включения в международное разделение труда развивающихся стран, а также ТНК;

– дальнейшее изучение феномена ТНК в мировом хозяйстве перспективно в рамках новой научной проблемной области – корпоративной географии как инструмента, позволяющего всесторонне исследовать стремительно развивающуюся систему транснационального разделения труда, альтернативную классике межгосударственного взаимодействия;

– крупные изменения в расстановке действующих сил существенно влияют на формирование секторальной и отраслевой структуры мирового хозяйства по пути терциаризации/сервисизации. Ныне эволюционный ряд основных понятий развития материальной сферы мирового хозяйства дополняется новым процессом – неоиндустриализацией, который возглавляет элита экономически наиболее развитых стран мира и имеет далеко идущие последствия;

– анализ трансформаций пространственной структуры глобальной экономики с позиций сравнительно новых методологических подходов – трансграничных цепочек добавленной стоимости, глобальных сете-узловых структур и градоцентрической концепции – четко фиксирует «географический переход» из развитых стран в развивающиеся. Это означает усложнение территориальной организации мирового хозяйства и увеличение значимости Периферии;

– ошутима острая необходимость внедрения в исследовательский процесс геоинформационных технологий и атласных информационных систем, что придаст дополнительный эффект для комплексной оценки сдвигов в территориальной структуре мирового хозяйства и целей прогнозирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

География мирового хозяйства: Учебник для студентов вузов / Ред. проф. Н.С. Мироненко. М.: Трэвел Медиа Интернэшнл, 2012. 352 с.

Гитер Б.А., Гречко Е.А., Колосов В.А. и др. Основные направления исследований по географии мирового хозяйства // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 6. С. 3–11.

Кондратьев В.Б. Мировая экономика как система глобальных цепочек стоимости // Мировая экономика и междунар. отношения. 2015. № 3. С. 5–17.

Кондратьев Н.Д. Большие циклы конъюнктуры и теория предвидения. М.: ЗАО «Издательство “Экономика”», 2002. 767 с.

Краак М.-Я., Ормелинг Ф. Картография: визуализация геопространственных данных / Пер. с англ. под ред. В.С. Тикунова. М.: Научный мир, 2005. 325 с.

Маергойз И.М. Территориальная структура хозяйства. Новосибирск: Наука, 1986. 171 с.

Мироненко Н.С., Гитер Б.А. Мировозрастной переход в начале XXI века: макротехнологические и пространствен-

ные трансформации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 2. С. 12–18.

Николай Мироненко. Страницы жизни. Научные идеи и работы. Педагогическая деятельность / Под ред. В.А. Колосова, Е.В. Милановой. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2015. 352 с.

Слука Н.А. Градоцентрическая модель мирового хозяйства. М.: Пресс-Соло, 2005. 168 с.

Слука Н.А., Ткаченко Т.Х. Глобальные города: особенности индустриального развития // Изменения в пространственной организации промышленности мира: вторая половина XX в. – начало XXI в. / Под ред. И.А. Родионовой. М.: Экон-Информ, 2009. С. 239–257.

Слука Н.А., Ткаченко Т.Х. Познание общественного пространства: от рекреации к мировому развитию (памяти профессора Н.С. Мироненко) // Региональные исследования. 2015. № 1. С. 160–168.

Тикунов В.С. Атласные информационные системы для принятия решений // Основы геоинформатики: Учеб. пособ. для

студентов вузов. Кн. 2 / Под ред. В.С. Тикунова. М.: Академия, 2004. С. 285–304.

Толкачев С. Две модели неоиндустриализации: Германия – «Индустриализация 4.0», США – «Промышленный интернет» // Экономист. 2015. № 9. С. 13–23.

Трифонов И.В. Роль транснациональных корпораций в глобализации мировой экономики // Молодой ученый. 2013. № 9. С. 243–245.

Хесин Е.С. Меняющийся глобальный экономический ландшафт // География мирового развития. Вып. 2. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2010. С. 22–42.

Шумпетер Й.А. Капитализм, социализм и демократия / Пер. с англ. М.: Экономика, 1995. 540 с.

Amin S., Arrighi G., Frank A.G., Wallerstein I. Transforming the revolution: Social movements and the world-system. Delhi: Aakar, 2006.

APEC. Shaping the future through an Asia-Pacific partnership for urbanization and sustainable city development. APEC Policy Support Unit. October, 2014.

Arrighi G., Silver B.J. Chaos and governance in the modern world system. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, 1999.

Braudel F. Capitalism and material life, 1400–1800. N.Y.: Harper and Row, 1973.

Castells M. The Informational City: Information technology, economic restructuring and the urban-regional process. Oxford, 1989.

Castells M. The rise of the network society. Oxford, 1996.

Krugman P.R. Increasing returns and economic geography // J. Politic. Economy. The University of Chicago Press, 1991. Vol. 99, N 3. P. 483–499.

LaWell M. The future of manufacturing technology with Microsoft // Industry Week. 2015. June 23.

Ormeling F. Atlas Information Systems // 17th Int. Cartogr. Conf. and 10th Gen. Assembly ICA. Barcelona, Sept. 3–9, 1995. Proceedi., Vol. 2. Barcelona, 1995. P. 2127–2133.

Sluka N.A. Goals, tasks, and problems of corporate geography // Гласник Herald. Geographic Society of the Republic of Srpska. Vol. XIX. Banja Luka, 2015. P. 15–35.

The World Bank. World development report 2009. Reshaping economic geography. Washington, DC, the World Bank, the IBRD, 2008. 300 p.

The World system: Five hundred years of five thousand? L.: Routledge, 1993.

UNCTAD. The World Investment Report. 2013. Global value chains: Investment and trade for development. The Overview. N.Y.; Geneva, 2013. 38 p.

Wallerstein I. World-systems analysis. Social theory today. California, Stanford, Stanford Univ. Press, 1987.

World Economic Outlook Database, april 2015. URL: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/01/weodata> (Accessed: 03.10.2015).

Поступила в редакцию 08.12.2015

Принята к публикации 11.12.2015

V.A. Kolosov¹, E.A. Grechko², K.V. Mironenko³, E.N. Samburova⁴,

N.A. Sluka⁵, I.N. Tikunova⁶, T.Kh. Tkachenko⁷,

A.V. Fedorchenko⁸, P.Yu. Fomichev⁹

HORIZONS OF RESEARCH IN THE GEOGRAPHY OF WORLD ECONOMY (TO THE 25TH ANNIVERSARY OF THE DEPARTMENT OF GEOGRAPHY OF WORLD ECONOMY)

According to experts, the advent of «world economic transition» and the formation of a multipolar world are closely linked with the loss of globalization advances, which strengthens regionalism, increases diversification and fragmentation of the modern world, creating risks and threats to the world development. In view of this studying the spatial organization of the global economy grows in importance, and at the same time the choice of priorities in the research activities of the Department of Geography of the World Economy, Faculty of Geography, Moscow State Lomonosov University in 2016–2020 becomes more complicated, requiring a new research «ideology». The article summarizes some ideas expressed by the department staff. It specifies that the concept of territorial division of labor needs a significant revision, as well as the defined set of key actors in the world economy and common assumptions regarding their contributions to its development. The latter are first of all the giant developing countries, in particular rapidly growing China – a kind of locomotive entraining other developing states. Further, the impact of

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Professor, Head of the Department, D.Sc. in Geography; *e-mail*: vladimirkolosov@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; *e-mail*: grechko-gmh@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Research Scientist; *e-mail*: kenimzury@yandex.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Assistant Professor, PhD. in Geography; *e-mail*: esamburova@yandex.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: gwe@geogr.msu.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Research Scientist, PhD. in Geography; *e-mail*: intikunova@yandex.ru

⁷ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Assistant Professor, PhD. in Geography; *e-mail*: maryasha_t@mail.ru

⁸ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Assistant Professor, PhD. in Geography; *e-mail*: alidrisi@mail.ru

⁹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geography of the World Economy, Assistant Professor, PhD. in Geography; *e-mail*: fomit@mail.ru

multinationals on the overall architecture and territorial organization of the global economy becomes more and more tangible. This phenomenon requires the creation of a new scientific area of concern – the corporate geography as a tool of thorough investigation of the transnational division of labor. Changes in the balance of acting forces are closely related to the changes in industry composition and spatial organization of the global economy. The article raises the issues of the development of such processes as tertiarization of the economy, reindustrialization and neoindustrialization, the latter being understood as an evolutionary transition to a knowledge-intensive, high-tech, mass labor-replacing and environmentally efficient industrial production. Basing on preliminary research and proceeding from a relatively new methodological approach, i.e. formation of value chains, the vector of «geographical transition» from developed to developing countries in their creation was designated. This means increasing complexity of the territorial structure of the world economy and the growing importance of semi-periphery. A spatial projection of globalization processes in the form of the emerging «archipelago of cities», which consolidates the international network of TNCs as a supporting node frame of the global economy requires close attention and analysis. The need of integrating the studies in the field of geography of the world economy within Atlas Information Systems (AIS), which belong to the upper class of electronic atlases in terms of their functionality, is noted.

Key words: geography of the world economy, international division of labor, changes in industry composition and spatial organization of the global economy, giant country, corporate geography, urban archipelago, atlas information systems, research priorities, 2016–2020.

REFERENCES

- Amin S., Arrighi G., Frank A.G., Wallerstein I. Transforming the revolution: Social movements and the world-system. Delhi: Aakar, 2006.
- APEC. Shaping the future through an Asia-Pacific partnership for urbanization and sustainable city development. APEC Policy Support Unit. October, 2014.
- Arrighi G., Silver B.J. Chaos and governance in the modern world system. Minneapolis: Univ. of Minnesota Press, 1999.
- Braudel F. Capitalism and material life, 1400–1800. N.Y.: Harper and Row, 1973.
- Castells M. The Informational City: Information technology, economic restructuring and the urban-regional process. Oxford, 1989.
- Castells M. The rise of the network society. Oxford, 1996.
- Geografiya mirovogo hozyaistva: uchebnik dlya studentov vysshyh uchebnyh zavedenii [The geography of world economy: textbook for higher school students], N.S. Mironenko (Ed.), Moscow, Travel Media International, 2012. 352 p. (in Russian).
- Giter B.A., Grechko E.A., Kolosov V.A. i dr. Osnovnye napravleniya issledovaniy po geografii mirovogo hozyaistva [The main directions of researches in geography of world economy], Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geografiya, 2015, no 6, pp. 3–11 (in Russian).
- Hesin E.S. Menyayushiyssya globalnyi ekonomicheskiy landshaft [The changing global economic landscape], in Geografiya mirovogo rasvitiya [Geography of global development: collected articles], Vol. 2, Moscow: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010, pp. 22–42 (in Russian).
- Kondratiev N.D. Bolshie cikly ko'yunktury i teoriya predvideniya [The major conjuncture cycles and theory of foresight], Moscow: ZAO «Izdatelstvo «Ekonomika»», 2002. 767 p. (in Russian).
- Kondratiev V.B. Mirovaya ekonomika kak sistema globalnyh cepochek stoimosti [World economy as global value chain's network], Mirovaya ekonomika i mezhdunarodnye otnosheniya, 2015, no 3, pp. 5–17 (in Russian).
- Kraak M.-J., Ormeling F. Kartografiya: vizualizatsiya geoprostranstvennykh dannykh [Cartography: Visualization of geospatial data], Per. s angl. pod red. V.S. Tikunova. Moscow, Nauchnyj mir, 2005, 325 p. (in Russian).
- Krugman P.R. Increasing returns and economic geography // J. Politic. Economy. The Univ. of Chicago Press, 1991. Vol. 99, N 3. P. 483–499.
- LaWell M. The future of manufacturing technology with Microsoft // Industry Week. 2015. June 23.
- Maergoiz I.M. Territorialnaya struktura hozyaistva [Territorial structure of the economy], Novosibirsk, Nauka, 1986, 171 p. (in Russian).
- Mironenko N.S., Giter B.A. Mirohozyaistvennyj perekhod v nachale XXI veka: makrotekhnologicheskie i prostranstvennye transformatsii [World economic transition in the beginning of the 21st century: macro-technological and spatial transformation], Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geografiya, 2013, no 2, pp. 12–18 (in Russian).
- Nikolay Mironenko. Stranicy zhizni. Nauchnye idei i raboty. Pedagogicheskaya deyatel'nost' [Nikolay Mironenko. The pages of life. Scientific ideas and works. Teaching activities], Pod red. V.A. Kolosov, E.V. Milanova, Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 2015. 352 p. (in Russian).
- Ormeling F. Atlas information systems // 17th Int. cartogr. conf. and 10th Gen. assembly ICA. Barcelona, Sept. 3–9, 1995. Proceed., Vol. 2. Barcelona, 1995. P 2127–2133.
- Schumpeter J.A. Kapitalizm, socializm i demokratiya [Capitalism, socialism and democracy], Per. s angl., Moscow, Ekonomika, 1995. 540 p. (in Russian).
- Sluka N.A. Goals, tasks, and problems of corporative geography // Гласник Herald. Geographic Society of the Republic of Srpska. Vol. XIX. Banja Luka, 2015, pp. 15–35.
- Sluka N.A. Gradocentricheskaya model mirovogo hozyaistva [The cities' centrifugal potential in the world economy model], Moscow, Press-Solo, 2005, 168 p. (in Russian).
- Sluka N.A., Tkachenko T.Kh. Globalnye goroda: osobennosti industrialnogo razvitiya [Global cities: features of industrial development], Izmeneniya v prostranstvennoj organizatsii promyshlennosti mira: vtoraya polovina XX v. – nachalo XXI v., Pod red. I.A. Rodionova, Moscow, E'kon-Inform, 2009, pp. 239–257 (in Russian).
- Sluka N.A., Tkachenko T.Kh. Poznanie obshchestvennogo prostranstva: ot rekreacii k mirovomu rasvitiyu (pamyati professora N.S. Mironenko) [Knowledge of public space: from recreation to world development (in memory of Professor N.S. Mironenko)], Regionalniye issledovaniya, 2015, no 1, pp. 160–168 (in Russian).
- The World Bank. World development report 2009. Reshaping economic geography. Washington, DC, the World Bank, the IBRD, 2008. 300 p.
- The World System: Five hundred years of five thousand? L.: Routledge, 1993.
- Tikunov V.S. Atlasnye informacionnye sistemy dlya prinyatiya reshenij [Atlas information systems for decision making], Osnovy geoinformatiki: uchebn. posob. dlya stud. Vuzov, Pod red. V.S. Tikunova, Moscow, Akademiya, 2004, Kn. 2, pp. 285–304 (in Russian).

Tolkachev S. Dve modeli neoindustrializatsii: Germaniya – «Industriya 4.0», SShA – «Promyshlennyj internet» [Two models of neoindustrialization: Germany – «Industry 4.0», USA – «Industrial internet»], *Ekonomist*, 2015, no 9, pp. 13–23 (in Russian).

Trifonova I.V. Rol transnatsionalnykh korporatsiy dlya globalizatsii mirovoi ekonomiki [Role of transnational corporations for the world economy globalization], *Molodoi uchenyi*, 2013, no 9, pp. 243–245 (in Russian).

UNCTAD. The World Investment Report. 2013. Global value chains: Investment and trade for development. The Overview. N.Y.; Geneva, 2013. 38 p.

Wallerstein I. World-systems analysis. Social theory today. California, Stanford, Stanford Univ. Press, 1987.

World Economic Outlook Database, april 2015. URL: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/01/weodata> (Accessed: 03.10.2015).

Received 08.12.2015

Accepted 11.12.2015

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 316:61

С.М. Малхазова¹, Н.В. Шартова², С.А. Тимонин³

СОВРЕМЕННАЯ СИТУАЦИЯ И ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДОРОВЬЯ В РОССИИ

Дана медико-географическая оценка уровня общественного здоровья в регионах России за период 2002–2012 гг., выполненная на основе показателей ожидаемой продолжительности жизни мужчин и женщин, а также младенческой смертности. Определены тенденции его изменения по сравнению с 1990–2001 гг. Выделены и проанализированы пять групп регионов с разным уровнем общественного здоровья. На примере 168 городов проведен сопряженный анализ стандартизованных показателей смертности мужчин и женщин по причинам смерти с некоторыми экологическими и социально-экономическими факторами с целью определения возможных причин формирования существующего уровня здоровья населения.

Ключевые слова: общественное здоровье России, смертность населения, ожидаемая продолжительность жизни, территориальная дифференциация, корреляционный анализ.

Введение. Здоровье населения – один из основных критериев устойчивого развития региона. Оно характеризуется такими медико-демографическими показателями, как заболеваемость, смертность, ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ), инвалидность, временная нетрудоспособность, а его уровень служит индикатором качества окружающей среды [Окружающая..., 1979; Urbanization..., 2011]. Необходимо проводить четкую грань между индивидуальным здоровьем человека и общественным (популяционным) здоровьем. Индивидуальное здоровье – совокупность всех индивидуальных систем организма отдельно взятого человека. Общественное здоровье вполне объективно отражает социально-экономическую сферу жизнедеятельности и характеризует экологическое состояние конкретного региона [Прохоров, Шмаков, 2013]. В настоящее время наблюдается трансформация модели общественного здоровья в модель экологического общественного здоровья (ecological public health). В этой концепции человек признается частью экосистемы, не отделенный от нее, но и не находящийся в центре [Bentley, 2013]. В качестве оценочной характеристики подразумевается, как правило, популяционный уровень биологических ответов населения (физиологические реакции, заболеваемость, смертность) на изменения состояния окружающей среды [Ревич и др., 2004].

Исследование общественного здоровья населения – многогранная проблема. Первоначально в России (начало XX в.) при исследовании общественного здоровья проводили главным образом оценку уровня заболеваемости и выявляли причины распро-

странения инфекционных болезней. К таким исследованиям относятся работы о распространении тифа, оспы и малярии в России и их связи с состоянием железнодорожных и речных путей, качеством медико-санитарного контроля и т.п. Эпидемической комиссией Лиги Наций отмечено, что статистические данные, предоставленные народным комиссариатом здравоохранения для таких работ, были достаточно корректны, а реализуемые санитарные мероприятия с учетом проведенных исследований весьма эффективны [Guest, 1923].

Впоследствии стало все более очевидно значение неинфекционных заболеваний, а также факторов окружающей среды в формировании уровня здоровья населения. Однако к середине XX в., несмотря на значительное количество «описательных» работ по медико-демографической ситуации в России, практически отсутствовали исследования, где была бы представлена комплексная информация о смертности и заболеваемости населения, факторах окружающей среды, жилищных и санитарных условиях, социальной стратификации и т.п. [Brockington, 1956; Mazique, 1961]. Это характерно и для работ более позднего постсоветского периода, в которых многие из детерминирующих факторов, определяющих здоровье населения в России, установлены, но, как правило, не представлен их детальный анализ [Heilig, 1999; Tkachenko et al., 2000].

К началу XXI в. появились исследования, в которых вопросы состояния общественного здоровья населения России рассмотрены весьма подробно [Прохоров, 2000; Малхазова, 2001; Прохоров и др., 2003; Прохоров, Тикунов, 2005; Общественное...,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, зав. кафедрой биогеографии, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: sveta_geo@mail.ru

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

³ Институт демографии, НИУ ВШЭ, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: stimonin@hse.ru

2007; Прохоров, 2009]. В их основе лежит комплексное региональное сопоставление состояния общественного здоровья, экономической ситуации, уровня загрязнения окружающей среды и комфортности природных условий регионов для жизнедеятельности населения.

В это же время были разработаны десятки индексов и индикаторов общественного здоровья [Rothenberg et al., 2015] и комплексных показателей состояния окружающей среды [Kaltenthaler et al., 2004]. К основным характеристикам состояния здоровья населения, согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), в настоящее время относятся ожидаемая продолжительность жизни (ОПЖ) мужчин и женщин и младенческая смертность, т.е. смертность детей до 1 года на 1000 рожденных живыми [Bulletin..., 2009; Малхазова, Королева, 2011; Agenor, 2012].

Мы рассмотрели вопросы медико-географической оценки территории России. Исследование состоит из двух блоков: первый посвящен анализу изменения общественного здоровья населения в регионах России за период 2002–2012 гг. по сравнению с 1990–2001 гг.; второй – попытка выявления причинно-следственных связей между состоянием окружающей среды и общественным здоровьем на примере населения городов, так как эта категория может иметь более выраженные ответные реакции на воздействие внешних факторов [Addington, Weiss, 1999; Pascal et al., 2013].

Материалы и методы исследований. Исследование проведено на основе материалов Федераль-

ной службы государственной статистики (Росстат), опубликованных в сборниках «Регионы России», «Демографический ежегодник России», бюллетенях «Естественное движение населения Российской Федерации», «Здравоохранение в России» за 2003–2013 гг. и в статистической базе данных «Экономика городов России».

Для сравнительной характеристики здоровья населения России по регионам использован комплексный показатель – индекс общественного здоровья (ИОЗ) [Прохоров, Тикунов, 2005], интегрирующий коэффициенты младенческой смертности, ожидаемую продолжительность жизни мужчин и женщин за 2002–2012 гг.

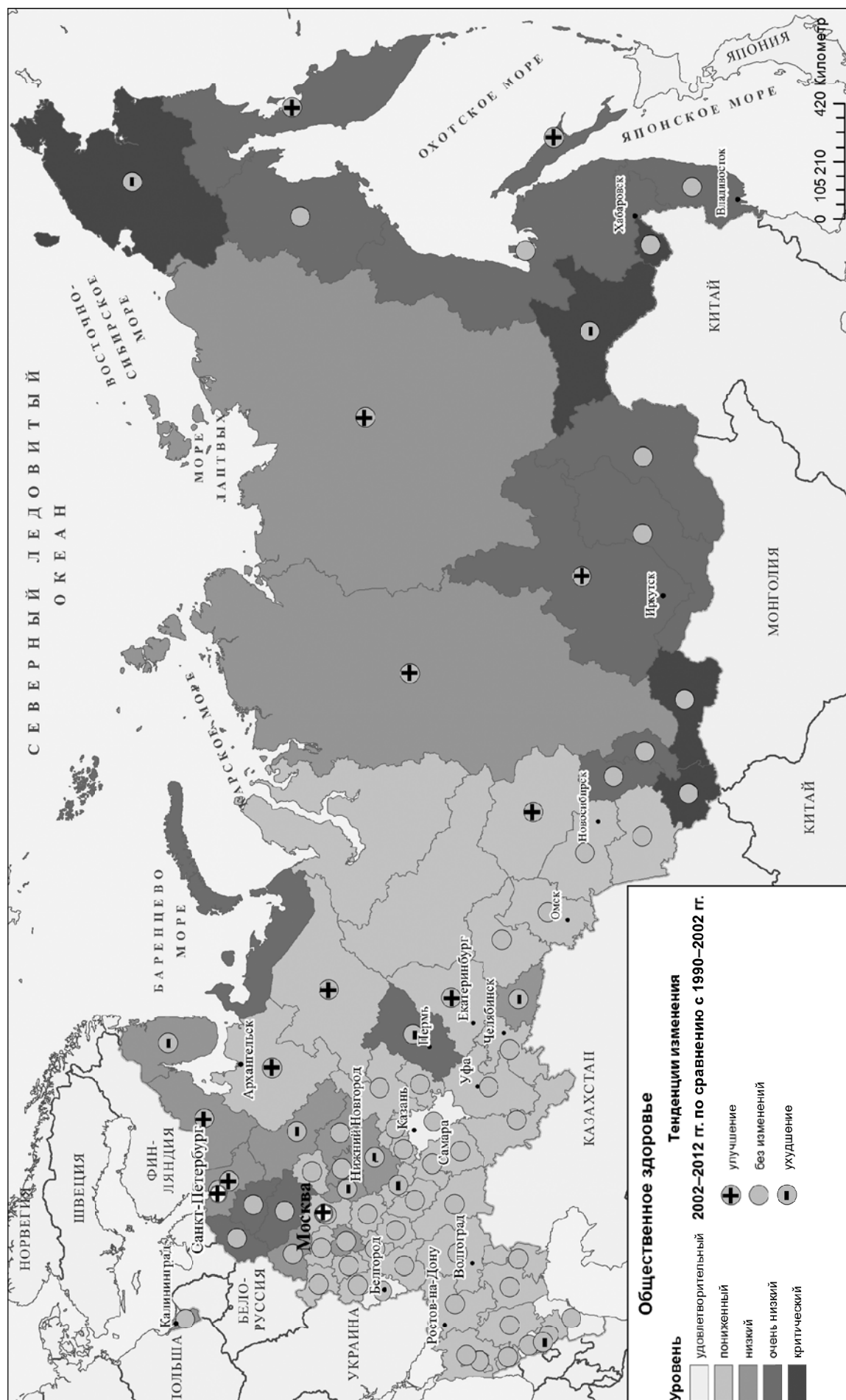
Анализ влияния факторов окружающей среды на состояние общественного здоровья населения выполнен по данным за 2010–2012 гг. для 168 городов России с численностью населения ≥ 100 тыс. человек на основе корреляционных методов. В качестве характеристик общественного здоровья при корреляционном анализе использованы стандартизованные показатели смертности (европейский стандарт ВОЗ) мужчин и женщин по причинам смерти: болезни органов дыхания; болезни органов пищеварения; болезни системы кровообращения; болезни, вызванная вирусом иммунодефицита человека (ВИЧ); внешние причины смертности; врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения; злокачественная меланома кожи; злокачественные новообразования грудной железы; злокачественные новообразования женских половых органов; злокачественные новообразования мужских половых органов; злокачественные новообразования органов дыхания; злокачественные новообразования органов мочевыделительной системы; злокачественные новообразования органов пищеварения; ишемическая болезнь сердца; новообразования; пневмония; повреждения с неопределенными намерениями; причины смерти, обусловленные алкоголем; самоубийства; туберкулез всех форм; убийства (нападение, насилие); cerebrovasкулярные болезни. Всего в анализе использовано 22 показателя смертности в расчете на 100 000 населения.

В качестве факторов окружающей среды выбраны две группы показателей [Malkhazova et al., 2014; Шартова и др., 2015]: первая – экологические, в частности некоторые характеристики загрязнения атмосферы, вторая – социально-экономические, отражающие состояние экономики, здравоохранения и социальной сферы (табл. 1). Для расчета на основе распределения данных использован непараметрический коэффи-

Таблица 1

Экологические и социально-экономические показатели

Показатели	Единица измерения	
Экологические		
Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников, в том числе: твердые вещества диоксид серы оксид углерода оксид азота углеводороды и летучие органические соединения	тыс. т/год	
Социально-экономические		
Плотность населения		человек/га
Прирост (убыль) населения за счет миграции		на 1000 населения
Численность пенсионеров		
Среднемесячная заработная плата работников	руб.	
Общая площадь жилых помещений, приходящаяся в среднем на одного жителя	м ²	
Численность врачей	на 10 000 населения	
Мощность амбулаторно-поликлинических учреждений	на 1000 населения	
Число спортивных сооружений		
Число зарегистрированных преступлений		



Оценка состояния общественного здоровья в России в 2002–2012 гг.

Assessment of the state of public health in Russia, 2002–2012

ент корреляции Спирмена с доверительным интервалом 0,95.

Результаты исследований и их обсуждение.

Изменения социально-экономической и политической ситуации в России отражаются в динамике медико-демографических показателей. С середины 1990-х гг. ОПЖ в России была минимальной и не превышала 65 лет [Прохоров, Тикунов, 2005]. После 2005 г. значения показателя в среднем постоянно увеличивались, достигнув в 2012 г. 69,5 лет, хотя продолжительность жизни мужчин продолжала оставаться низкой (менее 60 лет в 2002–2006 гг.).

Среди положительных изменений показателей здоровья, которые происходили в последние годы, отмечается также значительное снижение уровня младенческой смертности, которое, однако, несколько приостановилось в 2012 г., что связано, очевидно, с переходом на более точные критерии определения живорождения [Андреев и др., 2013].

В целом в течение 2002–2012 гг. уровень общественного здоровья в России несколько варьировал. С 2002 по 2006 г. наблюдалось его понижение, фиксирующееся через уменьшение индекса общественного здоровья. В последующие годы снова началось постепенное улучшение медико-демографической ситуации, и в 2009–2010 гг. значение ИОЗ вышло на уровень 2002 г.

Средний уровень общественного здоровья за 2002–2012 гг. показан на карте (рисунок). Расчет ИОЗ за каждый год позволил ранжировать регионы страны по уровню общественного здоровья ежегодно и за 11 лет в целом. В результате регионы объединены в пять групп в зависимости от занятых ими мест при ранжировании.

Первая группа включает 8 регионов с удовлетворительным уровнем здоровья: с ранговыми местами с 1-го по 8-е (ИОЗ 1,0–0,8) – Белгородская область и Республики Дагестан, Ингушетия, Татарстан, Кабардино-Балкарская и Карачаево-Черкесская, города Москва и Санкт-Петербург.

Вторая, наиболее обширная группа, состоит из 41 региона (ранговые места с 9-го по 49-е; ИОЗ 0,8–0,7) с несколько пониженным уровнем здоровья. Почти все регионы, входящие в эту группу, имеют индекс общественного здоровья выше среднего ИОЗ по РФ, весьма существенно различаясь между собой. В этой группе выше уровень общественного здоровья в Краснодарском крае, Республиках Адыгея и Чувашия, Тамбовской области. Наименьшие средние значения ИОЗ отмечены в Республике Марий Эл, Рязанской, Калужской областях и Алтайском крае.

Третья группа объединяет 15 регионов с низким уровнем здоровья (ранговые места с 50-го по 64-е; ИОЗ 0,7–0,6). Это Тульская, Ивановская, Костромская, Смоленская, Ленинградская, Мурманская области, Красноярский край и Республика Саха (Якутия).

Четвертая группа состоит из 15 регионов с очень низким уровнем здоровья (ранговые места с 65-го по 78-е; ИОЗ 0,6–0,5), особенно в Забайкаль-

ском и Хабаровском краях, Республике Хакассия и Магаданской области.

Пятая группа – 5 регионов с критическими показателями здоровья (ранговые места с 79-го по 83-е; ИОЗ $\leq 0,4$): Республика Тыва, Еврейская АО, Чукотский АО, Республика Алтай и Амурская область.

Тренд изменения региональных показателей ИОЗ за последние два десятилетия свидетельствует об относительной стабильности основных медико-демографических показателей в большинстве регионов России: в 56 из 83 субъектов РФ ранговые места по индексу общественного здоровья за 20 лет не изменились, в 10 регионах ситуация ухудшилась (особенно в Амурской области и Чукотском АО) и лишь в 13 административных единицах, в том числе в Москве и Санкт-Петербурге, улучшилась.

На состояние общественного здоровья, особенно городского населения, влияют факторы окружающей среды. На примере 25 городов Европы показано, что загрязнение воздуха все еще играет главную роль в определении состояния общественного здоровья. Так, при сокращении содержания твердых взвешенных частиц и озона в атмосфере ожидается увеличение продолжительности жизни и снижение уровня смертности [Pascal et al., 2013]. В ряде работ установлена взаимосвязь между низким социально-экономическим статусом и высоким уровнем смертности и заболеваемости от отдельных патологий [Addington, Weiss, 1999]. Вопросы оценки риска для здоровья населения России в связи с воздействием загрязняющих веществ в атмосфере [Гурвич и др., 2004; Reshetin, Kazazyan, 2004; Земляная и др., 2006; Lukjanova, Popova, 2011; Ревич и др., 2015; Яковенко, Кравченко, 2015], как и проблемы воздействия социально-экономических факторов [Vandenhede et al., 2014; Чубирко и др., 2014; Trifonova, Shirkin, 2015] на региональном уровне рассмотрены достаточно широко.

Для всей территории России по результатам проведенного анализа отмечаются весьма низкие значения коэффициента корреляции экологических показателей с показателями общественного здоровья, наиболее значимые из них представлены в табл. 2. Так, смертность от болезней органов дыхания, в том числе пневмонии, а также злокачественных новообразований органов дыхания имеет статистически выраженную связь с выбросами твердых загрязняющих веществ в атмосферу. Обнаружена корреляция между смертностью мужчин от болезней органов дыхания и выбросами оксида азота и оксида углерода. Обращает на себя внимание взаимосвязь смертности женщин от злокачественных новообразований органов дыхания и выбросов твердых загрязняющих веществ, болезней органов пищеварения и выбросов твердых загрязняющих веществ и диоксида серы. Полученные выводы согласуются с результатами других исследований оценки воздействия загрязнения атмосферы на здоровье населения [Pascal et al.; Shaposhnikov et al., 2014].

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициента корреляции (R) между причинами смерти и экологическими показателями

Причины смерти	Экологические показатели				
	выбросы в атмосферу загрязняющих веществ от стационарных источников	в том числе			
		твердые загрязняющие вещества	оксид азота	оксид углерода	диоксид серы
Болезни органов дыхания у мужчин	0,38*	0,40 / 0,41*	0,36*	0,36*	
Болезни органов дыхания у женщин	–	0,36	–	–	–
Злокачественные новообразования органов дыхания у мужчин	–	0,36 / 0,36*	–	–	–
Злокачественные новообразования органов дыхания у женщин	–	0,36*	0,37	–	–
Пневмония у мужчин	0,36*	–	–	–	–
Пневмония у женщин	0,37*	–	0,37*	0,36*	–
Злокачественные новообразования мочевыделительной системы у женщин	0,35	–	0,36	–	–
Болезни органов пищеварения у женщин	–	0,35*	–	–	0,36*

Примечание. * – значения коэффициента корреляции для выборки городов с численностью населения от 100 до 800 тыс. жителей с доверительным интервалом 0,95; остальные – значения коэффициента корреляции для выборки городов с численностью населения от 100 тыс. до 11 млн жителей с доверительным интервалом 0,95; прочерк – статистически значимая корреляция не обнаружена.

Расчеты показали крайне низкие статистически достоверные значения коэффициента корреляции показателей здоровья в регионах России с рассмотренными социально-экономическими параметрами, что требует выбора более значимых факторов и проведения крупномасштабных исследований.

Выводы:

– субъекты РФ существенно различаются по показателям общественного здоровья, в первую очередь по младенческой смертности и ожидаемой продолжительности жизни; критический уровень отмечен в регионах Дальнего Востока (Чукотский АО и Еврейская АО, Амурская область) и Южной Сибири (Республики Тыва и Алтай);

– тенденции изменения уровня общественного здоровья за 1990–2012 гг. указывают на относительную стабильность ситуации. В большинстве регио-

нов России уровень общественного здоровья не изменился, ухудшение произошло в первую очередь в регионах Дальнего Востока (Амурская область, Чукотский АО); в Москве и Санкт-Петербурге отмечено значительное улучшение показателя общественного здоровья населения;

– в результате сопряженного анализа показателей смертности населения с характеристиками состояния окружающей среды в городах выявлена положительная статистически достоверная корреляционная связь между смертностью от болезней органов дыхания (в том числе пневмонии), злокачественных новообразований этих органов и выбросами загрязняющих веществ в атмосферу. Для получения информации о других причинно-следственных связях необходимо привлечь дополнительные материалы и провести целенаправленные исследования на модельных территориях.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта РФФИ (проект № 13-05-00864 А, «География здоровья населения в России: научно-методические основы оценки и прогнозирования»)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев Е.М., Кваша Е.А., Харьковская Т.Л. Резервы снижения младенческой смертности использованы не полностью // Население России 2010–2011 / Под. ред. А.Г. Вишневецкого. М.: Изд. дом ВШЭ, 2013. С. 404–419.
- Гурвич В.Б., Плотко Э.Г., Селянкина К.П. и др. Динамика заболеваемости детского населения как критерий необходимости реконструкции алюминиевых заводов // Вестн. РАМН. 2004. № 3. С. 46.
- Земляная Г.М., Соленова Л.Г., Кислицын В.А. Загрязнение атмосферного воздуха и смертность населения в областных и краевых центрах Российской Федерации // Вестн. РАМН. 2006. № 5. С. 7–12.
- Малхазова С.М. Медико-географический анализ территорий: картографирование, оценка, прогноз. М.: Научный мир, 2001. 240 с.
- Малхазова С.М., Королева Е.Г. Окружающая среда и здоровье человека. М., МГУ, 2011. 180 с.
- Общественное здоровье и экономика / Отв. ред. Б.Б. Прохоров М.: МАКС Пресс, 2007. 300 с.
- Окружающая среда и здоровье. М.: Наука, 1979. 214 с.
- Прохоров Б.Б. Общественное здоровье в России за 100 лет (1897–1997) // Россия в окружающем мире: 2000 (Аналитический ежегодник). М.: МНЭПУ, 2000. С. 133–168.
- Прохоров Б.Б. Социальная стратификация общества и здоровье населения // Проблемы прогнозирования. 2009. № 3. С. 112–133.
- Прохоров Б.Б., Горшкова И.В., Тарасова Е.В. Условия жизни населения и общественное здоровье // Проблемы прогнозирования. 2003. № 5. С. 127–140.
- Прохоров Б.Б., Тикунов В.С. Общественное здоровье в регионах России // География и природные ресурсы. 2005. № 2. С. 26–33.
- Прохоров Б.Б., Шамаков Д.И. Причины гибели людей в мирное время и экономическая оценка стоимости потерь // Проблемы прогнозирования. 2013. № 4. С. 139–147.
- Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И. Экологическая эпидемиология: Учебник для высш. учеб. заведений. М.: Изд. центр «Академия», 2004. 384 с.
- Ревич Б.А., Шапошников Д.А., Авалиани С.Л. и др. Изменение качества атмосферного воздуха в Москве в 2006–2012 гг. и риски для здоровья населения // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2015. № 1. С. 91–122.
- Шартова Н.В., Крайнов В.Н., Малхазова С.М. Технология интегральной оценки биоклиматической комфортности и загрязненности воздуха на урбанизированных территориях // Экология и промышленность России. 2015. № 1. С. 24–29.
- Чубирко М.И., Пичужкина Н.М., Масайлова Л.А., Ласточкина Г.В. Оценка влияния социально-экономических факторов на медико-демографические показатели // Гигиена и санитария. 2012. № 6. С. 36–38.
- Яковенко О.Н., Кравченко Н.А. Загрязнение атмосферного воздуха г. Иркутска выбросами от передвижных источников (применение расчетной методики) // Гигиена и санитария. 2015. № 1. С. 64–68.
- Addington W.W., Weiss K.B. Chicago's response to the public health challenge of urban asthma // Amer. College Chest Physicians. 1999. N 116. P. 132–134.
- Agénor P.R. Public capital, growth and welfare: Analytical foundations for public policy. Princeton: Princeton University Press, 2012. 252 p.
- Bentley M. An ecological public health approach to understanding the relationships between sustainable urban environment, public health and social equity // Health Promotion Intern. 2013. Vol. 29, N 3. P. 528–537. Doi: 10.1093/heapro/dat028
- Brockington C.F. Public health in Russia // Lancet. 1956. Vol. 271. P. 138–141.
- Bulletin of the World Health Organization. 2009. Vol. 87. P. 714–719. Doi: 10.2471/BLT.08.058321.
- Guest L.H. Public health in soviet Russia // British Med. J. 1923. T. 2. P. 677–679.
- Heilig S. A modern public health crisis: A physician speaks about healthcare in post-gasnost Russia // Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics. 1999. Vol. 8, iss. 2. P. 257–258.
- Kaltenhauer E., Maheswaran R., Beverley C. Population-based health indexes: a systematic review // Health Policy. 2004. Vol. 68(2). P. 245–255.
- Lukjanova N.I., Popova E.S. Problems of risk assessment to public health in megacities (by example of some districts of St. Petersburg, Russia) // Russia J. General Chemistry. 2011. Vol. 81, iss. 13. P. 2682–2687. Doi: 10.1134/S1070363211130093.
- Malkhazova S., Yang L., Wang W. et al. Health of urban population in Moscow and Beijing agglomerations // Geography. Environ. Sustainability. 2014. N 4. P. 41–53.
- Mazique E.C. Public health and medical care in Russia // J. Nat. Med. Association. 1961. Vol. 53. P. 352–355.
- Pascal M., Corso M., Chanel O. et al. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of Aphekom project // Sci. Total Environ. 2013. Vol. 499. P. 390–400.
- Reshetin V.P., Kazazyan V.I. Public-health impact of outdoor air pollution in Russia // Environmental Modelling & Assessment. 2004. Vol. 9, iss. 1. P. 43–50. Doi: 10.1023/B:ENMO.0000020889.41526.66.
- Rothenberg R., Stauber C., Weaver S. et al. Urban health indicators and indices – current status // BMC Publ. Health. 2015. Vol. 15. 494 p. Doi: 10.1186/s12889-015-1827-x.
- Shaposhnikov D., Revich B., Bellander T. et al. Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010 // Epidemiology. 2014. Vol. 25, N 3. P. 359–364.
- Tkatchenko E., McKee M., Tsouros A.D. Public health in Russia: the view from the inside // Healthy Policy and Planning. 2000. Vol. 15, iss. 2. P. 164–169. Doi: 10.1093/heapol/15.2.164.
- Trifonova T.A., Shirkin L.A. The analysis of cumulative influence of factors of environment on a state of health of the population of Vladimir region // Global J. Health Sci. 2015. Vol. 7, N 3. P. 309–316.
- Urbanization and health: Health equity and vulnerable populations. Case studies from the Eastern Mediterranean Region. WHO Regional Office for the Eastern Mediterranean, 2011. 35 p.
- Vandenheede H., Vikhireva O., Pikhart H. et al. Socioeconomic inequalities in all-cause mortality in the Czech Republic, Russia, Poland and Lithuania in the 2000s: findings from the HAPIEE Study // J. Epidemiol. and Community Health. 2014. Vol. 68, N 4. P. 297–303. Doi: 10.1136/jech-2013-203057.

Поступила в редакцию 28.10.2015
Принята к публикации 11.12.2015

S.M. Malkhazova¹, N.V. Shartova², S.A. Timonin³CURRENT SITUATION AND THE TRENDS OF CHANGES
OF THE PUBLIC HEALTH IN RUSSIA

The article presents the characteristics of the state of public health in the regions of Russia (in 2002–2012) based on male and female life expectancy and infant mortality. Changes in the state of public health have been identified as compared to 1990–2001 data. Five groups of regions with different state of public health have been determined and analyzed. Coupled analysis of male and female mortality rates according to death causes and a number of environmental and socio-economic factors has been performed for 168 towns with a view to a possible interpretation of current public health.

Key words: public health in Russia, mortality, life expectancy, territorial differentiation, correlation analysis.

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No 13-05-00864 a, «Geography of public health in Russia: a scientific basis and methodology for the assessment and forecast»).

REFERENCES

- Addington W.W., Weiss K.B. Chicago's response to the public health challenge of urban asthma // *Amer. College Chest Physicians*. 1999. N 116. P. 132–134.
- Agénor P.R. Public capital, growth and welfare: Analytical foundations for public policy. Princeton: Princeton University Press, 2012. 252 p.
- Andreev E.M., Kvasha E.A., Har'kova T.L.. Rezervy snizheniya mladencheskoj smertnosti ispol'zovany ne polnost'ju [Reserves reduce infant mortality are not fully utilized], *Naselenie Rossii 2010–2011*, Pod. red. A.G. Vishnevskogo, Moscow, Izdatel'skij dom VShJe, pp. 404–419 (in Russian).
- Bentley M. An ecological public health approach to understanding the relationships between sustainable urban environment, public health and social equity // *Health Promotion Intern.* 2013. Vol. 29. N 3. P. 528–537. Doi: 10.1093/heapro/dat028.
- Brockington C.F. Public health in Russia // *Lancet*. 1956. Vol. 271. P. 138–141.
- Bulletin of the World Health Organization. 2009. Vol. 87. P. 714–719. Doi: 10.2471/BLT.08.058321.
- Chubirko M.I., Pichuzhkina N.M., Masajlova L.A., Lastochkina G.V. Ocenka vlijanija social'no-jekonomicheskikh faktorov na mediko-demograficheskie pokazateli [Assessing the impact of socio-economic factors on the health and demographic indicators], *Gigiena i sanitarija*. 2012, no 6, pp. 36–38 (in Russian).
- Guest L.H. Public health in soviet Russia // *British Med. J.* 1923. T. 2. P. 677–679.
- Gurvich V.B., Plotko Je. G., Seljankina K.P. et al. Dinamika zabolevaemosti detskogo naselenija kak kriterij neobходимosti rekonstrukcii aluminievych zavodov [Dynamics of child morbidity as a criterion of necessity of reconstruction of aluminum smelters], *Vestnik RAMN*, 2004, no 3, pp. 46 (in Russian).
- Heilig S. A modern public health crisis: A physician speaks about healthcare in post-glasnost Russia // *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*. 1999. Vol. 8, iss. 2. P. 257–258.
- Jakovenko O.N., Kravchenko N.A. Zagriznenie atmosfernogo vozduha g. Irkutsk vybrosami ot peredvizhnyh istochnikov (primenenie raschetnoj metodiki) [Air pollution emissions from mobile sources in Irkutsk (application of the calculation method)], *Gigiena i sanitarija*, 2015, no 1, pp. 64–68 (in Russian).
- Kaltenthaler E., Maheswaran R., Beverley C. Population-based health indexes: a systematic review // *Health Policy*. 2004. Vol. 68(2). P. 245–255.
- Lukjanova N.I., Popova E.S. Problems of risk assessment to public health in megacities (by example of some districts of St. Petersburg, Russia) // *Russia J. General Chemistry*. 2011. Vol. 81, iss. 13. P. 2682–2687. Doi: 10.1134/S1070363211130093.
- Malkhazova S.M. Mediko-geograficheskij analiz territorij: kartografirovanie, ocenka, prognoz [Medical and geographical analysis of territories: mapping, evaluation, forecast], Moscow, Nauchnyj mir, 2001, 240 p. (in Russian).
- Malkhazova S.M., Koroleva E.G. Okruzhajushhaja sreda i zdorov'e cheloveka [Environment and public health], Moscow, MGU, 2011, 180 p. (in Russian).
- Malkhazova S., Yang L., Wang W. et al. Health of urban population in Moscow and Beijing agglomerations // *Geography. Environ. Sustainability*. 2014. N 4. P. 41–53.
- Mazique E.C. Public health and medical care in Russia // *J. Nat. Med. Association*. 1961. Vol. 53. P. 352–355.
- Obshhestvennoe zdorov'e i jekonomika [Public health and the economy], Otv. red. B.B. Prohorov, Moscow, MAKSS Press, 2007, 300 p. (in Russian).
- Okruzhajushhaja sreda i zdorov'e [Environment and public health], Moscow, Nauka, 1979, 214 p. (in Russian).
- Pascal M., Corso M., Chanel O. et al. Assessing the public health impacts of urban air pollution in 25 European cities: Results of Aphekom project // *Sci. Total Environ.* 2013. Vol. 499. P. 390–400.
- Prokhorov B.B. Obshhestvennoe zdorov'e v Rossii za 100 let (1897–1997) [Public health in Russia for 100 years (1897–1997)], *Rossija v okruzhajushhem mire: 2000* (Analiticheskij ezhegodnik), Moscow, MNJePU, 2000, pp. 133–168 (in Russian).
- Prokhorov B.B. Social'naja stratifikacija obshhestva i zdorov'e naselenija [Social stratification of society and the public health], *Problemy prognozirovaniya*, 2009, no 3, pp. 112–133 (in Russian).
- Prokhorov B.B., Gorshkova I.V., Tarasova E.V. Usloviya zhizni naselenija i obshhestvennoe zdorov'e [Conditions of life and public health], *Problemy prognozirovaniya*, 2003, no 5, pp. 127–140 (in Russian).
- Prokhorov B.B., Shmakov D.I. Prichiny gibeli ljudej v mirnoe vremja i jekonomicheskaja ocenka stoimosti poter' [Causes of death

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sveta_geo@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: shartova@yandex.ru

³ National Research University Higher School of Economics, Institute of Demography, Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: stimonin@hse.ru

in times of peace and economic valuation losses], *Problemy prognozirovaniya*, 2013, no 4, pp. 139–147 (in Russian).

Prokhorov B.B., Tikunov V.S. Obshchestvennoe zdorov'e v regionah Rossii [Public health in regions of Russian], *Geografija i prirodnye resursy*, 2005, no 2, pp. 26–33 (in Russian).

Reshetin V.P., Kazazyan V.I. Public-health impact of outdoor air pollution in Russia // *Environmental Modelling & Assessment*. 2004. Vol. 9, iss. 1. P. 43–50. Doi: 10.1023/B:ENMO.0000020889.41526.66.

Revich B.A., Avaliani S.L., Tihonova G.I. Jekologicheskaja jepidemiologija [Environmental epidemiology]: Uchebnik dlja vyssh. ucheb. Zavedenij, Moscow, Izdatel'skij centr «Akademija», 2004, 384 p. (in Russian).

Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Avaliani S.L. et al. Izmenenie kachestva atmosfernogo vozduha v Moskve v 2006–2012 gg. i riski dlja zdorov'ja naselenija [Changing the air quality in Moscow in 2006–2012 years. and public health risks], *Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya jekosistem*, 2015, no 1, pp. 91–122 (in Russian).

Rothenberg R., Stauber C., Weaver S. et al. Urban health indicators and indices – current status // *BMC Publ. Health*. 2015. Vol. 15. 494 p. Doi: 10.1186/s12889-015-1827-x.

Shaposhnikov D., Revich B., Bellander T. et al. Mortality related to air pollution with the Moscow heat wave and wildfire of 2010 // *Epidemiology*. 2014. Vol. 25, N 3. P. 359–364.

Shartova N.V., Krajnov V.N., Malhazova S.M. Tehnologija integral'noj ocenki bioklimaticheskoy komfortnosti i zagryaznennosti vozduha na urbanizirovannyh territorijah [The technology integrated estimation of bioclimatic comfort and air pollution in urban areas], *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2015, no 1, pp. 24–29 (in Russian).

Tkatchenko E., McKee M., Tsouros A.D. Public health in Russia: the view from the inside // *Healthy Policy and Planning*. 2000. Vol. 15, iss. 2. P. 164–169. Doi: 10.1093/heapol/15.2.164.

Trifonova T.A., Shirkin L.A. The analysis of cumulative influence of factors of environment on a state of health of the population of Vladimir region // *Global J. Health Sci*. 2015. Vol. 7, N 3. P. 309–316.

Urbanization and health: Health equity and vulnerable populations. Case studies from the Eastern Mediterranean Region. WHO Regional Office for the Eastern Mediterranean, 2011. 35 p.

Vandenheede H., Vikhireva O., Pikhart H. et al. Socioeconomic inequalities in all-cause mortality in the Czech Republic, Russia, Poland and Lithuania in the 2000s: findings from the HAPIEE Study // *J. Epidemiol. and Community Health*. 2014. Vol. 68, N 4. P. 297–303. Doi: 10.1136/jech-2013-203057.

Zemljanaja G.M., Solenova L.G., Kislicyn V.A. Zagryaznenie atmosfernogo vozduha i smertnost' naselenija v oblastnyh i kraevykh centrakh Rossijskoj Federacii [Air pollution and mortality in regions of the Russian Federation], *Vestnik RAMN*, 2006, no 5, pp. 7–12 (in Russian).

Received 28.10.2015

Accepted 11.12.2015

УДК 911.8, 911.9, 551.4.08

С.И. Болысов¹, С.В. Харченко²

ГОРОДСКОЙ РЕЛЬЕФ КАК ФАКТОР КОМФОРТНОСТИ ПРОЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ

Рассмотрено влияние рельефа городских территорий на комфортность проживания в городе. Описаны основные «направления» воздействия рельефа на различные аспекты экологической обстановки в городах и комфортности жизни – опасные и неблагоприятные геолого-геоморфологические процессы; геоморфологическая обусловленность инсоляции городской застройки, проветриваемости кварталов, распространения шума, а также роль рельефа и его изменений в формировании поверхностного стока с городских территорий, размещении элементов экологического каркаса. Предложено определение геоморфологической комфортности.

Ключевые слова: городской рельеф, комфортность проживания, инсоляция, ветровая обстановка, зашумленность, поверхностный сток, экологический каркас.

Введение. В связи с нарастанием проблемы экологически неблагоприятных явлений в городах перед специалистами разных научных направлений стоит задача конструирования комфортной экологической среды, имеющей заданные параметры. Ландшафт в городах перестроен не тотально – немалая часть территории полностью видоизменена непосредственным воздействием человека, но прочая часть – условно-природная – лишь в некоторой степени подстроилась к изменениям. Задача прогнозирования здесь (как предшественница «конструирования») тесно связана с задачей моделирования с разными входными данными – современная структура и состояние ландшафтов, их прошлые состояния и возможная планируемая структура.

Весомую роль в формировании современных городских ландшафтов, истории и перспективах их развития играют рельеф и его изменения, влияющие на комфортность или дискомфортность условий жизнедеятельности горожан. Мы стремились показать те стороны комфортности жизни, на которых в значительной степени сказываются топографические и геоморфологические особенности городских территорий и, следовательно, скажется и их перестройка.

Следуя известному закону Б. Коммонера «Все связано со всем» («Everything is connected to everything else» [Commoner, 1971, p. 16]), отыскивать «геоморфологический сигнал» в распределении разных объектов и полей в городе можно долго. На наш взгляд, необходимо описать именно те «сюжеты», в которых рельеф является *непосредственным* условием или фактором формирования среды. С этим ограничением перечень аспектов влияния рельефа на среду достаточно обширен. Рассматриваемый круг вопросов очертим следующими проблемами: геоморфологические опасности; влияние геоморфологической позиции на инсоляцию кварталов и по-

мещений, на распределение ветровых потоков в городе; трансформация поверхностного стока с городских территорий в связи с преобразованием рельефа; влияние рельефа на шумовое загрязнение при распространении шумов в атмосфере; значение геоморфологического фактора в формировании «зеленого каркаса» городской среды.

Рельеф редко выступает в качестве определяющего фактора протекания ветровых процессов или, например, вибрации воздуха – шума, но геоморфологическое строение места накладывает на все эти процессы свой отпечаток. Влияние рельефа на них может измеряться несколькими процентами, а может достигать нескольких десятков процентов, если говорить об отклонениях параметров среды от тех значений, которые можно было бы регистрировать на субгоризонтальной поверхности. Для задачи моделирования и тонкого конструирования среды (обозначенной выше) вклад в несколько процентов – весьма существен и должен быть учтен.

Самые ранние упоминания почти всех перечисленных проблем можно найти еще в работах античных и средневековых архитекторов (Витрувий, Л.-Б. Альберти, А. Палладио), врачей (Гиппократ, Авиценна), географов (Геродот), историков (Тит Ливий). Естественно, эти упоминания носили почти исключительно описательный характер. Пожалуй, не затронутой долгое время оставалась только проблема уличного шума. Тем не менее даже сегодня нет системного понимания вклада рельефа в комфортность проживания, хотя существует немало работ [Лопатина, Назаревский, 1972; Андреев, 2013; Глебова, 2011; Добрынина и др., 2013; Епринцев, Архипова и др., 2012], посвященных частным аспектам комфортности (в основном безотносительно рельефа). Обычно общую комфортность проживания выражают суммированием взвешенных балльных оценок ее различных аспектов [Андреев, 2013; Са-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: sibol1954@bk.ru

² Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт экологии и природопользования, кафедра ландшафтной экологии, науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: xar4enkkoff@rambler.ru

лякин и др., 2010; Стулышапку, 2006]. Довольно редко «вес» каждого аспекта как-то обоснован. Мы не стремились сопоставить разные стороны геоморфологической комфортности между собой по степени их важности, а лишь хотели указать на характерные влияния рельефа на самоощущение человека в городской среде.

Трудов, посвященных проблеме опасных и неблагоприятных геоморфологических процессов (в том числе в городах), немало. Мы хотели показать роль опасных процессов только в приложении к комфортности жизни, в таком аспекте вопрос менее изучен. Отметим наиболее знаковые труды, где опасные изменения рельефа рассмотрены как условие устойчивого существования городов в целом: монографии и статьи геологов Г.Л. Коффа [Кофф и др., 1997], В.И. Осипова [Москва..., 1997; Опасные..., 1999], О.П. Медведева [Москва..., 1997], Ф.В. Котлова [Котлов, 1978] и др., работы географов Ю.Г. Симонова [Симонов, Кружалин и др., 1993], Т.Ю. Симоновой, Э.А. Лихачевой и др. [Город-экосистема, 1997; Кофф и др., 1997; Рельеф..., 2002]. Во многом интерес к относительно молодому научному направлению – геоморфологии городских территорий – связан именно с работой этих исследователей.

Вопросами инсоляции кварталов в условиях расчлененного рельефа занимались немногие специалисты, в основном архитекторы [Блази, 2005; СП..., 2011], но затрагивали их и геоморфологи [Город-экосистема, 1997; Симонов, Кружалин и др., 1993]. За рубежом эта тема почти не развита, что определено отличиями в отечественном и зарубежных подходах к нормированию гигиены света. В то же время инженерная проблема тесно связана с моделированием освещенности склонов, а эти вопросы разработаны хорошо [Кондратьев и др., 1978; Badesku, 2008].

Влияние рельефа на дистрибуцию ветра затрагивалось в упомянутых уже работах географов [Город-экосистема, 1997], но в большей степени этой теме посвящены исследования градостроителей и инженеров [Лифанов и др., 1998; Рэттер, 1984; Себровский, 1971] в разных отраслях (и больше всего, в ветроэнергетике [Ветроэнергетика, 1982]).

Трансформация поверхностного стока с городских территорий изучалась для разных городов, как правило, при проектировании ливневой канализации. Все работы можно разделить на две группы: 1) посвященные изменению физических и химических характеристик стока; 2) касающиеся пространственных изменений географии стока, соотношения поверхностного и подземного стока по территории. Вторая задача больше связана с рельефом и его трансформацией и рассматривалась геоморфологами [Симонов и др., 1993].

Слабо разработан вопрос о влиянии рельефа на распространение звуков в приземном слое атмосферы. Но и по этой проблеме есть единичные работы как отечественных [Сенюшенкова, 2008, 2011], так и зарубежных специалистов [Nega et al., 2013; Rasmussen, 1982, 1985; Van Renterghem, 2007].

Работ, где описаны возможности учета геоморфологического строения территории в создании эффективного экологического каркаса, тоже немного. Отметим работы А.А. Лукашова [Лукашов, 2012], С.Ю. Самсоновой [Самсонова и др., 2013], характеризующие те возможности, которые дает учет особенностей рельефа для обеспечения устойчивого функционирования городских ООПТ и зеленых зон вообще.

Материалы и методы исследований. Рассматривая комплексное описание основных аспектов комфортности жизни в городе в связи с рельефом, мы осознали разную степень разработанности проблемы в целом. Описание исходных материалов и методов их обработки касается в основном наших данных об инсоляции, ветре, шуме, геоморфологических опасностях; характеристика других аспектов базируется преимущественно на опубликованных материалах.

Описываемые в работе закономерности выявлены преимущественно в ходе эколого-геоморфологических исследований крупнейших городов Черноземья (Воронеж, Липецк, Курск, Белгород и Тамбов) и Москвы. Опубликованные работы дают еще серии примеров для других городов России и мира. Поэтому в статье сделана попытка охарактеризовать общие закономерности (по крайней мере для городов на равнинах).

Сведения о морфометрии территорий базируются на данных SRTM; топографических картах и планах (масштаб до 1:500); ЦМР (цифровых моделях рельефа), построенных по стереопарам высокодетальных космоснимков Ikonos. Информация о современной застройке (и «архитектурном рельефе» соответственно) и землепользовании в городах получена с топографических планов, из базы OpenStreetMap, с генеральных планов и схем градостроительного зонирования. Некоторые материалы, касающиеся климата городов, получены в архивах Росгидромета. Речь здесь идет прежде всего о характеристиках ветрового климата городов, взятых из метеорологических ежемесячников и ежегодников. Сведения о номенклатуре, интенсивности и следствиях опасных геоморфологических явлений в исследованных городах получены в ходе полевых маршрутов и при работе в территориальных отделениях Росгеолфонда, а также из исторических документов.

Для разных городов перечень и полнота материалов были неодинаковы, соответственно, менялся и спектр применяемых методов. Среди ключевых методов назовем прежде всего компьютерное моделирование экологических параметров и подготовку для него цифровых моделей рельефа необходимой точности. При обработке неравномерно распределенных географических полей – отметок высоты, скорости и направления ветра, инсоляции – применялись методы математической статистики. Выполнены наблюдения в полевых маршрутах, привлечены и фондовые материалы. Кроме того, часть расчетов – результат картометрического анализа. Недостающий фактический материал почерпнут из опубликованных источников.

Результаты исследований и их обсуждение. Опасные и неблагоприятные геоморфологические процессы и комфортность проживания. Сам факт протекания опасных процессов в городской черте, информированность горожан о реальной (даже и небольшой) степени риска существенно снижают общую комфортность проживания в городе. Так, например, в опросах жителей центральной части Воронежа мы отмечали случаи обеспокоенности проблемой оползней. Характерно, что эта обеспокоенность была вызвана новостями в СМИ о реконструкции в центральной части города противооползневой опояски в основании эрозионного уступа в долине р. Воронеж. В г. Сочи, известном повышенной оползневой опасностью, в рекламных объявлениях о продаже земельных участков содержится информация об оползневой безопасности, что существенно влияет на стоимость земли. Аналогичные дополнения о «геоморфологической» безопасности места авторы встречали и в объявлениях о продаже земельных участков жителями Республики Крым. Подобных примеров множество.

На комфортность жизни влияет, естественно, не только понимание степени угрозы, но и непосредственное, «бытовое» столкновение с тем или иным неблагоприятным, а порой и опасным геоморфологическим процессом.

Рельеф и инсоляционные условия застройки. В принятой в нашей стране практике проектирования кварталов минимальное расстояние между жилыми зданиями жестко лимитировано пожарными и инсоляционными нормами [СП..., 2011]. Проблемы освещенности городских кварталов с метеорологических позиций наиболее полно рассмотрены в недавней работе О.А. Шиловцевой [2013].

Вся территория России делится на три зоны освещенности: северную, центральную и южную. Для каждой зоны регламентирована минимальная продолжительность поступления прямых солнечных лучей в оконные проемы квартир. В районах с горным и гористым рельефом специфика морфологии участка под застройку не может не учитываться, но на невысоких равнинах про рельеф часто забывают, хотя уже начиная с нескольких градусов наклона поверхности относительно субгоризонтальной меняется ход разворачивания конверта тени (фигура, которую описывает тень от объекта в течение дня). И на первых этажах отдельных зданий, находящихся ниже по склону северной экспозиции от других зданий, не всегда обеспечена минимальная продолжительность освещения.

Изменение минимального расстояния между зданиями влияет и на максимально возможную плотность застройки. Даже для равнинных городов с относительно небольшими перепадами высот рельеф вносит отклонения в показатель потенциальной плотности застройки – эти изменения измеряются несколькими процентами от номинальной плотности.

Так, по полученным ранее данным [Харченко, 2013] для центральных частей городов Курск и Там-

бов максимально допустимая плотность реальной застройки на деле может отклоняться на $\pm 5\%$ от запроектированной без учета рельефа максимальной допустимой плотности.

Аэрация городов в связи с геоморфологическим строением территории. Наиболее актуально исследование воздействия рельефа на аэрацию именно для городских территорий, так как, во-первых, ветер здесь играет роль перераспределителя массы газообразных выбросов предприятий и транспорта, а во-вторых, именно здесь морфология твердой земной поверхности часто подчеркнута (а иногда затушевана) и канализирована архитектурными сооружениями.

По словам известного специалиста в экологии градостроительства И.М. Сенюшенковой: «...практика проектирования и строительства городов на сложном рельефе показывает, что часты случаи... недоучета микроклиматических факторов, приводящих к большому количеству дискомфортных условий» [Сенюшенкова, 2011, с. 8].

Большой вклад в развитие учения об аэрации городов на сложном рельефе внесли работы исследователей школы челябинского архитектора Ф.Л. Серебровского [Серебровский, 1971]. Основа дифференциации города на зоны с повышенной или пониженной скоростью ветра – морфология рельефа городской территории. Топографическая карта разбивается на квадраты, каждому из которых в зависимости от морфологии и ориентировки форм, перепада высот и экспозиции склонов присваивается табличное значение, характеризующее геоморфологический фактор ветрового микроклимата в окрестности заданного квадрата. Аналогичные подходы использовались в США еще в начале XX в. при планировании некоторых городов на восточном побережье. Так, известен пример г. Уорчестер (Массачусетс), который в 1922 г. в соответствии с законом о зонировании состоял из четырех зон с разными типами микроклимата и, следовательно, с относительно разной пригодностью для использования их под жилую застройку. Это зонирование проводилось на основе крупномасштабной топографической карты города. Было определено, что наиболее комфортны для жизни участки, выходящие на юго-восток на среднем уровне склонов, затем следовали участки, выходящие на юго-запад на среднем уровне склонов и на вершинах холмов. Наименее комфортными были признаны «участки, выходящие на северо-западные или северные склоны и расположенные на дне долин, где зимой скапливаются массы холодного воздуха» [Brookes, 1923, p. 83–86].

Если строение земной поверхности почти не влияет на макроклимат (влияет только мега- и макрорельеф), то на уровне мезо- и микроклимата оно сказывается вполне отчетливо. Учитывая, что подавляющая часть городов расположена на берегах крупных рек, преобладающими формами мезорельефа в большинстве равнинных городов нашей страны являются речные долины, малые эрозионные формы и рельеф тех поверхностей, в которые вре-

заны эрозионные формы. Чаще всего это увалистые или холмистые равнины разного генезиса либо выровненные платообразные поверхности. Если долинная сеть ориентирована так, что она способствует «набеганию» ветрового потока на город, то по долинам отмечается стабилизация направлений ветра и увеличение его скорости. Если же ситуация противоположная, будет наблюдаться застойный режим аэрации, что отмечено во многих промышленных городах Сибири, например в Новокузнецке [Серебровский, 1971, с. 11]. В первом случае часты экстремальные показатели скорости ветров, резко снижающие микроклиматическую комфортность пешеходов, во втором случае затруднено рассеяние вредных выбросов предприятий.

К отрицательным формам мезорельефа, оказывающим аналогичное действие, можно отнести и так называемые городские каньоны – понижения улиц, окруженные с двух сторон многоэтажной застройкой. Яркий пример «морфологического» подхода к изучению мезо- и микроклиматической роли городских каньонов (моделирование влияния архитектурного «рельефа» на поля ветра и температуры) – недавняя работа [Samsonov et al., 2015]).

Роль рельефа в формировании экологического каркаса города. Рельеф играет важную роль в распределении элементов экологического каркаса городов – зеленых ареалов и соединяющих их коридоров. С одной стороны, экономически выгодно отводить под посадки неудобные для строительства участки – регулярно подтапливаемые площади, крутосклонные поверхности с нерентабельной вертикальной планировкой, участки со значительной общей расчлененностью. С другой стороны, преследуя лишь цель сэкономить средства и земли под застройку, проектировщики могут столкнуться с ситуацией, когда эффективность экологического каркаса оказывается под сомнением. Беспорядочно расположенные массивы растительности, лишь формально называемые зеленым каркасом города, на деле таковыми не будут.

Особую роль играет рельеф в обосновании размещения объектов ООПТ и проведении их границ. Первый в нашей стране городской национальный парк Лосиный Остров в Москве приурочен к западной окраине Мещерской низменности. Кроме того, в столице примерами низинных ООПТ служат все охраняемые природные объекты в границах долин р. Москва и ее притоков – это известные многим заказник Воробьевы Горы, парк в долине р. Сетунь. Как отмечено выше, на более детальном уровне не только привязку объекта ООПТ к каким-либо геоморфологически отличающимся районам, но и установление границ каждого объекта целесообразно проводить в соответствии с морфологией рельефа территории. Сохранение уголка уникальной природной среды в крупном городе предполагает его максимально возможную изолированность от всех видов вредоносного техногенного воздействия – химического (от вредных газообразных выбросов и сбросов в поверхностный и подземный сток), физи-

ческого (термического, акустического, электромагнитного). При этом изолированность не должна препятствовать свободному сообщению зеленого массива с окружающими жилыми районами. В этом смысле оптимальным решением представляется встраивать границы ООПТ в рельеф, проводя их по гребням, приподнятым частям бровок относительно прибрежных пространств и пр.

Трансформация поверхностного стока в связи с перестройкой рельефа и развитием инженерных сетей. Естественный поверхностный сток с городских территорий в значительной степени видоизменен практически во всех крупных городах. Это выражается не только в изменении химического состава стоков, но и, например, в степени насыщения его механическими взвесями или в структуре водосборных бассейнов. Кроме того, меняется доленое и географическое соотношение поверхностного и подземного стока. На большинстве антропогенных поверхностей в городе – асфальтовых покрытиях, крышах зданий, мостовых и тротуарах – показатель коэффициента стока значительно выше, чем на естественных или аналогичных поверхностях.

Лишь 5% жидких осадков, выпавших на покрытие шоссейной дороги, не переходит в поверхностный сток [СП..., 2012], в то время как на газонах доля затрат осадков на просачивание в грунты, потребление растениями, испарение с поверхности может достигать 90%. В целом в плотно застроенных городах поверхностный сток выходит на первую роль в транспортировке жидких осадков, однако это способствует появлению или активизации эрозионных процессов в нижних частях водосборов. Решение этой проблемы заключается в оборудовании систем ливневой канализации, создании искусственных дренажных сетей, организованное и слаженное сооружение которых в некоторых крупных городах России (или их районах) до сих пор находится в зачаточном состоянии.

Плотность и общая длина коллекторов часто превышают аналогичные параметры водотоков на поверхности, например [Ministry..., 2015], объем стока иногда почти равен стоку рек и ручьев в городе (в тех случаях, когда сброс стоков канализации происходит уже вне городской черты). Способствует такой своеобразной структуре стока и забор воды на пищевые, коммунальные и промышленные нужды, организуемый, как правило, выше по течению на реках, дренирующих территорию города.

Долины небольших водотоков, а также балки и овраги в крупных городах чаще всего засыпаны грунтом, и прежде сконцентрированный сток рассеивается по смежным водосборам. Нетрудно назвать примеры таких масштабных трансформаций. Особенно хорошо иллюстрирует обсуждаемые явления г. Москва. «Речная сеть Москвы включает свыше 20 рек (вместе с постоянно текущими ручьями длиной более 1,5 км), на всем протяжении находящихся на поверхности, около 20 рек, частично заклю-

ченных в коллекторы (или трубы), и свыше 40 рек, целиком заключенных в коллекторы» [Москва..., 1997, с. 14]. Среди наиболее известных «коллекторных» водотоков Москвы – реки Пресня и Неглинная. Московский Кремль, площадка которого напоминает треугольник, некогда был защищен реками с двух сторон из трех: с юга – р. Москва, с запада и северо-запада – р. Неглинная. Когда оборонные функции рельефа местности перестали быть столь актуальны, долина Неглинной была отчасти выровнена засыпкой, верхние части высоких эрозионных уступов несколько срезаны, а водоток отведен в сооруженный специально канал, который впоследствии был перекрыт арками, Неглинная окончательно превратилась в подземную реку (отметим, что подземный рельеф городов – субрельеф – в значительной степени связан с рядом экологических аспектов жизни города и горожан, в том числе несет в себе опасность в связи с карстовыми и суффозионными просадками).

Не менее важную проблему представляет собой перестройка территориальной структуры водосборов. Подземные водопроводы могут совершенно менять ее, отбирая часть стока одного водосбора и отдавая другому, иногда даже на значительном удалении от первого. Наземные инженерные мероприятия также вносят в это свою лепту – на плоских поверхностях дорожно-уличной сети достаточно появления невысокого, но протяженного превышения для кардинальной смены направления стока. Даже малоразличимый гребень вдоль разделительной полосы автодорог с превышением несколько сантиметров относительно периферии проезжей части четко разграничивает сток. Лишь в случае обильных ливней, когда толщина слоя воды на покрытии дороги превышает высоту гребня, направление стока могут игнорировать нанорельеф.

Геоморфологические условия распространения шума в городе. Большой дискомфорт горожанам доставляет чрезмерное акустическое загрязнение – значительная громкость шумов и их неблагоприятный режим в течение суток (и с другой периодичностью). Так, в Москве более 3 млн человек проживают на территории со сверхнормативным уровнем шума [Попов, 2005]. Звук, в отличие от прямых солнечных лучей, распространяется во все стороны от источника и способен огибать препятствия, в том числе формы рельефа. Однако нельзя сказать, что строение земной поверхности не регулирует распространение звука над ней.

При определенных условиях (подходящее положение источника звука в рельефе) может наблюдаться интерференция волн, либо, наоборот, их рассеяние; часть волн отражается от склонов положительных форм рельефа (и рельефоидов), и уже поэтому рельеф способствует снижению уровня шума.

И.М. Сениюшенкова [2011] изучала экологическую роль балок Верхний Судок и Нижний Судок в г. Брянск, в том числе их роль как ограничителей шума от близлежащей автостреды. Замеры выяви-

ли функциональную связь между положением источника шума (над балкой, на мосту через нее), расположением в плане от источника шума, превышением положения источника над положением наблюдателя, с одной стороны, и эквивалентным уровнем шума – с другой.

Американские ученые для территории так называемого двойного города (TwinCity) – агломерации городов Миннеаполис и Сент-Пол [Nega et al., 2013] выполнили исследование для обоснования размещения ООПТ. Тыловая часть зоны акустического эффекта от магистрали отсекалась по влиянию шума от нее на поведение птиц. Используя такой своеобразный маркер, они пришли к следующим выводам: характер рельефа существенно влияет на распределение шума – для относительно выровненных территорий интенсивность распространения шума более чем в 2 раза превышает интенсивность его распространения на пересеченной местности. Вместе с тем существенный вклад в уменьшение шумового эффекта вносит застройка, а также массивы лиственной растительности.

Кроме того, на распространение звука рельеф влияет и косвенно, часто через характер подстилающей поверхности (через морфолитогенез), которая по-разному отражает и поглощает звук.

В завершение можно сформулировать понятие «геоморфологическая комфортность» проживания – по аналогии с «комфортностью ландшафта», определением, данным Н.Ф. Реймерсом [Реймерс, 1990].

Выводы:

- рельеф городских территорий различным образом влияет на параметры городской среды, определяющие ее качество и, соответственно, на уровень комфортности проживания в городах;

- опасные и неблагоприятные геоморфологические процессы влияют на комфортность проживания в городах за счет осознания населением возможной угрозы их жизни и здоровью, а также за счет непосредственного воздействия этих процессов на людей и их собственность;

- степень расчленения и ориентировка крупных форм рельефа вносят коррективы в свето-теневую рисунок городских территорий. Вклад рельефа может достигать нескольких процентов и даже нескольких десятков процентов от номинальных значений (освещенность кварталов застройки, расположенных на субгоризонтальных поверхностях);

- орография рельефа и ориентировка застройки отчасти определяют ветровой режим территории на локальном уровне кварталов и улиц. Эти параметры в совокупности с частотой и повторяемостью характерных ветров обеспечивают застойность или, напротив, чрезмерную проветриваемость городских территорий;

- изменения рельефа и характера подстилающей поверхности обеспечивают перераспределение стока атмосферных осадков. Часто такие изменения носят непредсказуемый и крайне неблагоприятный характер, сказываются на активизации эрозионных, просадочных и других процессов;

– топография местности, использование разнотипных покрытий (дерево, бетон, асфальт), «встроенность» источников шума в рельеф контролируют акустическое загрязнение кварталов;

– геолого-геоморфологические условия способствуют выбору места для отдельных элементов экологического каркаса и, соответственно, формированию его в целом;

Благодарности. Исследование частично выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-31010 мол_а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреев С.С. Климатическая комфортность территории на примере городов Ростов-на-Дону, Сочи // Intern. Jo. Applied and Fundamental Res. 2013. № 9. Р. 96–97.

Блази В. Справочник проектировщика. Строительная физика. М.: Техносфера, 2005. 536 с.

Ветроэнергетика. М.: Энергоатомиздат, 1982. 272 с.

Глебова И.С. Анализ комфортности проживания в крупнейшем городе и возможности ее повышения (на примере г. Казани) // Уч. Зап. Казанского университета. Гуманитарные науки. 2011. Т. 153, кн. 4. С. 198–210.

Город-экосистема. М.: ИГРАН, 1996. 336 с.

Добрынина И.В., Акимов Л.М., Куропан С.А. Медико-географическая оценка климатической комфортности территории Воронежской области // Вест. ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2013. № 1. С. 120–128.

Епринцев С.А., Архипова О.Е. Экологическая комфортность урбанизированной территории Адлерского района города Сочи в условиях интенсивного антропогенного прессинга // Вестн. ВГУ. Сер. География. Геоэкология. 2012. № 2. С. 100–104.

Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 170 с.

Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. М.: Недра, 1978. 264 с.

Коффа Г.Л., Петренко С.И., Лихачева Э.А., Котлов В.Ф. Очерки по геоэкологии и инженерной геологии Московского столичного региона. М.: РЭФИА, 1997. 175 с.

Лифанов В.А., Гутников А.С., Скотченко А.С. Моделирование аэрации в городе. М.: Диалог МГУ, 1998. 134 с.

Лопатина Е.Б., Назаревский О.Р. Оценка природных условий жизни населения. М.: Наука, 1972. 148 с.

Лукашов А.А. Учет геоморфологического фактора при обосновании границ и функциональном зонировании ООПТ // Проблемы устойчивого развития регионов Республики Беларусь и сопредельных стран: Сб. науч. статей Второй Междунар. науч.-практ. конф. Могилев, МГУ имени А.А. Кулешова, 2012. С. 66–70.

Методические рекомендации и мероприятия по защите от шума жилой застройки с учетом сложного рельефа местности. Тбилиси: ТбилЗНИИЭП, 1981. 70 с.

Москва: Энциклопедия. М.: Большая Росс. энциклопедия, 1997. 978 с.

Москва: Геология и город. М.: Московские учебники и Картолитография, 1997. 400 с.

Опасные экзогенные процессы. М.: ГЕОС, 1999. 290 с.

Попов М.А. Инженерная защита окружающей среды на территории города. М.: МГУП, 2005. 231 с.

Реймерс Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.

Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология). М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. 640 с.

Рэттер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. М.: Стройиздат, 1984. 294 с.

Салякин И.Е., Краснощеков А.Н., Трифонова Т.А. Оценка комфортности проживания населения в регионе (на примере

– геоморфологическую комфортность проживания можно определить следующим образом: свойство рельефа обеспечивать у человека объективное состояние и/или субъективное чувство спокойствия и удобства в текущей геоморфологической обстановке через ее воздействие на его общее физическое и психологическое состояние, вид деятельности, эстетические предпочтения.

Владимирской области) // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2010. Т. 12, № 1(7). С. 1880–1883.

Самсонова С.Ю. Эколого-геоморфологический анализ в обосновании управления городскими особо охраняемыми природными территориями (на примере природного заказника «Воробьевы горы», г. Москва) // Вестн. РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. 2013. № 2. С. 93–99.

Сенюшенкова И.М. Теория формирования и методы развития урбололандшафтов на овражно-балочном рельефе: Автореф. докт. дисс. М., 2011.

Сенюшенкова И.М. Анализ методов борьбы с транспортным шумом в городах на пересеченном рельефе // Вестн. МГСУ. 2008. № 4. С. 134–138.

Сенюшенкова И.М. Акустические особенности распространения шума в пониженных формах рельефа местности // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 5. С. 91–99.

Серебровский Ф.Л. Аэрация жилой застройки. М.: Стройиздат, 1971. 112 с.

Симонов Ю.Г., Кружалин В.И. Инженерная геоморфология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 208 с.

СП 42.13330.2011. Свод правил. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* (утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010, № 820).

СП 32.13330.2012. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (утв. Приказом Минрегиона РФ от 29.12.2011, № 635/11).

Стульишанку В.О. Оценка экологической и социальной комфортности проживания населения на локальном уровне: Автореф. канд. дисс. Калуга, 2006. 21 с.

Тваровский М. Солнце в архитектуре. М.: Стройиздат, 1977. 288 с.

Харченко С.В. Рельеф как фактор инсоляции на городских территориях // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 4. С. 30–35.

Шиловецова О.А. Световые ресурсы Москвы // Альтернативная энергетика и экология. 2013. Т. 6, № 2. С. 88–96.

Badesku V. Modeling solar radiation at the Earth surface. Berlin: Springer, 2008. 517 p.

Brookes Ch. Local Climates of Worcester, Massachusetts, as a Factor in City Zoning // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 1923. N 4. P. 83–86.

Commoner B. The closing circle: nature, man, and technology. N.Y.: Knopf, 1971. 326 p.

Lam Y.W. On the modelling of the effect of ground terrain profile in environmental noise calculations // Appl. Acoustic. 1993. N 42. P. 99–123.

Ministry of Environment – Sewage Statistics [Электронный ресурс]. URL: <http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=310> (дата обращения: 19.03.2015).

Nega T., Yaffe N., Stewart N., Fu W.-H. The impact of road traffic noise on urban protected areas: a landscape modeling approach // Transp. Res. Pt D. 2013. N 23. P. 98–104.

Rasmussen K.B. On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors // J. Sound and Vibration. 1985. N 98(1). P. 35–44.

Rasmussen K.B. Propagation of road traffic noise over level terrain // *J. Sound and Vibration*. 1982. N 82(1). P. 51–61.

Samsonov T.E., Konstantinov P.I., Varentsov M.I. Object-oriented approach to urban canyon analysis and its applications in meteorological modeling // *Urban Climate*. 2015. N 13. P. 122–139.

Van Renterghem T., Botteldooren D., Lercher P. Comparison of measurements and predictions of sound propagation in a valley-slope configuration in an inhomogeneous atmosphere // *J. Acoustic Soc. Amer.* 2007. N 121(5). P. 2522–2534.

Поступила в редакцию 30.11.2015

Принята к публикации 11.12.2015

S.I. Bolysov¹, S.V. Kharchenko²

URBAN TOPOGRAPHY AS A FACTOR OF COMFORTABLE LIVING OF THE POPULATION

The article aims to show the role of urban terrain in the living comfort at cities. Relief controls the formation of modern urban landscapes, as well as their past and future state. The transformation of the surface of urban sites becomes a cause of changes of some physical features of environment. We have studied the aspects of relief impact on the environment which have direct influences on people's comfort. These aspects are geological and geomorphological hazards; influence of topography on the solar exposure of residential houses, wind distribution in atmospheric boundary layer, transformation of the run-off; terrain effect on noise propagation and the placing of the elements of ecological framework.

The paper is based on the different data types. Firstly, it is field data from several cities, i.e. Moscow, Voronezh, Sochi, Kursk, Tambov, Belgorod and other. Secondly, it is published data of some geomorphological and ecological investigations in Russian and foreign cities. Topographical information was obtained from SRTM-data, large-scale maps and plans, digital elevation models created on Ikonos stereo-images. Building and urban zoning information was obtained from situational plans, OpenStreetMap data, master-plans and schemes of urban planning. Materials on urban climate were obtained in the archives of the Russian Bureau of Hydrology and Meteorology.

Geomorphological hazards affect the life comfort only in the cities located in active geomorphodynamical areas. Value of topography dissection has effect on the duration of solar exposure of the residential houses and blocks. The duration of solar exposure depends on the gradient and aspect of slopes. Orientation of landforms determines the airing of urban areas in connection to the wind regime. Transformation of urban terrain and underlying surface determines changes of drainage pattern and geochemical flows. The topography of landscapes and its position in relation to noise sources influence the conditions of sound propagation and noise pollution in the air. Geological and geomorphological features of urban area control the formation of ecological frameworks in the cities.

The definition of «geomorphological comfortability» is suggested. Geomorphological comfortability of life is an attribute of relief to create the real condition and/or subjective sense of calm and convenience in the current geomorphological situation through the influence of relief on the general physical and psychical conditions of a person, type of human activities and aesthetic preferences.

Key words: urban topography, comfortability of life, solar exposure, wind condition, noise pollution, drainage, ecological framework.

Acknowledgements. The research was in part financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No 14-05-31010 мол_a).

REFERENCES

Andreev S.S. Klimaticheskaja komfortnost' territorii na primere gorodov Rostov-na-Donu, Sochi [The climatic comfortability on the examples of Rostov-na-Donu and Sochi], Intern. J. Appl. and Fundamental res. 2013, no 9, pp. 96–97 (in Russian).

Badesku V. Modeling solar radiation at the Earth surface. Berlin: Springer, 2008. 517 p.

Blazi V. Spravochnik proektirovshhika. Stroitel'naja fizika. [Handbook of designer. The building physics], Moscow, Tehnosfera, 2005, 536 p. (in Russian).

Brookes Ch. Local Climates of Worcester, Massachusetts, as a Factor in City Zoning // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 1923. N 4. P. 83–86.

Commoner B. The closing circle: nature, man, and technology. N.Y.: Knopf, 1971. 326 p.

Dobrynina I.V., Akimov L.M., Kurolap S.A. Mediko-geograficheskaja ocenka klimaticheskoy komfortnosti territorii Voronezhskoj oblasti [Medical-geographical assessment of climatic comfortability in Voronezh region], *Vestnik VGU, serija Geografija. Geojekologija*, 2013, no 1, pp. 120–128 (in Russian).

Eprincev S.A., Arhipova O.E. Jekologicheskaja komfortnost' urbanizirovannoj territorii Adlerskogo rajona goroda Sochi v uslovijah intensivnogo antropogennogo pressinga [Environmental comfortability of urban area in Adler district of Sochi under intense anthropogenic pressure], *Vestnik VGU, serija Geografija. Geojekologija*, 2012, no 2, pp. 100–104 (in Russian).

Glebova I.S. Analiz komfortnosti prozhivaniya v krupnejšem gorode i vozmozhnosti ee povysheniya (na primere g. Kazani) [Analysis of life comfortability in a city and possibility of its increasing (at the example of Kazan)], *Uchenye zapiski Kazanskogo*

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sibol1954@bk.ru

² Kazan (Cis-Volga) Federal University, Institute of Ecology and Nature Management, Department of Landscape Ecology, Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: xar4enkkoff@rambler.ru

universiteta. Gumanitarnye nauki, 2011, T. 153, kn. 4, pp. 198–210 (in Russian).

Gorod-jekosistema [City-ecosystem], Moscow, IGRAN, 1996, 336 p. (in Russian).

Kharchenko S.V. Rel'ef kak faktor insoljatsii na gorodskih territorijah [Relief as a factor of insolation on urban areas], Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografija, 2013, no 4, pp. 30–35 (in Russian).

Koff G.L., Petrenko S.I., Lihacheva Je.A., Kotlov V.F. Oчерki po geojekologii i inzhenernoj geologii Moskovskogo stolichnogo regiona [Essays on the environmental and engineering geology of the Moscow metropolitan region.], Moscow, RJeFIA, 1997, 175 p. (in Russian).

Kondrat'ev K.Ja., Pivovarova Z.I., Fedorova M.P. Radiacionnyj rezhim naklonnyh poverhnostej [Radiation regime of inclined surfaces], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1978, 170 p. (in Russian).

Kotlov V.F. Izmenenie geologicheskoy sredy pod vlijaniem dejatel'nosti cheloveka [Change the geological environment under the influence of human activities], Moscow, Nedra, 1978, 264 p. (in Russian).

Lam Y.W. On the modelling of the effect of ground terrain profile in environmental noise calculations // Appl. Acoustic. 1993. N 42. P. 99–123.

Lifanov V.A., Gutnikov A.S., Skotchenko A.S. Modelirovanie ajeratsii v gorode [Simulation of aeration in the city], Moscow, Dialog MGU, 1998, 134 p. (in Russian).

Lopatina E.B., Nazarevskiy O.R. Otsenka prirodnykh usloviy zhizni naseleniya. [Assessment of natural living conditions], Moscow, Nauka, 1972, 148 p. (in Russian).

Lukashov A.A. Uchet geomorfologicheskogo faktora pri obosnovanii granic i funktsional'nom zonirovanii OOPT [Accounting geomorphological factor in justifying the boundaries and functional zoning of PAs], Problemy ustojchivogo razvitiya regionov Respubliki Belarus' i sopredel'nyh stran: sbornik nauchnykh statej vtoroj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Mogilev, MGU im. A.A. Kuleshova, 2012, pp. 66–70 (in Russian).

Metodicheskie rekomendatsii i meroprijatija po zashhite ot shuma zhiloy zastrojki s uchetom slozhnogo rel'efa mestnosti [Guidelines and measures for noise protection of residential areas accounting the complex terrain], Tbilisi, TbilZNIJeP, 1981, 70 p. (in Russian).

Ministry of Environment – Sewage Statistics [Elektronnyj resurs]. URL: <http://eng.me.go.kr/eng/web/index.do?menuId=310> (Accessed: 19.03.2015).

Moskva. Jenciklopedija [Moscow. Encyclopedia], Moscow, Bol'shaja Rossijskaja jenciklopedija, 1997, 978 p. (in Russian).

Moskva: geologija i gorod [Moscow: geology and city], Moscow, Moskovskie uchebniki i Kartolitografija, 1997, 400 p. (in Russian).

Nega T., Yaffe N., Stewart N., Fu W.-H. The impact of road traffic noise on urban protected areas: a landscape modeling approach // Transport. Res. Pt D. 2013. N 23. P. 98–104.

Opasnye jezkogennye process [Dangerous exogenous processes], Moscow, GEOS, 1999, 290 p. (in Russian).

Popov M.A. Inzhenernaja zashhita okruzhajushhej sredy na territorii goroda [Environmental engineering in the city], Moscow, MGUP, 2005. 231 p. (in Russian).

Rasmussen K.B. On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors // J. Sound and Vibration. 1985. N 98(1). P. 35–44.

Rasmussen K.B. Propagation of road traffic noise over level terrain // J. Sound and Vibration. 1982. N 82(1). P. 51–61.

Rejmers N.F. Prirodopol'zovanie: Slovar'-spravochnik [The Nature Use: Glossary Directory], Moscow, Mysl' (Publ.), 1990, 637 p. (in Russian).

Rel'ef sredy zhizni cheloveka (jekologicheskaja geomorfologija) [Relief of human life environment (environmental geomorphology)], Moscow, Media-PRESS, 2002, 640 p. (in Russian).

Rjeter Je.I. Arhitekturno-stroitel'naja ajerodinamika [Building aerodynamics], Moscow, Strojizdat, 1984, 294 p. (in Russian).

Saljakin I.E., Krasnoshhekov A.N., Trifonova T.A. Ocenka komfortnosti prozhivaniya naseleniya v regione (na primere Vladimirskoj oblasti) [An assessment of life comfortability of a region (at the example of Vladimir region)], Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN, 2010, t. 12, no 1(7), pp. 1880–1883 (in Russian).

Samsonova S.Ju. Jekologo-geomorfologicheskij analiz v obosnovanii upravlenija gorodskimi osobo ohranjaemyi prirodnyimi territorijami (na primere prirodnogo zakaznika «Vorob'evy gory», g. Moskva) [Ecogeomorphological analysis in the management of urban protected areas (at the example of the nature reserve «Vorob'evy gory», Moscow)], Vestnik RUDN, serija «Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti», 2013, no 2, pp. 93–99 (in Russian).

Samsonov T.E., Konstantinov P.I., Varentsov M.I. Object-oriented approach to urban canyon analysis and its applications in meteorological modeling // Urban Climate. 2015. N 13. P. 122–139.

Senjushenkova I.M. Teorija formirovaniya i metody razvitiya urbolandschaftov na ovrazhno-balochnom rel'efe [Theory of formation and development methods for urban landscapes on ravine terrain], Avtoref. diss. dokt., Moskva, 2011 (in Russian).

Senjushenkova I.M. Analiz metodov bor'by s transportnym shumom v gorodah na peresechnom rel'efe [Analysis of methods to reduce of traffic noise in urban areas on the dissected terrain], Vestnik MGSU, 2008, no 4, pp. 134–138 (in Russian).

Senjushenkova I.M. Akusticheskie osobennosti rasprostraneniya shuma v ponizhennykh formah rel'efa mestnosti [The acoustic features of noise propagation in the negative landforms], Izvestija vysshih uchebnykh zavedenij, Stroitel'stvo, 2010, no 5, pp. 91–99 (in Russian).

Serebrovskij F.L. Ajeracija zhiloy zastrojki [Aeration of residential areas], Moscow, Strojizdat, 1971, 112 p. (in Russian).

Simonov Ju.G., Kruzhalin V.I. Inzhenernaja geomorfologija [Engineering geomorphology], Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1993, 208 p. (in Russian).

Shilovtseva O.A. Svetovye resursy Moskvy [Light resources of Moscow] // Alternativnaya energetika i ecologiya, 2013, Vol.6, no 2, pp. 88–96.

SP 42.13330.2011. Svod pravil. Gradostroitel'stvo. Planirovka i zastrojka gorodskih i sel'skih poselenij. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.07.01-89* [Set of rules. City planning and construction of urban and rural settlements. The updated edition of SNiP 2.07.01-89] (utv. Prikazom Minregiona RF ot 28.12.2010 N 820) (in Russian).

SP 32.13330.2012. Svod pravil. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.04.03-85 [Set of rules. Sewerage. Outdoor drainage networks and constructions. The updated edition of SNiP 2.04.03-85] (utv. Prikazom Minregiona RF ot 29.12.2011 N 635/11) (in Russian).

Stulyshapku V.O. Ocenka jekologicheskoy i social'noj komfortnosti prozhivaniya naseleniya na lokal'nom urovne [Assessment of environmental and social comfortability of living at the local scale], Avtoref. kand. diss., Kaluga, 2006, 21 p. (in Russian).

Tvarovskij M. Solnce v arhitekture [The sun in the architecture], Moscow, Strojizdat, 1977, 288 p. (in Russian).

Van Renterghem T., Botteldooren D., Lercher P. Comparison of measurements and predictions of sound propagation in a valley-slope configuration in an inhomogeneous atmosphere // J. Acoustic Soc. Amer. 2007. N 121 (5). P. 2522–2534.

Vetrojenergetika [Wind energy], Moscow, Jenergoatomizdat, 1982, 272 p. (in Russian).

Received 30.11.2015

Accepted 11.12.2015

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 528.946(470)

В.М. Яблоков¹, В.С. Тикунов²

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ АТЛАСНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ИНТЕРНЕТА ДЛЯ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ

Изложено авторское видение концепции веб-атласной информационной системы (АИС). Аналогично классическим бумажным атласам АИС представляет пространственную информацию в предустановленных темах и экстендах. АИС представляют информацию в картографическом виде, в том числе с использованием мультимедиа (фото, видео, аудио). Пользователь АИС может влиять на содержание, внешний вид, параметры визуализации путем простых манипуляций, т.е. проводить так называемую кастомизацию. Система может также позволить пользователю отображать и анализировать собственную геоинформацию. АИС предлагает интерфейс, понятный в том числе неопытным пользователям, и упрощает процесс взаимодействия со сложными механизмами обработки данных. Веб-АИС также можно разделить на две группы в зависимости от представления: во-первых, отдельное приложение с функциями обновления и запросами к серверным базам пространственных и непространственных данных по необходимости, т.е. в большей степени автономное настольное приложение; во-вторых, веб-приложение, которое полностью находится на сервере и доступно только онлайн.

У двух способов есть свои плюсы и минусы, в первом варианте приложение может работать в любом случае, но с ограниченной функциональностью, при этом оно будет сложным для проектирования и соответственно для настройки, второй вариант полностью зависит от соединения с сетью, но при этом он более гибкий для настройки и работы с данными. В наши дни, когда всемирная паутина проникает во все уголки земного шара и качественная связь доступна практически везде, второй способ предпочтительнее из-за легкости настройки и больших возможностей кастомизации. Развитие языков программирования, веб-серверных архитектур позволяет с легкостью решать вопросы имплементации ГИС в мультимедийные структуры и наоборот, тем самым реализуя концепцию веб-АИС. На основе представленных концепций развития АИС и АИС на базе интернета предложена концепция веб-АИС для создания моделей устойчивого развития территорий.

Ключевые слова: атласные информационные системы, мультимедийные атласы, веб-системы, модели устойчивого развития территорий.

Введение. Атласные информационные системы (АИС) – новая тема в картографо-геоинформационной литературе, они представляют собой синтез достижений в области геоинформационных технологий, картографии и мультимедиа. В работе [Ormeling, 1996] дано первое определение АИС: компьютеризированная геоинформационная система, связанная с конкретной территорией в сочетании с тематической частью, где доминирующую роль играют карты.

Обзор литературы в области проектирования АИС, а также мультимедийных, веб-геоинформационных систем показал разнообразие подходов и концепций в этой области. Практически все авторы отмечают стремительное расширение сферы применения ГИС, а также экспоненциальный рост вовлечения новых пользователей. С течением времени меняются представления о роли геоинформационных приложений, а также о целях и задачах, которые ставит сообщество пользователей, и здесь немаловажная роль отводится АИС.

Материалы и методы исследования. Геоинформационные приложения становятся все удобнее для использования, но для полноценной работы по-прежнему необходимы серьезная техническая подготовка и экспертные знания. В то же время существуют мультимедийные технологии, цель которых – создание дружественной визуальной среды, в том числе для формирования качественных картографических представлений. С мультимедийными картами легко работать, но им не хватает функций пространственного анализа. Как указано в работе [Schneider, 1999], существует три подхода к интеграции ГИС с мультимедиа. Первый подход «мультимедиа и ГИС» [Bill, 1998; Craglia, Raper, 1995] демонстрирует расширение коммерческого программного обеспечения ГИС дополнительными мультимедийными элементами. Существенное преимущество этого подхода заключается в том, что функции ГИС остаются неизменными, в том числе система построения баз пространственных данных [Blat et al.,

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

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория комплексного картографирования, заведующий, докт. геогр. н.; *e-mail:* tikunov@geogr.msu.ru

1995; Moreno-Sanchez et al., 1997; Olenderek et al., 1996]. Более того, некоторые национальные мультимедийные атласы также основаны на этом подходе, например Атлас Швеции [Ögren, 1997; Wastenson, Arnberg, 1997].

Второй подход – «ГИС в мультимедиа» способствует развитию высоких стандартов мультимедийных атласов. В рамках этого подхода интегрируется функциональность ГИС с мультимедийными системами, при этом графический пользовательский интерфейс может быть разработан независимо от ГИС. Кроме того, картографические и ГИС-функции могут быть индивидуально адаптированы для удовлетворения конкретных потребностей обычных пользователей мультимедийного атласа. Несмотря на эти важные преимущества, существует несколько недостатков. Во-первых, этот подход очень трудоемкий; во-вторых, он не поддерживает структуры и форматы пространственных данных, которые в равной степени обеспечивают высокое картографическое качество и функциональность ГИС. Большинство мультимедийных атласов, например национальные атласы Австрии [Kelnhofer et al., 1999], Германии [Lambrecht, 1999] и США [Wright, 1999], предлагают высокое качество визуализации, но им не хватает такой функции ГИС, которая выходила бы за рамки простых измерений и запросов к базе данных. Чтобы преодолеть эти недостатки, в работе [Bär, Sieber, 1999] предложен третий подход, специально предназначенный для разработки мультимедийных атласов, – «ГИС, картография и мультимедиа». Новая структура позволяет достигнуть не только оптимальной картографической визуализации, но также предполагает функциональность географических информационных систем. Этот подход реализован при разработке первой редакции Атласа Швейцарии [2000]. По сути, такой подход полностью согласуется с концепцией АИС, предложенной в [Ormeling, 1995, 1996].

По уровню интерактивности и аналитическим возможностям [Краак, Ормелинг, 2005; Kraak, 1996; Ramos, 2005; Elzakker, 1993] выделяют три типа АИС:

- визуализирующие – для печати, а также статичные АИС без интерактивных функций;
- интерактивные – с возможностью генерации карт и операциями над слоями (изменение стиля, цвета, метода классификации и др.);
- аналитические – с возможностями ГИС, в том числе, осуществлять запросы к базе данных, редактировать, анализировать и визуализировать новые данные;

В работе [Тикунов, 2004] отмечается, что по функциональным возможностям АИС относятся к высшему классу электронных атласов и применяются в виде систем поддержки принятия решений, разработки сценариев развития территории и др. Они имеют развитые моделирующие функции, могут интегрировать экспертные системы и оформляться как полномасштабные мультимедийные конструкции. АИС позволяют визуализировать геопространственные данные и проводить разнообразный ана-

лиз, вплоть до разработки возможных вариантов развития таких комплексных систем, как природа–общество–хозяйство. В АИС реализован ряд принципов, в том числе:

когнитивность – в АИС сюжеты разного масштаба уровня соединяются ассоциативными (смысловыми) связями, куда входят *мультимасштабность* и *мультигенерализованность*, учитывающие иерархическую взаимосвязь различных территориальных уровней АИС и заключающиеся не только в преемственности масштабов, но и содержания;

блочность – АИС состоит из ряда тематических блоков, которые можно дополнять или видоизменять, не меняя структуры всей системы;

эволюционность – АИС реализует возможность ретроспективного анализа территории или явления, изучения динамики и тенденций изменения;

многовариантность – АИС представляет собой экспертную систему, которая предлагает конечному пользователю ряд сценариев развития интересующей территории или явления;

интеллектуальность – АИС обладает возможностями для комплексного многоаспектного моделирования того или иного явления в зависимости от групп внешних и внутренних факторов с применением систем искусственного интеллекта, нейронных сетей и алгоритмов для решения нечетких задач;

мультимедийность – АИС представляет собой взаимоувязанный набор пространственных и мультимедийных данных, которые облегчают восприятие и в конечном счете принятие решений.

В работе [Hurni, 2008] дано определение мультимедийной атласной информационной системы (МАИС) и описаны ее основные функции. МАИС – систематизированный целевой набор пространственных данных в электронном виде с поддержкой принятия решений, ориентированной на пользователя. Как и в традиционном атласе, МАИС представляет собой систематическое собрание географических карт, органически увязанных между собой, выполненных по общей программе как целостное произведение. Доступ к картографическим произведениям в МАИС предоставляется посредством пользовательского интерфейса, имеющего интерактивные функции, географическую и тематическую навигацию. МАИС позволяет делать запросы, проводить пространственный анализ и визуализировать объекты в 2-, 2,5- и 3-мерном виде. МАИС, в отличие от ГИС, в первую очередь представляет собой картографическое произведение с картами, ориентированными на пользователя, а также с адаптацией сложных аналитических функций ГИС для решения конкретных задач. МАИС имеет мультимедийную составляющую в виде аудио-, видео-, фотоинформации, анимации, диаграмм и теста. МАИС – оболочка, которая поставляется как автономная система на электронных носителях или все чаще, особенно в последнее время, через интернет в виде веб-картографических информационных систем. Основные функции МАИС представлены в таблице [Hurni, 2008].

Основные функции МАИС, по [Hurni, 2008]

Группа функций	Подгруппа функций	Функция
Основные		Выбор режима просмотра, выбор языка, импорт/экспорт файлов, печать, закладки, отмена/повтор операции, подсказки, настройки, справка, состояние системы, сворачивание, выход
Навигационные	Пространственная навигация	Выбор области, адресный поиск, масштабирование, скроллинг, перемещение, поворот, определение положения по координатам, выбор линии/угла наблюдения, проложение маршрута
	Тематическая навигация	Выбор темы, индексирование страниц по темам, переходы по темам
	Навигация во времени	Выбор временного промежутка, позиция на линии времени, ретроспектива, анимация изменений явления во времени
Познавательные	Объяснение	Объяснительные тексты, виртуальные туры, графики, аудио-, видеоизображения, гиперссылки на интернет-источники
	Самопроверка знаний	Игры, тесты
Картографические	Управление картой	Включение/отключение слоев карты, включение/выключение категорий в легенде карты, изменение отображений, изменение картографической проекции
	Выделение	Отметки на карте, маркирование
	Анализ данных	Изменение метода классификации, модификация параметров состояния (освещение, яркость), сравнение карт, отбор данных
Геоинформационные	Пространственные и объектно-ориентированные запросы	Пространственный запрос по координатам, области, расстоянию; запрос по пересечениям и другими элементами топологии
	Тематические запросы	Запрос по атрибутам, доступ к статистической базе данных
	Аналитические функции	Буферизация, операции оверлея слоев, анализ поверхности

В эпоху развития информационных технологий, в том числе интернета, ГИС, мультимедиа и их сочетания находят отражение в веб-пространстве. По сути, третье направление, т.е. «ГИС, картография и мультимедиа», но уже в виде веб-приложения является реализацией концепции веб-атласной информационной системы (веб-АИС).

Результаты исследований и их обсуждение.

АИС, аналогично классическим бумажным атласам, представляет пространственные данные в представленных темах и масштабах. АИС представляют требуемые сведения в картографическом виде, в том числе с использованием мультимедиа (фото, видео, аудио). Пользователь АИС может влиять на содержание, внешний вид, параметры визуализации путем простых манипуляций, т.е. проводить индивидуальную настройку. Система может также позволить пользователю отображать и анализировать собственные данные. АИС предлагает интерфейс, понятный неопытным пользователям, и упрощает процесс взаимодействия со сложными механизмами обработки данных. Веб-АИС также можно разделить на две группы в зависимости от представления: 1) отдельное приложение с функциями обновления и запросами к серверным базам пространственных и непространственных данных по необходимости, т.е. в большей степени автономное настольное приложение; 2) веб-приложение, которое полностью находится на сервере и доступно только онлайн.

У двух способов есть свои плюсы и минусы, в первом варианте приложение может работать в любом случае, но с ограниченной функциональностью, но при этом оно будет сложным для проектирования и, соответственно, для настройки, второй вариант полностью зависит от соединения с сетью, при этом он более гибкий для настройки и работы с данными. При доступности качественной связи второй способ предпочтительнее из-за легкости настройки и больших возможностей индивидуальной настройки. Развитие языков программирования, веб-серверных архитектур позволяет с легкостью решать вопросы применения ГИС в мультимедийных структурах и наоборот тем самым реализуя концепцию веб-АИС.

АИС на базе интернета, как правило, следует классической клиент-серверной парадигме. Также отметим принцип модульности построения, который описан в работе [Jenny et al., [2006]. Модульность позволяет настраивать клиентское программное обеспечение путем интеграции только необходимых функциональных групп, что дает несколько преимуществ:

- 1) размер клиентского программного обеспечения сводится к минимуму, что сокращает время загрузки;
- 2) пользовательский интерфейс содержит только необходимые для работы элементы, исключая лишние;

3) модульность позволяет проектировать специализированные приложения в режиме реального времени с целью получения «индивидуальной» веб-АИС.

Для проектирования модульных веб-АИС используется кросс-платформенный язык JavaScript, для которого в настоящее время существует множество доступных библиотек, в том числе картографических.

На основе представленных концепций развития АИС, в том числе на базе интернет-технологий, нами предложена концепция веб-АИС для экологически сбалансированного развития территорий.

Веб-АИС – сложная система, а ее разработчик – лицо или группа лиц, обладающих навыками проектирования и администрирования интегрированных баз геоданных, настройки СУБД, веб-дизайна, а также работы в геоинформационном программном обеспечении.

Проектирование веб-АИС можно разделить на следующие этапы:

1) инвентаризация – сбор, подготовка и предобработка пространственных и статистических данных;

2) разработка инструментов геоанализа на базе геоинформационного ПО;

3) разработка картографического оформления проекта;

4) публикация веб-сервисов ГИС;

5) создание специальных веб-приложений;

6) веб-дизайн портала АИС;

7) тестирование веб-АИС.

Логическая структура реализации веб-АИС представлена на рис. 1.

Интегрированная база геоданных необходима для объединения разнородной пространственной и

статистической информации, а также метаданных из различных источников. Для целей принятия управленческих решений в области обеспечения экологически сбалансированного развития территорий целесообразно наполнять базу пространственных данных следующей пространственной и связанной с ней статистической информацией:

компоненты природной среды: рельеф, почвенный и растительный покров, животный мир, климат, водные ресурсы, опасные природные процессы, ландшафты и экосистемы, антропогенная трансформация ПТК;

инфраструктура: транспортная (дороги, авиа- и водные маршруты), рекреационная (туристические тропы, стоянки, аншлаги, смотровые площадки), промышленная (промышленные объекты);

административное деление, в том числе границы населенных пунктов и их характеристики;

землепользование, в том числе экологический каркас региона – сеть местных, региональных и федеральных ООПТ;

ареалы обитания видов флоры и фауны, занесенных в Красные книги;

памятники природы, археологии и культуры;

данные дистанционного зондирования, в том числе космо- и аэрофотоснимки;

архивные геопривязанные картографические материалы.

Кроме указанных категорий данных целесообразно использовать готовые веб-приложения – готовые мозаики космоснимков, кадастровые карты и т.п.

Метаданные необходимы для выполнения поиска, оценки качества данных, определения их соответствия требованиям. Необходимый и достаточный набор метаданных включает информацию о про-

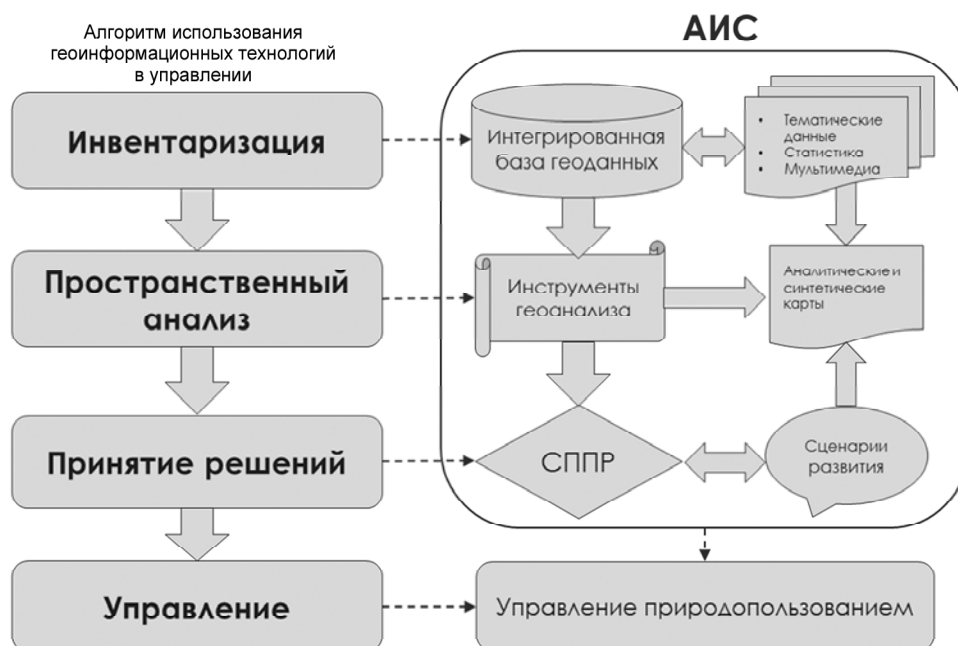


Рис. 1. Логическая схема АИС

Fig. 1. Logical scheme of AIS

странственно-временных характеристиках пространственных данных, их качестве, обновлении и авторах. С точки зрения АИС метаданные больше нужны не для оценки качества, так как данные заранее подготовлены для работы, а для общего представления об актуальности, авторстве и ограничениях использования.

Веб-АИС построена на основе клиент-серверной архитектуры и представлена следующими элементами (рис. 2).

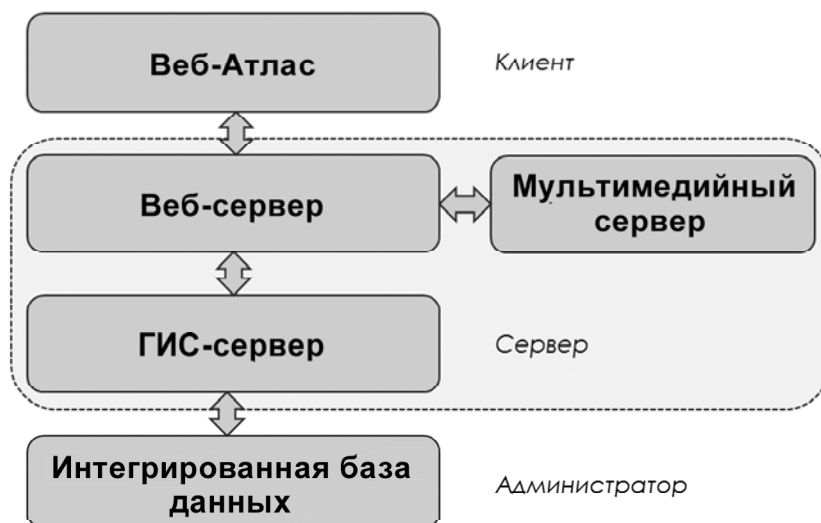


Рис.2. Клиент-серверная архитектура веб-АИС

Fig. 2. Client-server architecture of web-AIS

Элементы, относящиеся к клиенту, – собственно браузер и интернет-портал веб-атласа, который подгружает необходимые элементы с веб-картографического и мультимедийного сервера. Веб-картографический сервер в свою очередь связан с ГИС-сервером, который служит распределителем пространственных данных. Пространственные данные на ГИС-сервер поставляются посредством настольных ГИС-приложений и другого обеспечения через системы управления базами данных, которые администрируются экспертами.

Структура веб-АИС отражает три направления работы: визуализацию, анализ и принятие решений.

Визуализация носит функции обычного картографического произведения с интерактивными элементами, а также с базовыми картометрическими возможностями применения геоинформационных технологий, в том числе измерение расстояний, площади и координат.

Пример стандартной страницы, предложенного нами веб-атласа (рис. 3), отражает базовые функции на данном уровне – простейшие ГИС-инструменты, интерактивные элементы, возможность индивидуальной настройки.

Стандартная страница веб-атласа состоит из 5 активных полей, в том числе 2-х картографических и 3-х тематических.

Первое картографическое поле базовое, оно отображает выбранную тему на конкретный масштабный уровень.

Все объекты картографического поля интерактивны и по запросу кликом выдают информацию в всплывающем окне. Второе картографическое поле отображает следующий масштабный уровень от базового изображения той же тематики или, если нет аналогов для тематики, общегеографическую карту; оно предназначено для переключения первого экстенда на другой масштабный уровень, а также для отображения территории базового отображения как части другого масштабного уровня.

В веб-АИС заложено несколько масштабных уровней: местный (природные объекты, поселения), локальный (ООПТ, группы поселений, бассейны малых рек), региональный (субъект страны, бассейны крупных рек, экологический каркас территории), федеральный (страна, сеть ООПТ России и т.п.), глобальный.

Первое активное тематическое поле отображает ссылки на другие тематические разделы первого картографического окна, второе поле является функциональным для отображения параметров визуализации, третье поле отображает легенду. Все поля интерактивны и дают возможность переходить на другие страницы или темы.

На странице также присутствуют кнопки и интерактивные меню, которые позволяют переходить на тематические страницы веб-атласа, задавать функции отображения, масштабировать базовое картографическое отображение.

В АИС можно настроить параметры функций отображения, внешний вид веб-АИС, в том числе расположение окон, структуру представления и цветовую гамму атласа, также доступны расширенные настройки веб-приложения – подключение дополнительных картографических подложек по стандартным протоколам.

Основное отличие веб-АИС от геопортала заключается (среди прочего) в наличии ГИС-функций, доступных в разделе «Анализ».

Функции являются целесообразными темами, освещенными в веб-атласе и направленные на ана-

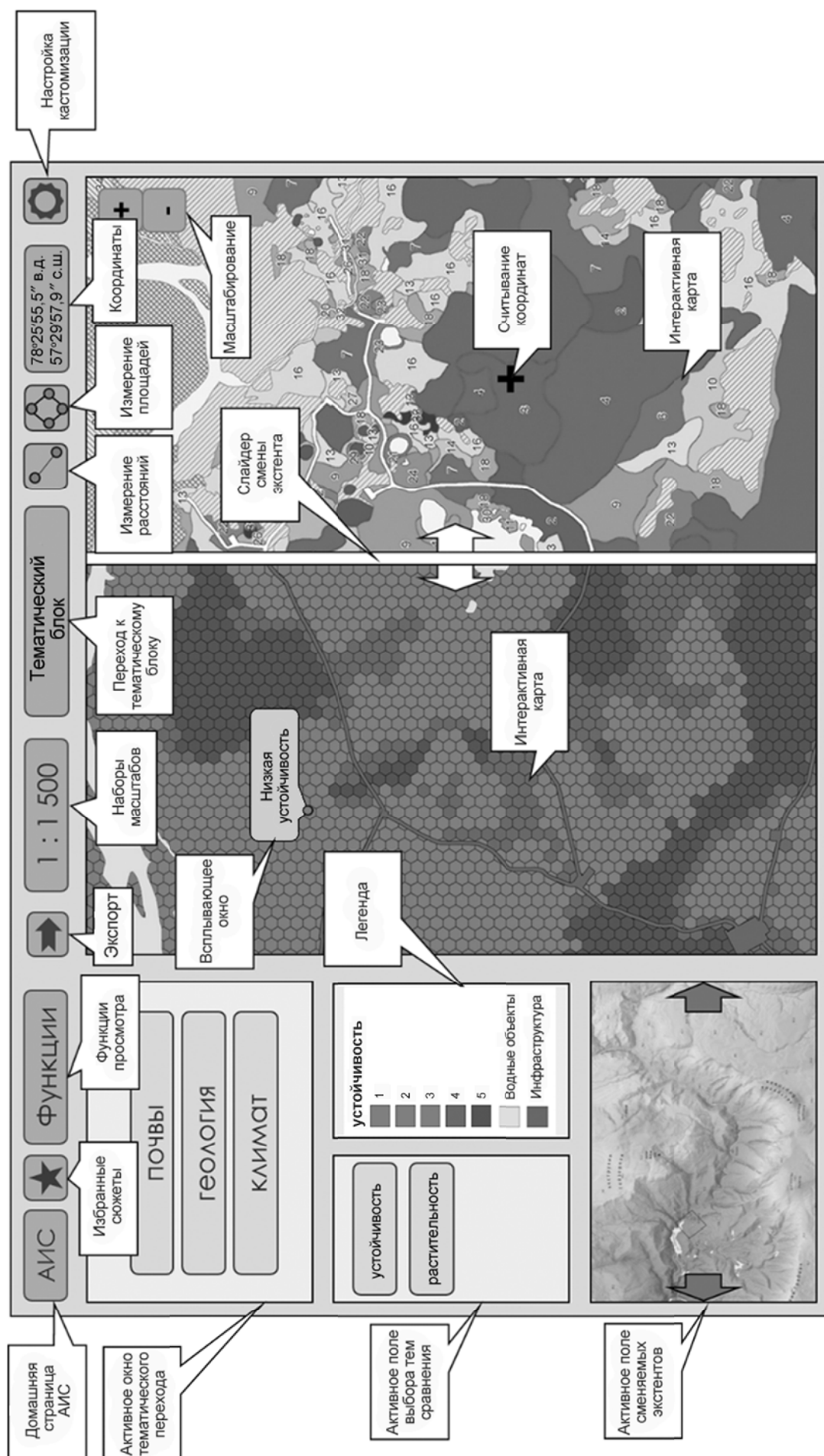


Рис. 3. Пример страницы веб-атласа

Fig. 3. An example of the web-atlas page

лиз территории, в том числе по природным особенностям и пространственной структуре природопользования.

Пространственный анализ включает изучение размещения, динамики, связей и других отношений объектов на основе базы данных (БД) ГИС [ДеМерс, 1999]. Все множество базовых функций пространственного анализа можно представить в виде следующей совокупности:

- определение геометрических характеристик пространства – пространственных параметров экологического каркаса и структуры природопользования территории;

- определение топологических характеристик: выявление зависимости между фоновыми (эталонными) и нарушенными состояниями экосистем, воздействие инфраструктуры, в том числе потенциальное, на природную среду;

- выполнение булевых операций над объектами, в том числе выявление отношений между различными компонентами природной и антропогенной среды;

- построение буферных зон и выявление зон влияния;

- анализ сетей и маршрутов;

- анализ поверхностей, в том числе бассейновый анализ, моделирование склоновых и других геоморфологических процессов;

- определение местоположения и оптимального размещения объектов, выбор оптимального месторасположения объектов инфраструктуры и элементов экологического каркаса;

- тематическая интерпретация данных дистанционного зондирования (ДЗЗ), классификация, сегментация космического геоизображения, расчет индексов и спектральный анализ;

- сеточное моделирование, в том числе интеграция данных о разнородных показателях на основе регулярных сетей;

- геостатистический анализ, в том числе выявление пространственной корреляции;

- пространственный SWOT-анализ – создание интегральных схем охраны природы и планирования природопользования.

Для всех инструментов геоинформационного анализа возможно добавление авторских пространственных данных в установленных стандартных форматах, в том числе .shp, .kml, .gpx, .csv и других, для включения их в моделирование и пространственный анализ.

На основе геоинформационного анализа возможно подготовить картографические модели сценариев развития территорий под влиянием различных факторов и их синергетического эффекта.

Третий блок веб-АИС также отличает ГИС и ГИС с мультимедийными возможностями от АИС и связан с созданием среды для управления или принятия решений.

Для разработки системы принятия управленческих решений на основе пространственного анализа в предлагаемой модели АИС используется метод

анализа иерархий (МАИ, или Analytic Hierarchy Process) [Саати, 1989].

Суть метода состоит в структуризации задач принятия решений (ЗПР) путем построения многоуровневой иерархии, объединяющей все представляющие интерес компоненты задачи (главная цель, подцели, действующие силы, критерии, исходы, альтернативы и т.п.), которые затем сравниваются между собой с помощью специально разработанных для этого процедур. В результате можно получать численные оценки интенсивности взаимовлияния элементов иерархии, на основе которых оценивается степень предпочтительности альтернатив относительно главной цели.

Таким образом, МАИ представляет собой комплексную схему анализа и моделирования многокритериальных ЗПР, охватывая следующие этапы указанного процесса:

- 1) структуризация задачи и формализация связей между ее элементами;

- 2) моделирование процедур критериального оценивания и предпочтений лица, принимающего решения;

- 3) синтез решающего правила и установление предпочтений на множестве альтернатив.

Универсальной процедуры построения иерархии не существует – конкретный вид иерархии определяется прежде всего взглядами лиц, принимающих решения, или исследователя на проблему. Простая схема иерархии на примере управления природопользованием территории представлена на рис. 4. В простейшем варианте иерархия строится по следующей схеме: главная цель – критерии достижения – альтернативы.

Моделью оценки интенсивности взаимодействия элементов иерархии является весовая функция, которая задает приоритеты дочерних элементов по отношению к родительским (локальные приоритеты); интерпретация приоритетов зависит от содержательного смысла соответствующей иерархической связи.

Для вычисления приоритетов разработан ряд методов, основной среди них – метод парных сравнений.

В целом построение модели выбора альтернатив на основе метода анализа иерархий включает следующие основные шаги:

- 1) анализ задачи и построение иерархии;

- 2) вычисление локальных приоритетов и проверка согласованности суждений;

- 3) синтез приоритетов альтернатив относительно главной цели и общая оценка согласованности иерархии.

На основе МАИ для АИС разработан модуль системы поддержки принятия решений (СППР), который представляет собой интерактивный конструктор формы, в результате которого создается опросник.

Форма конструируется автоматически при построении иерархии, т.е. при выборе цели, подцелей, критериев и альтернатив. Выбор параметров иерархии происходит на основе ответов лиц, прини-

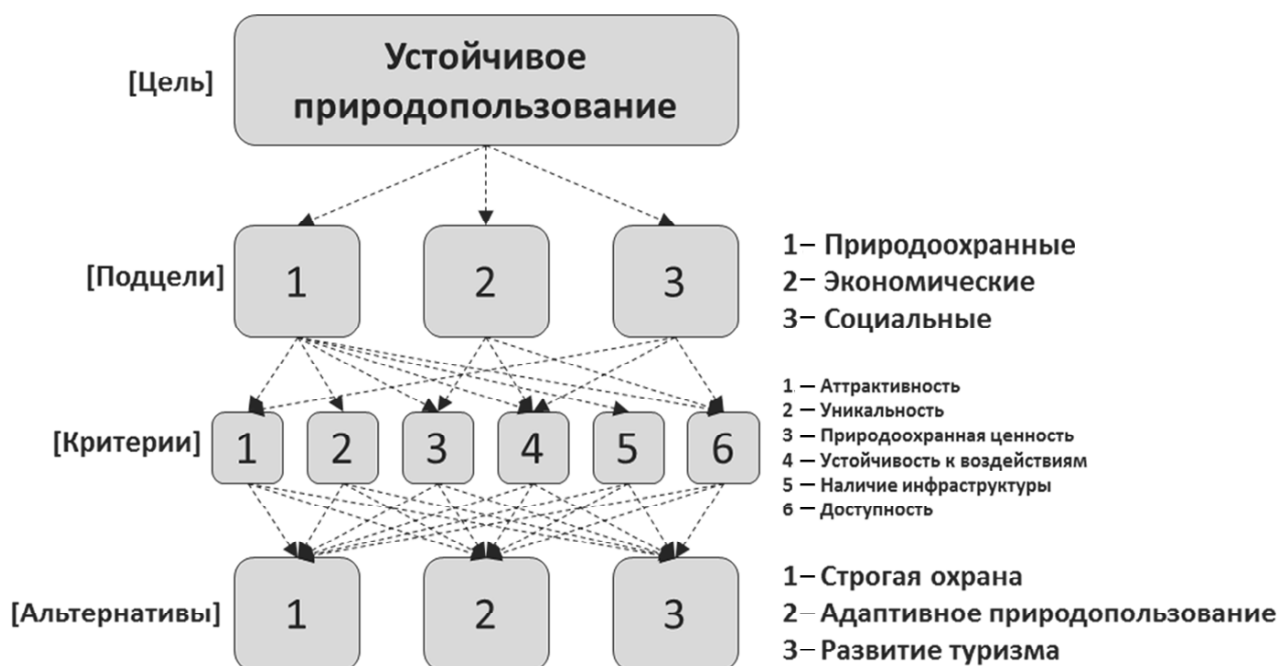


Рис. 4. Алгоритм метода анализа иерархий на примере управления природопользованием на ООПТ

Fig. 4. Algorithm of the hierarchy analysis technique (case study of the nature management within the nature protection areas)

мающих решения (ЛПР), на соответствующие вопросы.

Участки для принятия решений выбираются на основе построения карт противоречий природопользования на конкретном участке территории, а также при конкретном выборе ЛПР.

Модуль СППР АИС – универсальный инструмент для принятия управленческих решений. Модуль позволяет достаточно быстро и четко выбрать подходящие альтернативы на основе математической модели для конкретного конфликтного участка. С помощью этого модуля можно решать почти любые задачи, где нужно учесть несколько мнений (практически это все случаи) об управлении природопользованием на местном, локальном или региональном уровне.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Демерс М.Н. Географические информационные системы: Основы. М.: Дата+, 1999. 490 с.

Краак М.-Я., Ормелинг Ф. Картография: визуализация геопространственных данных / Пер. с англ. под ред. В.С. Тикунова. М.: Научный мир, 2005. 325 с.

Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1989. 316 с.

Тикунов В.С. Атласные информационные системы для принятия решений // Основы геоинформатики: Учеб. пособ. для студентов вузов / Под ред. В.С. Тикунова. М.: Академия, 2004. С. 285–304.

Atlas of Switzerland. Interactive: CD-ROM with accompanying textbook. Swiss Federal Office of Topography, Wabern, 2000.

Bär H.R., Sieber R. Towards high standard interactive atlases // The GIS and Multimedia Cartography approach. Proc.

Выводы:

– разработана методика создания веб-атласной информационной системы для обеспечения устойчивого развития территорий;

– определены особенности АИС, среди которых важнейшей является ориентация на пользователей – экспертов в области охраны природы, социально-экономического развития и управления (а не узкопрофильных специалистов в области ГИС);

– реализация этой особенности атласных информационных систем возможна благодаря конструированию специальной интегрированной базы геоданных, инструментов пространственного анализа и системы поддержки принятия управленческих решений на единой веб-мультимедийной основе.

19th ICA/ACI Intern. Cartographic Conference ICC. Ottawa, 1999. P. 235–241.

Bill R. Multimedia-GIS // Concepts and applications. GIS, Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen. 1998. Vol. 11(2). P. 21–24.

Blat J., Delgado A., Ruiz M., Segui J.M. Designing multimedia GIS for territorial planning: the ParcBIT case // Environ. and Planning B: Planning and Design. 1995. Vol. 22(1). P. 665–678.

Craglia M., Raper J. Guest Editorial: GIS and multi-media // Environ. and Planning B: Planning and Design. 1995. Vol. 22(1). P. 634–636.

Elzakker C. The use of electronic atlases // Seminar on Electronic Atlases. Cartographic Institute of Eötvös Lorand University, Visegrad, Hungary, 1993. P. 145–155.

Hurni L. Multimedia Atlas Information Systems // Encyclopedia of GIS. Springer, 2008. P. 759–763.

Jenny B., Terribilini A., Jenny H. et al. Dietrich modular web-based atlas information systems // *Cartographica*. 2006. Vol. 41(3). P. 247–256.

Kelnhöfer F., Pammer A., Schimon G. Prototype of an interactive multimedia atlas of Austria // *Multimedia Cartography*. Berlin, Heidelberg, N.Y.; Springer, 1999. P. 87–97.

Kraak, J.-M., Ormeling F. *Cartography: visualization of geospatial data*. Longman, Essex, 1996.

Lambrecht C. Project «Atlas of the Federal Republic of Germany» // *Multimedia Cartography*. Springer. Berlin, Heidelberg, N.Y., 1999. P. 149–154.

Moreno-Sánchez R., Malczewski J., Bojorquez-Tapia L.A. Design and development strategy for multimedia GIS to support environmental negotiation, administration and monitoring at the regional level // *Transactions in GIS 1*. Oxford: Wiley Blackwell, 1997. P. 161–175.

Ögren P. The new PC-Atlas of Sweden // *Proc. 18th ICA/ACI Intern. Cartographic Conference ICC*, Stockholm, 1997. P. 2262–2267.

Olenderek H., Nowicki A., Czajko M. et al. Multimedia GIS – A new tool for ecological education *Proc. V. Seminar European Land Information Systems*. Warsaw, 1996. P. 103–111.

Ormeling F. Atlas Information Systems – 17th Int. Cartogr. Conf. and 10th Gen. Assembly ICA. Barcelona, Sept. 3rd – 9th, 1995. *Proc. Vol. 2*. Barcelona, 1995. P. 2127–2133.

Ormeling F. Functionality of Electronic School Atlases // *Seminar on Electronic Atlases II, ICAProc. on National and Regional Atlases*. Prague, 1996. P. 33–39.

Ramos C.-da S., Cartwright W. Atlases from paper to digital medium // *Geo-Hypermedia'05*; *Proc. of the I. Intern. Workshop on Geographic Hypermedia*. Denver, Colorado, U.S.A., 2005.

Schneider B. Integration of analytical GIS functions in multimedia atlas information systems. *Proc. 19th ICA/ACI Intern. Cartographic Conference ICC*. Ottawa, 1999. P. 243–250.

Wastenson L., Arnberg W. The new national atlas of Sweden completed: seventeen books and an electronic atlas. *Proc. 18th ICA/ACI Intern. Cartographic Conference ICC*. Stockholm, 1997. P. 2162–2169.

Wright B. The national atlas of the United States of America. *Proc. // Seminar on Electronic Atlases and National Atlas Information Systems in the Information Age*. Reykjavik, 1999. P. 3.

Поступила в редакцию 12.11.2015

Принята к публикации 11.12.2015

V.M. Yablokov¹, V.S. Tikunov²

PRINCIPLES OF ELABORATION OF THE INTERNET-BASED ATLAS INFORMATION SYSTEM FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF TERRITORIES

Authors' vision of the concept of web Atlas Information System (AIS) is stated. Similar to traditional paper atlases, the AIS provides the spatial information under preset themes and extents. The AIS present information in the cartographical form, including the use of multimedia (photo, video and audio). The user of AIS can influence contents, appearance, visualization parameters by simple manipulations, i.e. to carry out so-called customization. The system also allows the users to display and analyze their own geoinformation. The AIS offers the interface easily understandable to inexperienced users and simplifying the process of interaction with difficult mechanisms of data processing. The Web AIS could be classified into two groups depending on the representation, first is a stand-alone program with the functions of updating and inquiries to server bases of spatial and non-spatial data, i.e. an independent desktop application, second is a web application which is on the server and is only online available. Both have their advantages and disadvantages. In the first case the application can work in any case, but with limited functionality; at the same time it is complicated for design and control. Another one completely depends on connection with a network, but at the same time it is more flexible for control and data processing. Today the world-wide web reaches all corners of the globe and the high-quality communication is available practically everywhere. Thus the second way is preferable because of easy control and great opportunities for customization. Development of programming languages and web and server architecture makes it possible to resolve issues of GIS implementation in multimedia structures and vice versa, thereby realizing the concept of web AIS. Basing on the concepts of AIS development and the www-based AIS the idea of web AIS is suggested for creation of the models of sustainable development of territories.

Key words: atlas information systems, multimedia atlases, web systems, models of sustainable development of territories.

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

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

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of Integrated Mapping, head of the Laboratory, D.Sc. in Geography; *e-mail*: tikunov@geogr.msu.ru

REFERENCES

- Atlas of Switzerland. Interactive: CD-ROM with accompanying textbook. Swiss Federal Office of Topography, Wabern, 2000.
- Bär H.R., Sieber R. Towards high standard interactive atlases // The GIS and Multimedia Cartography approach. Proc. 19th ICA/ACI International Cartographic Conference ICC. Ottawa, 1999. P. 235–241.
- Bill R. Multimedia-GIS // Concepts and applications. GIS, Zeitschrift für raumbezogene Information und Entscheidungen. 1998. Vol. 11(2). P. 21–24.
- Blat J., Delgado A., Ruiz M., Segui J.M. Designing multimedia GIS for territorial planning: the ParcBIT case // Environment and Planning B: Planning and Design. 1995. Vol. 22(1). P. 665–678.
- Craglia M., Raper J. Guest Editorial: GIS and multi-media. Environment and Planning B: Planning and Design. 1995. Vol. 22(1). P. 634–636.
- DeMers M.N. Geograficheskie informacionnye sistemy: Osnovy [Geographical Information Systems. Basics], Moscow, Data+, 1999, 490 p. (in Russian).
- Elzakker C. The use of electronic atlases // Seminar on Electronic Atlases. Cartographic Institute of Eötvös Loránd University, Visegrad, Hungary, 1993. P. 145–155.
- Hurni L. Multimedia Atlas Information Systems // Encyclopedia of GIS. Springer, 2008. P. 759–763.
- Jenny B., Terribilini A., Jenny H. et al. Dietrich modular web-based atlas information systems // Cartographica. 2006. Vol. 41(3). P. 247–256.
- Kelnhöfer F., Pammer A., Schimon G. Prototype of an interactive multimedia atlas of Austria // Multimedia Cartography. Berlin, Heidelberg, N.Y.; Springer, 1999. P. 87–97.
- Kraak J.-M., Ormeling F. Cartography: visualization of geospatial data. Longman, Essex, 1996.
- Kraak Menno-Jan, Ormeling F. Kartografiya: vizualizaciya geoprostranstvennih dannyh. [Cartography: Visualization of Geospatial Data], Perevod s anglijskogo pod redakciej V.S. Tikunova, Moscow, Scientific World, 2005, 325 p. (in Russian).
- Lambrecht C. Project «Atlas of the Federal Republic of Germany». In: Cartwright W., Peterson, M.P. and Gartner, G. (eds.): Multimedia Cartography. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1999. P. 149–154.
- Moreno-Sánchez R., Malczewski J., Bojorquez-Tapia L.A. Design and development strategy for multimedia GIS to support environmental negotiation, administration and monitoring at the regional level // Transactions in GIS 1. Oxford: Wiley Blackwell, 1997. P. 161–175.
- Ögren P. The new PC-Atlas of Sweden. Proc. 18th ICA/ACI Intern. Cartographic Conference ICC. Stockholm, 1997. P. 2262–2267.
- Olenderek H., Nowicki A., Czajko M. et al. Multimedia GIS – A new tool for ecological education. Proc. V. Seminar European Land Information Systems. Warsaw, 1996. P. 103–111.
- Ormeling F. Atlas Information Systems – 17th Int. Cartogr. Conf. and 10th Gen. Assembly ICA. Barcelona, Sept. 3rd – 9th, 1995. Proc., Vol. 2. Barcelona, 1995. P. 2127–2133.
- Ormeling F. Functionality of Electronic School Atlases // Seminar on Electronic Atlases II, ICA Proc. on National and Regional Atlases. Prague, 1996. P. 33–39.
- Ramos C.-da S., Cartwright W. Atlases from paper to digital medium // Geo-Hypermedia'05, Proc. of the 1. Intern. Workshop on Geographic Hypermedia. Denver, Colorado, U.S.A., 2005.
- Saaty T.L. Prinaytie reshenij. Metod analiza ierarhij [Decision Making. Method of Hierarchy Analysis], Moscow, Radio i svyaz, 1989, 316 p. (in Russian).
- Schneider B. Integration of analytical GIS functions in multimedia atlas information systems. Proc. 19th ICA/ACI Intern. Cartographic Conference ICC. Ottawa, 1999. P. 243–250.
- Tikunov V.S. Atlasnye informacionnye sistemy dla priniatija reshenij [Atlas information systems for decision making]. Osnovy geoinformatiki. Uchebnoe posobie dla studentov vyzov, Pod redakciej V.S. Tikunova, kniga 2, Moscow, Akademija, 2004, pp. 285–304 (in Russian).
- Wastenson L., Arnberg W. The new national atlas of Sweden completed: seventeen books and an electronic atlas. Proc. 18th ICA/ACI Intern. Cartographic Conference ICC. Stockholm, 1997. P. 2162–2169.
- Wright B. The national atlas of the United States of America. Proc. Seminar on Electronic Atlases and National Atlas Information Systems in the Information Age. Reykjavik, 1999. P. 35–40.

Received 12.11.2015

Accepted 11.12.2015

УДК 332.1

В.Л. Бабурин¹, С.П. Земцов², В.М. Кидяева³

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ЭКОНОМИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ ГОРОДОВ РОССИИ

Выгодное экономико-географическое положение (ЭГП) города – один из потенциальных факторов его социально-экономического развития. Цель работы заключалась в формализации категории ЭГП и оценке выгод от благоприятного расположения городов России, включая крупнейшие поселения в арктической зоне. Гравитационная модель использовалась как методическая основа для формализации ЭГП. Максимальным потенциалом внутрироссийского ЭГП обладают города, расположенные вблизи Санкт-Петербургской и Московской агломераций, причем потенциал убывает от них в восточном и северном направлениях. Максимальный потенциал международного ЭГП сосредоточен на побережье Японского, Баренцева, Балтийского и Черного морей. Суммарный потенциал ЭГП городов России рос в 2000-е гг. и смещался в сторону южных городов Дальнего Востока благодаря росту экономик азиатско-тихоокеанских стран. Разработанную методику оценки потенциала ЭГП можно широко использовать в схожих исследованиях, в том числе для оценки возможного влияния крупных инфраструктурных проектов на развитие городов.

Ключевые слова: экономико-географическое положение, города России, гравитационные модели, валовый городской продукт, рыночный потенциал.

Введение. Категория экономико-географического положения (ЭГП) – одна из базовых для экономической географии в России. Наличие выгодного экономико-географического положения города часто определяется на основе качественных характеристик: близость к другому крупному городу, наличие крупной магистрали, близость к морскому побережью и т.д., но общепринятого подхода к построению формальной модели и эмпирической оценке потенциала ЭГП городов России нет.

Цель работы – формализация и оценка потенциала экономико-географического положения российских городов, включая арктическую зону⁴.

Классическое определение ЭГП по Н.Н. Баранскому: «...отношение какого-либо места, района или города к вне его лежащим данностям, имеющим то или иное экономическое значение... Чрезвычайно важно положение данной страны (или района, города) к путям, рынкам, крупным центрам (промышленным, торговым, административным, культур-

ным)» [Баранский, 1980, с. 129]. На наш взгляд, экономико-географическое положение города – исторически сложившаяся, но изменяющаяся совокупность пространственных отношений между городом как социально-экономической системой и внешними факторами, потенциально влияющими на городское развитие. Города способны изменять свое местоположение, стремясь достичь наиболее выгодного расположения в пространстве⁵.

В разработку концепции существенный вклад внесли И.М. Маергойз [Маергойз, 1946], Ю.Г. Саушкин [Саушкин, 1973], Я.Г. Машбиц [Машбиц, 1998] и многие другие ученые. Географическое положение может быть центральным, периферийным и соседским [Маергойз, 1946]. Центральное положение города в системе расселения приносит дополнительные выгоды, а периферийное⁶, т.е. глубинное, удаленное от демографического, экономического или иного центра положение несет издержки⁷. Соседство с другим крупным городом обычно служит благо-

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

² Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Институт прикладных экономических исследований, ст. науч. с., канд. геогр. н.; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория комплексных эколого-географических исследований Арктики, ст. науч. с.; e-mail: spzemtsov@gmail.com

³ Государственный океанографический институт, лаборатория автоматизированных систем, мл. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: veram.kid@gmail.com

⁴ При оценке ЭГП города в арктической зоне из-за высокой удаленности часто не рассматриваются, что может искажать получаемые результаты, при этом для арктических городов актуальность изменения ЭГП наиболее высока.

⁵ Это условие может непосредственно выполняться для городов на ранней стадии их развития, например, Оренбург трижды менял свое местоположение [Лаппо, 1997], но для крупных площадных территориальных систем агломераций возможности перемещения резко ограничены. Изменение ЭГП города может существенно влиять на его развитие. Известно, что Новосибирск был основан на месте пересечения Транссибирской магистрали и р. Обь и впоследствии стал крупнейшим городом Сибири благодаря существенным выгодам от расположения на маршруте возросших торговых потоков между европейской частью России и Дальним Востоком [Лаппо, 1997].

⁶ Рассматривая мировые торговые потоки, осуществляющиеся преимущественно морским транспортом, внутриконтинентальное положение следует считать периферийным, а приморское – центральным.

⁷ Центральность положения в данном случае означает, скорее, число потенциальных связей. Известно, что историческое развитие многих городов, расположенных на Волге, определялось их выгодным положением на изгибе реки. Выпуклые участки любой реки при прочих равных условиях более выгодны для размещения города, так как способны обслуживать более обширные территории, иметь большее число торговых связей.

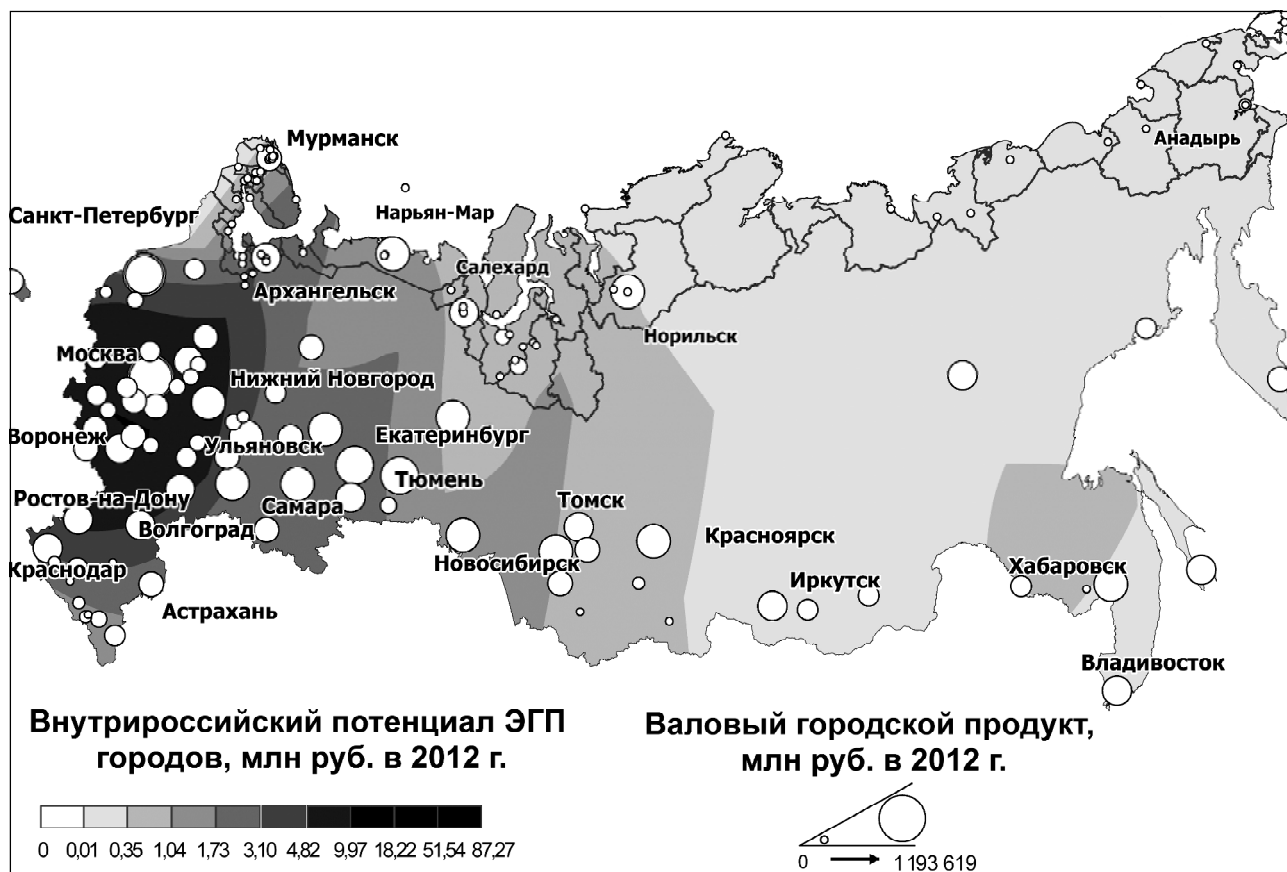


Рис. 1. Потенциал внутрироссийского ЭГП и валовый продукт городов – центров регионов России и арктических городов в 2012 г., млн руб

Fig. 1. The potential of domestic EGP and gross product of the Russian cities – regional centres and arctic cities in 2012, mln roubles

приятным фактором развития, включая выгоды от кооперации, переноса предприятий и диффузии новых технологий, пример – размещение торговых центров в городах Московской области вблизи Москвы. Но эта близость может и подавлять развитие тех или иных отраслей более слабого города, который превращается в поставщика трудовых ресурсов и в рынок сбыта.

Оценка транспортно-географического положения (ТГП) включает оценку выгод, связанных с удаленностью города по отношению к основным транспортным магистралям, его положением в транспортной системе и издержками по доставке грузов и людей [Бугроменко, 1981; Тархов, 2010]. Один из наиболее разработанных методов оценки ТГП – измерение экономических расстояний, т.е. удаленности городов с точки зрения транспортных издержек (тарифов) [Ракита, 1983].

В ряде работ для оценки выгодности положения городов применяются гравитационные модели [Harris, 1954; Кибальнич, Трейвиш, 1975; Гусейн-Заде и др., 1988; Трейвиш, 2009; Бабурин, Земцов, 2013], оценивающие потенциал экономического взаимодействия в зависимости от объема экономики города и соседних экономик, скорректированный на расстоя-

ние до них. Этот подход лежит в методической основе работы.

Материалы и методы исследований. Расчет потенциала ЭГП города i включал оценку потенциала⁸ внутрироссийского (EGR_i^{Reg}) и международного (EGR_i^{World}) положения:

$$EGR_i^{All} = EGR_i^{Reg} + EGR_i^{World} = \sum_{j=1}^n \frac{MV_j}{R_{i,j}^a}, \quad (1)$$

где MV_j – валовый городской продукт города⁹ j или валовый внутренний продукт страны j (руб.); $R_{i,j}$ – расстояние между искомым городом i и другими городами или столицами стран j (км, руб.)¹⁰; n – общее число городов и стран; a – эмпирический коэффициент.

Для расчетов требуется определить значение коэффициента a : если известно некое критическое расстояние $Dist_{crit}$, после которого взаимодействие между двумя городами незначительно (δ – минимально возможное число взаимодействий), то

$$\frac{Mean(MV_j)}{Dist_{crit}^a} \leq \delta, \quad \text{или} \quad a \geq \frac{\ln \frac{Mean(MV_j)}{\delta}}{\ln Dist_{crit}}. \quad (2)$$

⁸ Формула расчета потенциала заимствована из [Harris, 1954].

⁹ Расчеты выполнены для городов – центров субъектов федерации (83 города) и арктических городов (10).

¹⁰ Рассматриваются экономические расстояния, поэтому размерность может быть выражена в рублях.

Установим в качестве минимального взаимодействия между городами России (δ) обмен товарами на 1000 руб./год. Средний валовый городской продукт ($Mean(MV)$) городов – центров регионов России в 2000-е гг. составлял около 50 млрд руб. Допустим, что минимальное взаимодействие между городами возможно на расстоянии 7000 км между ними (например, между городами Благовещенск и Архангельск), тогда $a \approx 2$. Соответствующие расчеты для международного ЭГП при среднем ВВП стран в 10 трлн руб., расстоянии между морскими портами ≈ 25 тыс. км, например, порты Дудинка и Мельбурн, и минимальном грузе стоимостью 1 млн руб. дают значение $a \approx 1,6$.

Расчет потенциала ЭГП городов – центров регионов по отношению к другим российским городским рынкам проводился по формуле (1). В качестве R использовано расстояние по железной дороге; для городов, через которые не проходят железные дороги, использованы данные о автомобильных и речных путях. Расчет валового городского продукта осуществлялся на основе данных о валовом региональном продукте с поправкой на долю города – центра в численности населения с учетом доли в

промышленности для индустриальных городов (данные официальной статистики)¹¹.

Для расчета потенциала ЭГП городов по отношению к рынкам других стран определены 7 основных городов, через которые идет внешняя торговля. Это преимущественно незамерзающие крупные портовые комплексы (p), связанные круглогодичной доступной инфраструктурой с остальной территорией страны¹²: Архангельск, Владивосток, Калининград, Мурманск, Новороссийск, Ростов-на-Дону и Санкт-Петербург. Предполагается, что остальные города России могут осуществлять внешнеторговые отношения преимущественно через указанные порты. Каждой стране с преимущественно сухопутными сношениями также придавался взаимодействующий пограничный город-центр (e): Армения и Грузия – Владикавказ; Азербайджан – Махачкала; Белоруссия, Литва и Латвия – Смоленск и Псков; Эстония – Псков и Санкт-Петербург; Финляндия – Санкт-Петербург и Петрозаводск; Казахстан, Киргизия, Узбекистан, Таджикистан и Туркмения – Оренбург и Астрахань; Монголия – Улан-Удэ; Украина – Курск, Брянск и Белгород. Поэтому расчет международного потенциала ЭГП (EGP^{World}) вклю-

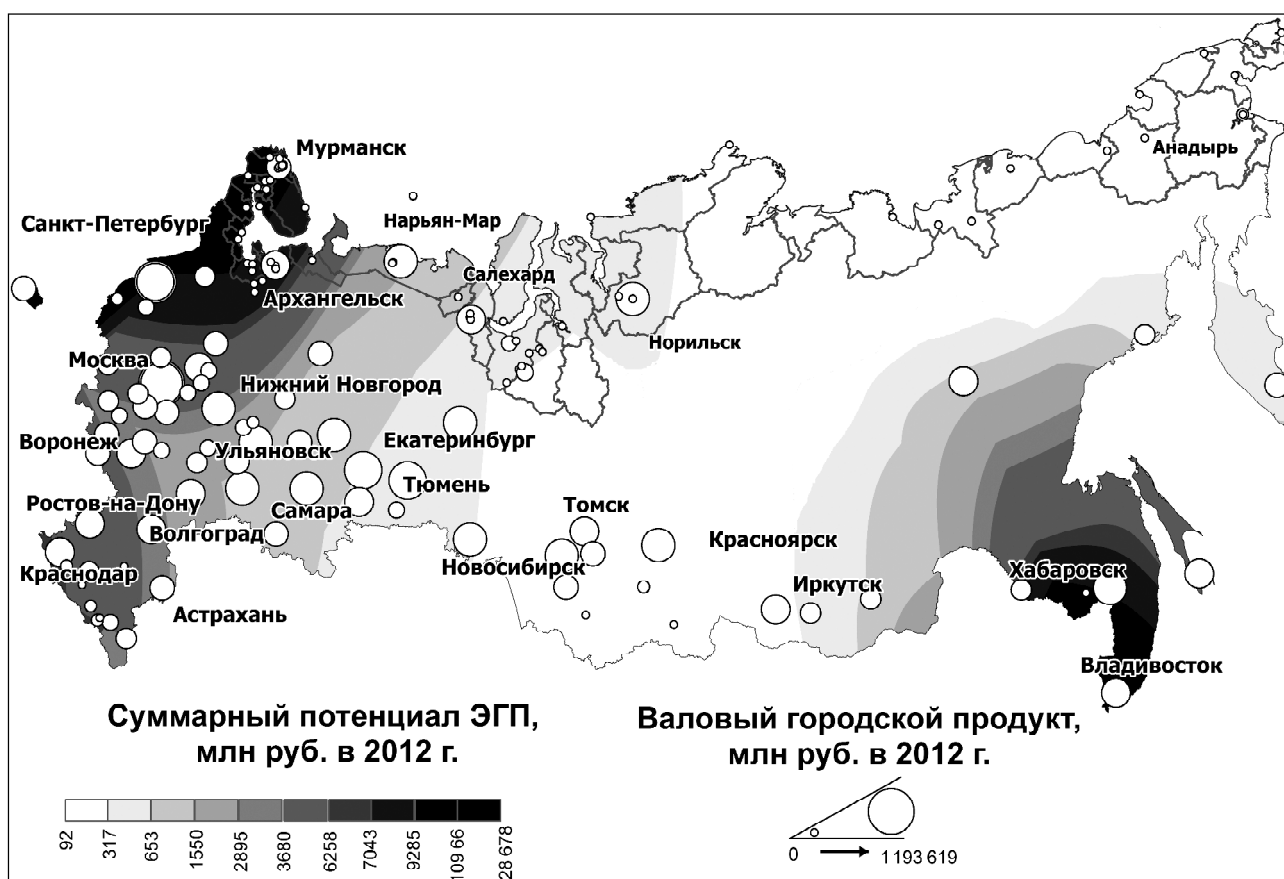


Рис. 2. Потенциал международного ЭГП городов – центров регионов России и арктических городов в 2012 г., млн руб

Fig. 2. The potential of international EGP of the Russian cities – regional centres and arctic cities in 2012, mln roubles

¹¹ Данные взяты с сайта: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sep_region.html.

¹² Из-за указанных условий были исключены города-порты, прилегающие к Северному Ледовитому океану, а также Южно-Сахалинск, Петропавловск-Камчатский и Магадан. На рис. 3 приведен пример построения гистограммы для шкалы значений.

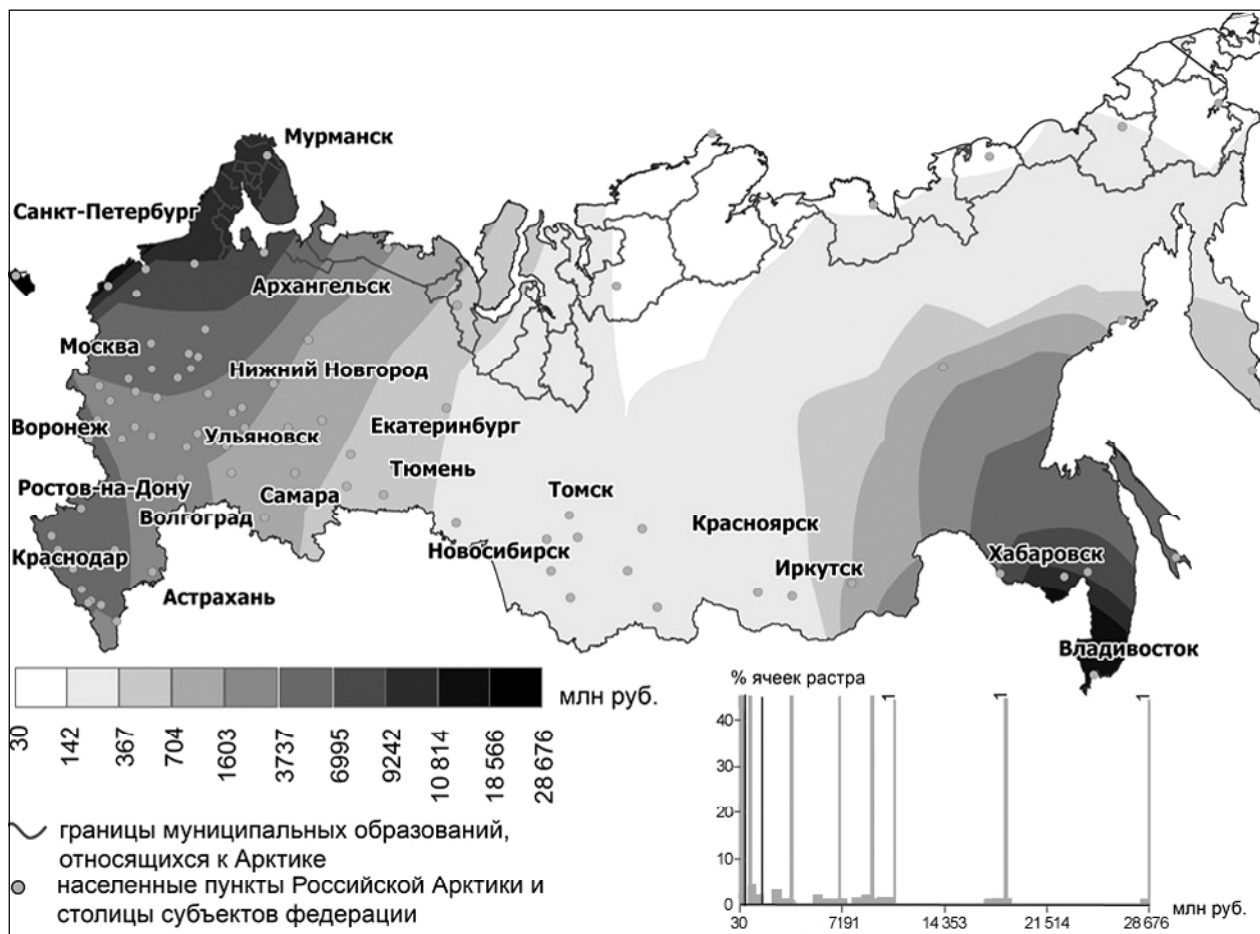


Рис. 3. Суммарный потенциал ЭГП и валовый продукт городов – центров регионов России и арктических городов в 2012 г., млн руб

Fig. 3. The total potential of domestic and international EGP of the Russian cities – regional centres and arctic cities in 2012, mln roubles

чал расчет¹³ взаимодействия по сухопутному и морскому плечу:

$$EGP^{World} \sum \left(\frac{GDR_q}{\min(R_{i,p}^2 + R_{p,q}^{1,5})} \right) + \sum \left(\frac{GDR_n}{(R_{e,p}^2 + R_{e,n}^2)} \right), (3)$$

где GDP – валовой внутренний продукт¹⁴ (руб.); q – страны, с которыми осуществляется морское сообщение; $R_{i,p}$ – расстояние от искомого города i до порта p (км); $R_{p,q}$ – расстояние от порта p до столицы страны q (км); n – страны сухопутного сообщения через города e .

Результаты исследований и их обсуждение. Расчет потенциала ЭГП представляет собой оценку возможных выгод (в стоимостном выражении) для экономики города от близости к другим крупным рынкам за счет обмена товарами, услугами, инвестициями и т.д. Это естественное преимущество, не связанное с хозяйственной деятельностью самого города. Предположим, что в Калуге находится предприятие с выручкой 50 млрд руб./год ($Mean(MV)$), только от сво-

его местоположения это предприятие может зарабатывать путем поставки продукции в соседние города России, в первую очередь в Московскую агломерацию, на 45 млн руб./год больше, чем тоже самое предприятие в Анадыре. Таким образом, ежегодная выгода только от размещения составит 0,1% от выручки, а для малых и средних предприятий возможностей реализовать потенциал ЭГП существенно больше, поэтому доля может быть выше.

Максимальный потенциал внутрироссийского ЭГП (>20 млн руб.) в 2012 г. (рис. 1)¹⁵ характерен для городов вблизи Московской и Санкт-Петербургской агломераций, это Тверь, Калуга, Владимир, Тула, Рязань, Великий Новгород и др. Потенциал ЭГП убывает от северо-западных городов по основному каркасу расселения. Арктические города в северо-западной части страны обладают относительно высоким потенциалом внутрироссийского ЭГП, в то время как поселения в дальневосточной Арктике обладают наименьшим потенциалом взаимодействия.

¹³ Потенциал ЭГП, измеренный предложенным методом, условно позволяет рассчитать потенциальный объем внешнеэкономической деятельности в случае максимального развития инфраструктуры и достаточного развития инвестиционных институтов, связанных в первую очередь с таможенным законодательством.

¹⁴ Всего в выборке представлено 170 стран. ВВП рассчитан по паритету покупательной способности по данным Международного валютного фонда (<http://www.imf.org/>).

¹⁵ Все шкалы на рис. 1–4 построены на основе метода естественных границ, реализованного в программе ArcGIS 10 [Hillier, 2011].

В 2000-е гг. потенциал внутрироссийского ЭГП рос быстрым темпом благодаря росту экономики большинства городов. Лидеры по темпу роста (более чем в 2 раза с 1998 по 2012 г.) стали города вблизи Московской и Санкт-Петербургской агломераций, а также Краснодар и Калининград. Наименьший темп роста (менее чем в 2 раза) наблюдался в крупных агломерациях с низким потенциалом ЭГП – Екатеринбурге, Новосибирске, Омске из-за эффекта высокой базы, удаленности от других городов и низкого темпа роста нефте- и газодобывающих городов Сибири. Таким образом, города с максимальным потенциалом ЭГП и росли с наибольшим темпом, т.е. наблюдалась дивергенция.

Изменения потенциала ЭГП города связаны с ростом валового городского продукта других городов и строительством транспортных магистралей и портовых комплексов, что позволяет существенно приблизить внешние рынки. Например, строительство Северной широтной автомобильной магистрали на участке Томск–Ханты-Мансийск увеличит потенциал ЭГП Томска от 1,2 до 2 млн руб./год в ценах 2012 г., т.е. на 60%.

Международным потенциалом (рис. 2) фактически определяется суммарный потенциал ЭГП (рис. 3), при этом лидер потенциала внутрироссийского ЭГП – Москва по суммарному потенциалу занимает лишь 27-е место.

Максимальный потенциал международного ЭГП (>5 млрд руб.) сосредоточен в портовых городах Балтийского (Калининград, Санкт-Петербург), Баренцева (Архангельск, Мурманск), Японского (Владивосток, Ю.Сахалинск) и Азовского (Ростов-на-Дону) морей и в непосредственной близости от них (Краснодар, Биробиджан, Новгород, Псков, Петрозаводск). Худшее ЭГП (потенциал <200 млн руб.) у удаленных городов дальневосточной Арктики (Анадырь) и внутриконтинентальных городов Сибири (Барнаул, Кемерово, Томск, Горно-Алтайск, Абакан, Красноярск, Кызыл).

При этом максимальный прирост потенциала суммарного ЭГП (более чем в 3,5 раза) наблюдался в южных дальневосточных городах (рис. 4) благодаря близости быстро растущего рынка стран Азиатско-Тихоокеанского региона. А наименьший темп прироста (менее чем в 2,5 раза) характерен для городов, близких к медленно растущим странам Северной Европы, а также в дальневосточной Арктике. Если потенциал внутрироссийского ЭГП в среднем за 1998–2012 гг. вырос в 2,1 раза, то потенциал международного – в 3 раза.

Для дальневосточных и северо-сибирских арктических городов характерны наименьшие значения потенциала ЭГП в России. Впрочем, потенциал ЭГП городов Европейской Арктики довольно высок, особенно на побережье Белого и Баренцева морей, а для Салехарда этот показатель немного меньше

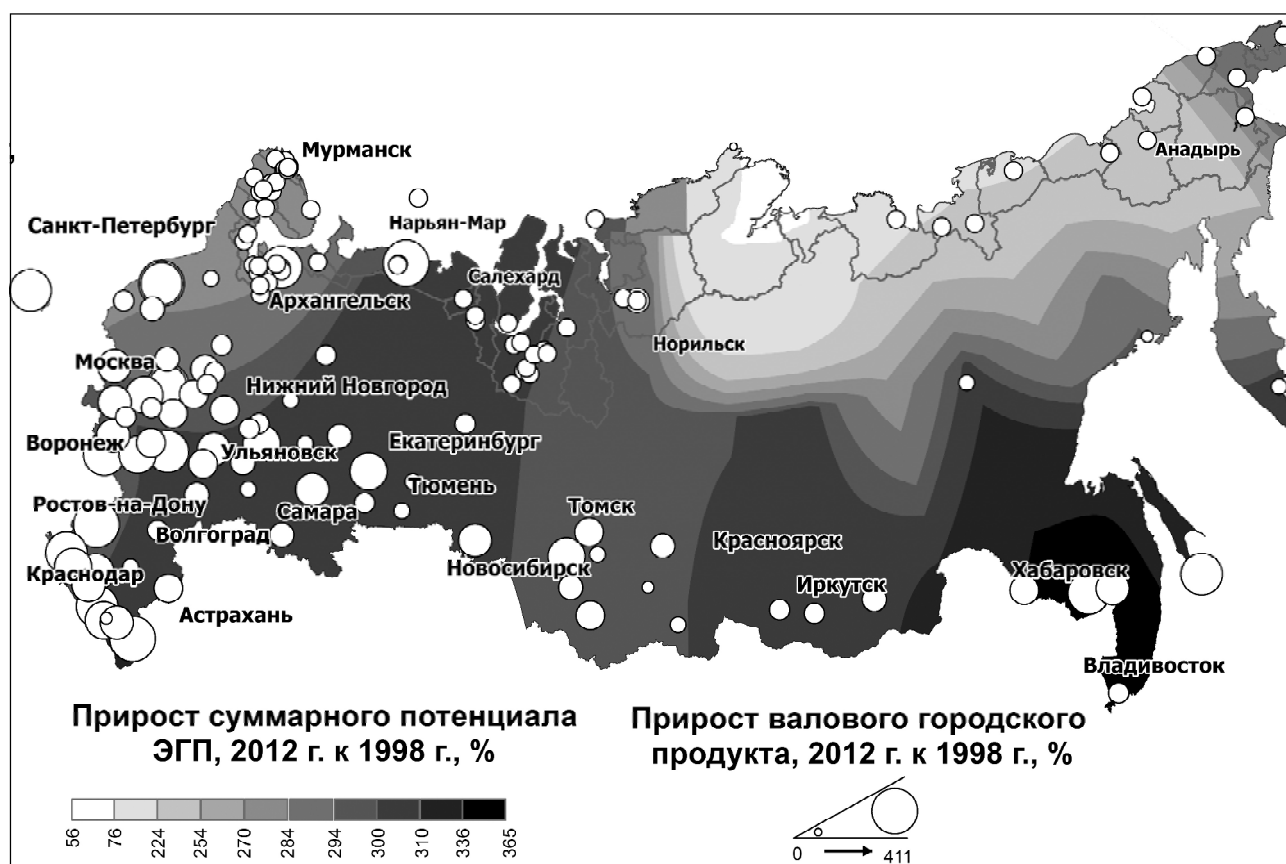


Рис. 4. Прирост суммарного потенциала ЭГП и прирост валового продукта городов – центров регионов России и арктических городов за 1998–2012 гг., %

Fig. 4. Growth of the total potential of EGP and gross product of the Russian cities – regional centres and arctic cities in 1998–2012, %

0,6 млрд руб. благодаря транспортной близости к Архангельску и наличию морских путей. Развитие Северного морского пути и дорожной инфраструктуры в Ямало-Ненецком автономном округе могли бы существенно повысить потенциал ЭГП арктических городов.

Выводы:

– методику стоимостной оценки потенциала внутрироссийского и международного ЭГП городов России можно использовать для изучения выгод местоположения различных пространственных объектов (стран, регионов, городов и т.д.). Стоимостные расчеты потенциала международного ЭГП городов России в динамике выполнены впервые;

– выявлена существенная пространственная дифференциация потенциала ЭГП городов России. Максимальным потенциалом внутрироссийского ЭГП обладают города, расположенные в северо-западной и центральной частях Европейской России, причем потенциал равномерно убывает на восток по основному каркасу расселения. Максимальный потенциал международного ЭГП сосредоточен в городах на побережье Японского, Баренцева, Балтийского и Черного морей;

– установлено многократное увеличение суммарного потенциала ЭГП в 2000-е гг., его смещение в сторону южных городов Дальнего Востока

благодаря росту экономик стран Азиатско-Тихоокеанского региона. При этом рост потенциала международного ЭГП был выше, чем внутрироссийского, поэтому выиграли те города, которые ориентировались на внешнеэкономические взаимодействия;

– разработанную методику можно использовать для прогноза и оценки влияния строительства крупных инфраструктурных объектов на развитие городов, если учесть, что коэффициент корреляции между международным потенциалом ЭГП и валовым городским продуктом вырос в 2000-е гг. с 0,36 до 0,4, т.е. экономическая активность все в большей степени концентрируется в городах с выгодным международным ЭГП;

– показано, что невыгодность ЭГП арктических городов – один из важнейших факторов, ограничивающих их социально-экономическое развитие наряду с неблагоприятными природными условиями. Для дальневосточных и северосибирских арктических городов характерны наименьшие значения потенциала ЭГП в России, хотя ЭГП городов на северо-западе Арктики относительно выгодно. Развитие Северного морского пути и дорожной инфраструктуры в Ямало-Ненецком автономном округе могло бы существенным образом повысить потенциал ЭГП городов Арктики.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-37-00038).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бабурин В.Л., Земцов С.П. География инновационных процессов в России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 5. С. 25–32.

Баранский Н.Н. Экономико-географическое положение // Становление советской экономической географии. М.: Мысль, 1980. С. 128–159.

Бугроменко В.И. Экономическая оценка транспортно-географического положения народнохозяйственных объектов // Изв. АН СССР. 1981. № 5. С. 66–79.

Гусейн-Заде С.М., Михеева В.С., Ханин С.Е. Моделирование территориальных социально-экономических систем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1988. № 3. С. 14–20.

Кибальчик М.О., Трейвиш А.И. Опыт применения потенциального метода исследования для картографического анализа соседского и регионального промышленно-географического положения СССР // Проблемы экономической географии социалистических и капиталистических стран. М.: МФГО СССР, 1975. С. 30–39.

Ланно Г.М. География городов. М.: ВЛАДОС, 1997. 350 с.

Маергойз И.М. Географическое положение города Сталинграда // Вопросы географии. 1946. №. 2. С. 63–100.

Маибиц Я.Г. Географическое положение // Комплексное страноведение. М.; Смоленск, 1998. С. 101–112.

Ракита С.А. Количественная оценка транспортно-географического положения районов Азиатского Севера: методика и результаты картографирования // Новые типы карт. Методы их создания. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1983. С. 116–129.

Саушкин Ю.Г. Экономическая география: история, теория, методы, практика. М.: Мысль, 1973. 362 с.

Тархов С.А. Транспортно-географическое положение столичных городов // География мирового развития. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2010. Т. 2. С. 207–227.

Трейвиш А.И. Город, район, страна и мир: развитие России глазами страноведа. М.: Новый хронограф, 2009. 376 с.

Harris C.D. The market as a factor in the localization of industry in the United States // Ann. Assoc. Amer. geographers. 1954. Vol. 44, N 4. P. 315–348.

Hillier A. Manual for working with ArcGIS 10. 2011. 80 p. URL: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/RESPALDOS/RESAPALDOS%20DISCO%20EX/R_COMPAS/FVALDEZ/Documentos%20técnicos/arcGIS10.pdf (дата обращения: 25.10.2015).

Поступила в редакцию 27.10.2015
Принята к публикации 11.12.2015

V.L. Baburin¹, S.P. Zemtsov², V.M. Kidyaeva³

METHODOLOGY OF EVALUATING THE POTENTIAL OF THE ECONOMIC-GEOGRAPHICAL POSITION OF RUSSIA'S TOWNS

The favourable economic-geographical position (EGP) of a city is one of the factors of social and economic development. The purpose of the study was to formalize the EGP category and assess the benefits of advantageous position of the Russian cities, including those situated in the Arctic zone. A gravity model was used as a methodological base for EGP formalization. The cities located near St. Petersburg and Moscow agglomerations have the maximum potential of Russian domestic EGP, the potential value uniformly decreasing to the east and north. The maximum potential of the international EGP is concentrated in the cities on the coast of the Japan, Barents, Baltic and the Black seas. The total potential of Russian cities' EGP increased in the 2000s and shifted towards the southern cities of the Far East due to the economic growth of the Asia-Pacific countries. Among the Arctic settlements the most favourable EGP is in the cities of the European Russia and northern Western Siberia. The cities of the north-eastern part are characterized by low values of the potential and its growth rate. The developed method for the estimation of the EGP potential can be widely used in similar studies, including the evaluation of the possible impact of infrastructure projects on urban development.

Key words: economic-geographical position, Russian cities, gravity models, gross city product, market potential.

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project No 14-37-00038).

REFERENCES

- Baburin V.L., Zemtsov S.P. Geografiya innovatsionnykh protsessov v Rossii [The geography of innovation processes in Russia], Vestnik. Mosk. Univ., ser. 5, Geography, 2013, no 5, pp. 25–32 (in Russian).
- Baranskiy N.N. Ekonomiko-geograficheskoye polozheniye [Economic-geographical position], Formation of Soviet economic geography, Moscow, Mysl', 1980, pp. 128–159 (in Russian).
- Bugromenko V.I. Ekonomicheskaya otsenka transportno-geograficheskogo polozheniya narodnokhozyaystvennykh ob'yektov [Economic evaluation of transport and geographical position of economic objects], Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR, 1981, no 5, pp. 66–79 (in Russian).
- Guseyn-Zade S.M., Mikheev V.S., Hanin S.E. Modelirovaniye territorial'nykh sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [Modelling of regional social and economic systems], Vestnik. Mosk. Univ., ser. 5, Geography, 1988, no 3, pp. 14–20 (in Russian).
- Harris C.D. The market as a factor in the localization of industry in the United States // Ann. Assoc. Amer. geographers. 1954. Vol. 44, N. 4, pp. 315–348.
- Hillier A. Manual for working with ArcGIS 10. 2011. 80 p. URL: http://app.sni.gov.ec/sni-link/sni/RESPALDOS/RESAPALDOS%20DISCO%20EX/R_COMPAS/FVALDEZ/Documentos%20técnicos/arcGIS10.pdf (Accessed: 25.10.2015).
- Kibalchich M.O., Treyvish A.I. Opyt primeneniya potentsial'nogo metoda issledovaniya dlya kartograficheskogo analiza sosedskogo i regional'nogo promyshlennno-geograficheskogo polozheniya SSSR [Experience of the potential method usage in cartographic analysis of neighborhood and regional industrial and geographical position of the USSR], Problems of economic geography of socialist and capitalist countries, Moscow, ICSF USSR, 1975, pp. 30–39 (in Russian).
- Lappo G.M. Geografiya gorodov [Geography of cities], Moscow, VLADOS, 1997, 350 p. (in Russian).
- Maergoiz I.M. Geograficheskoye polozheniye goroda Stalingrada [The geographical position of Stalingrad], Questions of geography, 1946, no 2, pp. 63–100 (in Russian).
- Mashbits Y.G. Geograficheskoye polozheniye [Geographic location], Kompleksnoye stranovedeniye, Moscow, Smolensk, 1998, pp. 101–112 (in Russian).
- Rakita S.A. Kolichestvennaya otsenka transportno-geograficheskogo polozheniya rayonov Aziatskogo Severa: metodika i rezul'taty kartografirovaniya [Quantitative estimation of transport and geographical position of the North Asian areas: technique and results of mapping], New types of maps. The methods of their creation, Moscow, Moscow university publisher, 1983, pp. 116–129 (in Russian).
- Saushkin Y.G. Ekonomicheskaya geografiya: istoriya, teoriya, metody, praktika [Economic Geography: history, theory, methods and practice], Moscow, Thought, 1973, 362 p. (in Russian).
- Tarhov S.A. Transportno-geograficheskoye polozheniye stolichnykh gorodov [Transport and geographic position of capital cities], Geography of world economy. Collection of scientific papers, Moscow, Association of scientific publications of KMK, 2010, Vol. 2, pp. 207–227 (in Russian).
- Treyvish A.I. Gorod, rayon, strana i mir: razvitiye Rossii glazami stranoveda [City, region, country and the world: the development of Russia through the eyes of country geographer], Moscow, The new chronograph, 2009, 376 p. (in Russian).

Received 27.10.2015

Accepted 11.12.2015

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

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Complex Ecological and Geographical Research of the Arctic, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Institute of Applied Economic Research, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: spzemtsov@gmail.com

³ State Oceanographic Institute, Laboratory of Automated Systems, Junior Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: veram.kid@gmail.com

УДК 911.3

А.М. Фаддеев¹

ОЦЕНКА УЯЗВИМОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ РОССИИ, СТРАН БЛИЖНЕГО ЗАРУБЕЖЬЯ И ЕВРОПЫ К КАСКАДНЫМ АВАРИЯМ

Представлены результаты расчета структурной уязвимости энергосистем стран ближнего зарубежья, европейских стран и объединенных энергосистем России к каскадным авариям. Сделан обзор традиционных и современных методов топологического анализа структуры транспортных сетей. На основе исследований комплексных сетей разработана методика оценки уязвимости графа электросетей к случайному удалению вершин. С использованием этой методики рассчитана структурная уязвимость рассмотренных энергосистем. Оценено влияние ряда факторов (топологических, политических, экономико-географических и исторических) на территориальное распределение структурной уязвимости энергосистем. Продемонстрирована связь структурной уязвимости энергосистем с базовыми топологическими параметрами графов магистральных электросетей и уровнем экономического развития территории. Выявлены две стратегии обеспечения устойчивости энергосистем, выбор которых обусловлен географическими и политическими факторами.

Ключевые слова: электроэнергетика, передача электроэнергии, транспортные сети, комплексные сети.

Введение. Магистральные электросети представляют собой один из ключевых компонентов электроэнергетической инфраструктуры – они позволяют повысить уровень использования мощности электростанций и тем самым ограничить конечную цену электроэнергии. Несмотря на постоянное строительство электросетевых объектов, энергосистемы продолжают испытывать серьезные каскадные аварии [Crucitti et al., 2004, p. 92] – нарушения, при которых выход из строя одних элементов сети влечет за собой отключение ряда других из-за перегрузки. В качестве примеров крупнейших нарушений, повлекших отключение потребителей суммарной мощностью несколько гигаватт в последние 15 лет, можно упомянуть аварии в 2003 г. на северо-востоке США и в Канаде, в 2005 г. в Центральной России, в 2006 г. в Германии, в 2012 г. в Индии. Серьезный ущерб, причиняемый подобными авариями, делает актуальной задачу определения уязвимости энергосистем к ним.

Кроме того, в последние годы в России резко возросла сетевая составляющая цены электроэнергии, что вынудило регулирующие органы сократить инвестиционные программы сетевых компаний. Оценка уязвимости энергосистем к каскадным авариям может послужить критерием для определения адекватности территориального распределения капитальных вложений в электросетевую инфраструктуру.

Наконец, интерес представляет сравнение уязвимости энергосистем, возведенных в условиях рыночной экономики (в странах Западной Европы) и построенных под прямым государственным контролем (в бывших социалистических странах).

Цель работы – определение факторов, обуславливающих уязвимость энергосистем России, стран

ближнего зарубежья и Европы к каскадным авариям с использованием методов топологического анализа.

Существенная проблема заключается в том, что данные о нарушениях работы электросетей в разных странах формируются по разным методикам. Так, в России сетевые компании агрегируют данные обо всех авариях, а сообщество европейских операторов магистральных электросетей ENTSO-E – только о наиболее серьезных нарушениях.

В связи с этим были поставлены две задачи: 1) разработать методику оценки уязвимости энергосистем; 2) определить факторы (топологические, политические, экономико-географические и исторические), обуславливающие различия в уязвимости энергосистем по странам и регионам.

Материалы и методы исследований. Во второй половине XX в. в географии транспорта для описания структуры сетей стали широко применять номотетические модели, основанные на теории графов [Тархов, 2005, с. 30]. Подобный подход был применен и автором. Энергосистема рассматривается в качестве графа, состоящего из ребер, соответствующих линиям электропередач (ЛЭП), и вершин, соответствующих подстанциям и электростанциям. Рассмотрены исключительно топологические свойства энергосистем. Отказ от учета распределения реальных потоков электроэнергии ведет к некоторому снижению точности расчета уязвимости энергосистемы к авариям [Hines et al., 2010, p. 5], но это неизбежно, поскольку национальные операторы магистральных электросетей не раскрывают информацию о потоках, чтобы избежать манипулирования на энергорынках. Таким образом, уязвимость энергосистем к авариям автор рассматривает

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

ет исключительно в структурном (топологическом) аспекте.

Традиционно используемые в географии транспорта базовые индексы, отражающие топологическую структуру сети, – показатели β (отношение числа ребер в графе к числу вершин), π (отношение совокупной длины ребер в графе к длине его диаметра) и другие, разработанные К. Канским [Kansky, 1963], – недостаточно адекватны поставленной задаче по двум причинам.

Во-первых, электросети отличаются от других транспортных сетей выраженной иерархичностью – большинство подстанций обладает малым числом инцидентных (смежных) ребер, но некоторые подстанции наиболее высоких классов напряжения характеризуются большим числом инцидентных ребер (иногда их, по аналогии с авиационным транспортом, называют «хабами» [Pagani, Aiello, 2013, p. 2694]).

Иерархичность существенно влияет на структурную уязвимость сети [Rosas-Casals et al., 2007, p. 2473; Albert et al., 2004, p. 3]. Графы с разной иерархичностью при одинаковой обеспеченности ребрами ($\beta = 0,9$) по-разному реагируют на удаление вершин. Высокоиерархичный граф (граф в форме звезды) отличается низкой уязвимостью при удалении одной случайно выбранной вершины: вероятность его распада на несколько компонентов составляет 0,2. Эта же вероятность для низкоиерархичного графа (граф в форме кольца) составляет 0,8. В то же время высокоиерархичный граф отличается высокой уязвимостью к удалению «хабов».

Во-вторых, даже более сложные топологические индексы не учитывают того, что вершины электросетевого графа разделяются на два типа: электростанции (источники электроэнергии) и подстанции (обеспечивают передачу электроэнергии потребителям²). Энергосистемы, характеризующиеся малым числом электростанций, отличаются высокой уязвимостью, что не фиксируется при использовании традиционных показателей.

В связи с этим для оценки уязвимости выполнено моделирование каскадных аварий, разработанное на основе исследований в сфере анализа комплексных сетей («complex network analysis»). Это научное направление занимается изучением реальных эволюционирующих графов высокой сложности, характеризующихся нетривиальными топологическими свойствами [Voccaletti et al., 2006, p. 177]. Теоретической основой послужила модель случайного графа, разработанная венгерскими математиками П. Эрдемем и А. Реньи [Erdős, Rényi, 1959]. В конце 1990-х гг. были составлены такие модели графов, как «тесный мир» («small-world») [Watts, Strogatz, 1998] и масштабно-инвариантная сеть

(«scale-free») [Barabasi, Albert, 1999]. Вскоре выяснилось, что эти модели применимы к электрическим сетям [Albert et al., 2004], и появилось большее число работ, оценивающих уязвимость электрических сетей с точки зрения топологической структуры, например [Pagani, Aiello, 2013, p. 2689–2690].

Определение факторов, которые обуславливают различия в уязвимости по странам и регионам, проводилось с помощью корреляционного анализа.

Объектом исследования послужили энергосистемы, под которыми понимаются магистральные электросети (линии электропередач (ЛЭП) и подстанции с рабочим напряжением 220 кВ и выше) и крупные электростанции (с установленной мощностью 500 МВт и более). Территория исследования охватывала Единую энергосистему (ЕЭС) России и других стран бывшего СССР, энергосистемы стран континентальной Европы, а также Великобритании и Ирландии. Территория исследования разделена на 26 ячеек (энергосистем), каждая из которых включает от 50 до 577 вершин. Большинство ячеек соответствует государственным границам, но некоторые из них включают несколько стран с малым размером энергосистем (страны Бенилюкс, Средней Азии, Восточной Европы, Скандинавии и т.д.). ЕЭС России из-за большого размера разделена на 7 компонентов, соответствующих объединенным энергосистемам (ОЭС), разделена и энергосистема Германии, восточная и западная части которой в течение продолжительного периода времени развивались независимо. Кроме того, в некоторых местах границы энергосистем не соответствуют государственным границам (например, Калининградская область рассматривается в составе энергосистемы Белоруссии и стран Прибалтики).

Данные о состоянии энергосистем России и стран ближнего зарубежья приводятся по состоянию на начало 2015 г. по данным ОАО «Системный оператор ЕЭС» [Схема..., 2015] и других электроэнергетических компаний. Данные о состоянии энергосистем остальных европейских стран приводятся по состоянию на начало 2013 г. по данным ENTSO-E [2013 ENTSO-E..., 2015].

Результаты исследований и их обсуждение.
Методика оценки уязвимости. В большинстве работ, посвященных оценке уязвимости энергосистем к каскадным авариям, моделируются атаки на наиболее важные узлы сети. Однако вероятность осуществления координированных атак на ряд подстанций гораздо ниже, чем вероятность череды случайных аварий. В связи с этим моделирование было основано на удалении случайно выбранных узлов – в применении этого метода для оценки уязвимости ряда энергосистем состоит научная новизна работы.

² Подстанции выполняют двоякую роль в энергосистемах. С одной стороны, они передают электроэнергию от электростанций к потребителям (или в распределительные сети более низкого класса напряжения). С другой стороны, подстанции могут заниматься исключительно передачей электроэнергии от одной подстанции к другой. Однако число подстанций, на которых не происходит передача электроэнергии потребителям (или в распределительные сети), относительно невелико. Автор считает, что все подстанции являются узлами потребления электроэнергии.

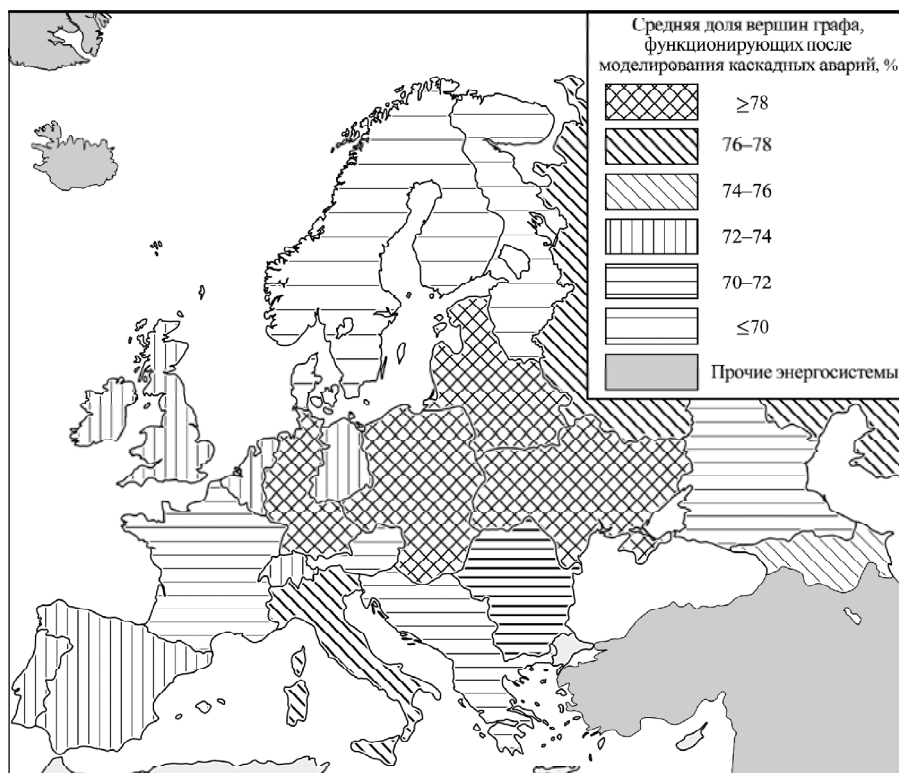


Рис. 1. Схема устойчивости энергосистем европейских стран к каскадным авариям.
Составлена автором

Fig. 1. Vulnerability of transmission systems of European countries to cascade faults.
Compiled by the author

Алгоритм моделирования разработан на базе методики, предложенной А. Моттером и И.-Ч. Лаи [Motter, Lai, 2002]. Алгоритм предусматривает проведение определенного числа симуляций с удалением заданного числа случайно выбранных вершин. В начале каждой симуляции проводятся следующие процедуры:

1) расчет кратчайших путей от всех подстанций до ближайших электростанций;

2) расчет приходящейся на все подстанции нагрузки (здесь под нагрузкой понимается число проходящих через подстанцию кратчайших путей, рассчитанных на предыдущем шаге).

Затем последовательно удаляются случайно выбранные подстанции. После удаления очередной случайно выбранной подстанции кратчайшие пути и нагрузки пересчитываются. Если текущее значение нагрузки на определенной подстанции более чем в 2 раза превышает изначальное значение, то она удаляется, таким образом имитируется перегрузка подстанции. Вершины, из которых нельзя добраться до электростанций, также подвергаются удалению.

Затем удаляется последующая случайно выбранная подстанция, этот цикл повторяется до тех пор, пока не будет удалено заранее заданное число подстанций.

В исследовании удалялись 5, 10, 15, 20 и 25% вершин графа, в рамках каждого из которых проводилось по 100 симуляций. В качестве критерия устойчивости энергосистемы (параметр, обратный уязвимости) было принято отношение оставшегося после моделирования аварии числа вершин графа к их изначальному числу, причем полученное значение подвергалось усреднению по 500 симуляциям.

Модель не учитывает ряд условий, существующих в реальных энергосистемах, в частности, не учитывается, что ЛЭП более высокого напряжения и двухцепные ЛЭП (две параллельные ЛЭП, соединяющие одну подстанцию) обладают более высокой пропускной способностью, а крупные подстанции и электростанции характеризуются разной мощностью и т.д.

Моделирование проводилось с помощью программы, составленной на языке программирования Python с использованием свободно распространяемой библиотеки «NetworkX» [NetworkX]. Результаты моделирования представлены на рис. 1 и 2 и в таблице.



Рис. 2. Схема устойчивости энергосистем России и стран ближнего зарубежья к каскадным авариям. Составлена автором

Fig. 2. Vulnerability of transmission systems of Russia and former Soviet Union countries to cascade faults. Compiled by the author

Сравнение полученных результатов с отчетными данными о среднем масштабе технологических нарушений в магистральных электросетях ОЭС России показывает достаточную адекватность модели: в трех ОЭС с низкой уязвимостью (Центр, Средняя Волга и Урал) средний недоотпуск электроэнергии, вызванный каждой аварией в магистральных сетях за 2011–2014 гг., составляет ~450 кВт/ч, а в четырех ОЭС с высокой уязвимостью – > 700 кВт/ч [Сводные..., 2015].

Рассчитанная устойчивость энергосистем не зависит от размера рассматриваемого графа (коэффициент линейной корреляции между показателями составляет –0,09). Зависимость устойчивости от конфигурации энергосистем также оказалось довольно низкой: коэффициент корреляции между рассчитанным показателем и видоизмененным индексом π К. Канского [Kansky, 1963, р. 22] (отношение суммарной длины ребер графа к его диаметру) составил 0,1.

Факторы, обуславливающие различия в уязвимости энергосистем по странам и регионам. Результаты расчетов показывают, что принципиальные различия в уязвимости ОЭС России от энергосистем других стран бывшего СССР и Европы отсутствуют.

Наблюдается довольно низкая, но статистически значимая корреляция между рассчитанным показателем устойчивости энергосистем и их базовыми топологическими характеристиками – показателем β (коэффициент корреляции 0,36) и долей электростанций среди вершин графа (0,47).

Значимость последнего показателя в значительной мере объясняет высокую уязвимость энергосистемы Франции, выделяющуюся на фоне других крупных европейских стран. Причина заключается в том, что генерирующие мощности Франции представлены по большей части атомными электростанциями (АЭС), для которых в наибольшей мере характерна заводская концентрация. Средняя мощность электростанций в диапазоне от 500 МВт во Франции составляет 2,4 ГВт при среднем значении на рассматриваемой территории 1,4 ГВт. Это означает, что в энергосистеме Франции относительно низка плотность крупных электростанций, чем и обусловлена ее относительно низкая устойчивость к авариям.

Для ОЭС России наблюдается, с одной стороны, выраженная связь между их уязвимостью, а с другой – с уровнем экономического развития (рассматривался среднедушевой уровень ВРП по ОЭС), а также с плотностью населения соответствующих территорий. Так, минимальная уязвимость характерна для ОЭС Центра, средней Волги и Урала, в которых средневзвешенный уровень ВРП на душу населения составляет 400 тыс. руб./человека (по данным за 2012 г.). В оставшихся 4 ОЭС (Северо-Запад, Юг, Сибирь и Восток) значение этого показателя составляет 260 тыс. руб./человека. Для плотности населения средневзвешенные значения по 2 группам ОЭС составляют ~22 человека/км² и ~7 человек/км²

Средняя доля вершин графа, функционирующая после моделирования каскадных аварий

Энергосистема	Значение, %
ОЭС Центра (включая энергосистему Европейского Севера)	78,0
ОЭС Северо-Запада	69,3
ОЭС средней Волги (включая энергосистему Западного Казахстана)	76,1
ОЭС Юга	71,0
ОЭС Урала	77,5
ОЭС Сибири	70,6
ОЭС Дальнего Востока	71,1
Белоруссия и Прибалтика (включая энергосистему Калининградской области)	78,3
Украина и Молдавия	78,3
Закавказье	74,6
Казахстан	71,3
Средняя Азия	73,9
Германия (восточные земли)	73,0
Германия (западные земли)	78,4
Польша, Чехия, Словакия, Венгрия	78,9
Румыния, Болгария	77,7
Страны бывшей Югославии, Албания, Греция	71,5
Фенноскандия (Норвегия, Швеция, Финляндия, Дания)	63,7
Франция	70,2
Италия	76,1
Великобритания и Ирландия	73,2
Страны Бенилюкс	73,5
Испания	73,1
Португалия	73,5
Австрия	71,7
Швейцария	72,2

соответственно. Вероятно, это означает, что энергосистемы на более плотно освоенных территориях, с более высоким уровнем экономического развития достигают более высокого уровня развития, но при этом снижается их структурная уязвимость.

Прослеживается связь с возрастом энергосистем бывшего СССР: 3 ОЭС с низкой уязвимостью (Центр, средняя Волга, Урал) были объединены в единую энергосистему в 1956–1958 гг., еще четыре ОЭС в европейской части СССР (Северо-Запад России, Юг России, Прибалтика и Белоруссия, Украина) подключены к ней в 1962–1966 гг. В 1970–1972 гг. последовала очередь более уязвимых ОЭС Закавказья, Казахстана и Средней Азии, а ОЭС Сибири и Востока были присоединены еще позднее. Таким образом, на территории бывшего СССР наблюдается выраженное центр-периферийное, исторически обусловленное распределение уязвимости ОЭС.

Однако описанные связи уязвимости энергосистем с базовыми экономико-географическими показателями на первый взгляд не просматриваются в европейских странах. Подобное искажение связано с тем, что в ряде стран устойчивость энергосистем обеспечивается не за счет развития магистральных электросетей и крупных электростанций (как это было реализовано в СССР, Великобритании и Франции), а за счет развития сети 132 кВ и ниже. К подобным странам и регионам относятся Австрия, Швейцария, Скандинавские страны и восточные земли Германии (а среди российских ОЭС к ним наиболее близка ОЭС Северо-Запада). В этих странах и регионах особое развитие получили гидроэлектростанции (ГЭС) и электростанции, использующие возобновляемые источники энергии. Для этих типов электростанций заводская концентрация характерна в меньшей степени, чем для тепловых электростанций (ТЭС) и АЭС, а потому их мощность выдается преимущественно (в среднем более чем на 2/3) по распределительным ЛЭП (небольшое число крупных электростанций в этих регионах видно на рис. 3 и 4).

Если исключить из рассмотрения указанные 4 энергосистемы, обнаруживается корреляция между рассчитанным показателем устойчивости энергосистем и конфигурацией территории, выраженной отношением среднего топологического расстояния между парами вершин к диаметру графа (коэффициент корреляции 0,43).

Выводы:

- подтверждена связь между уязвимостью энергосистем и их базовыми топологическими характеристиками – конфигурацией, а также обеспеченностью ЛЭП и электростанциями;
- не обнаружены принципиальные различия в уязвимости к каскадным авариям объединенных энергосистем России от энергосистем других стран бывшего СССР и Европы;
- выявлены две стратегии обеспечения устойчивости энергосистем. Первая стратегия предполагает развитие магистральных ЛЭП, выдающих мощность крупных ТЭС и АЭС. Вторая стратегия предполагает развитие распределительных ЛЭП, выдающих мощность малых и средних электростанций, использую-

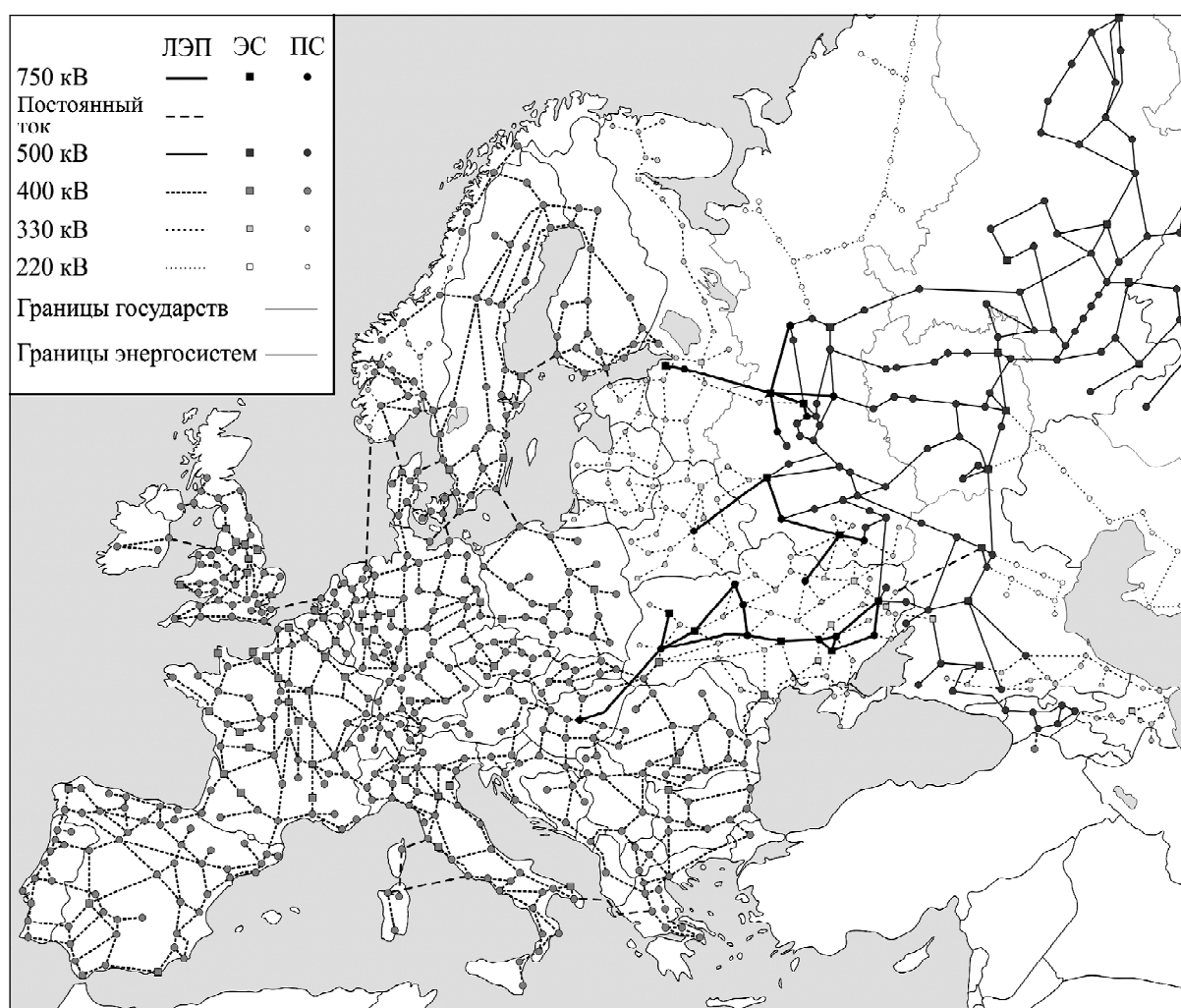


Рис. 3. Схема магистральных электрических сетей европейских стран: ЛЭП – линия электропередач, ПС – подстанция, ЭС – электростанция. Показаны электростанции мощностью ≥ 2 ГВт. Составлена автором по данным [Схема..., 2015; 2013 ENTSO-E..., 2015]

Fig. 3. Transmission lines of European countries: ЛЭП – transmission line, ПС – substation, ЭС – power station (above 2 GW). Compiled by the author basing on [Skhema..., 2015; 2013 ENTSO-E..., 2015]

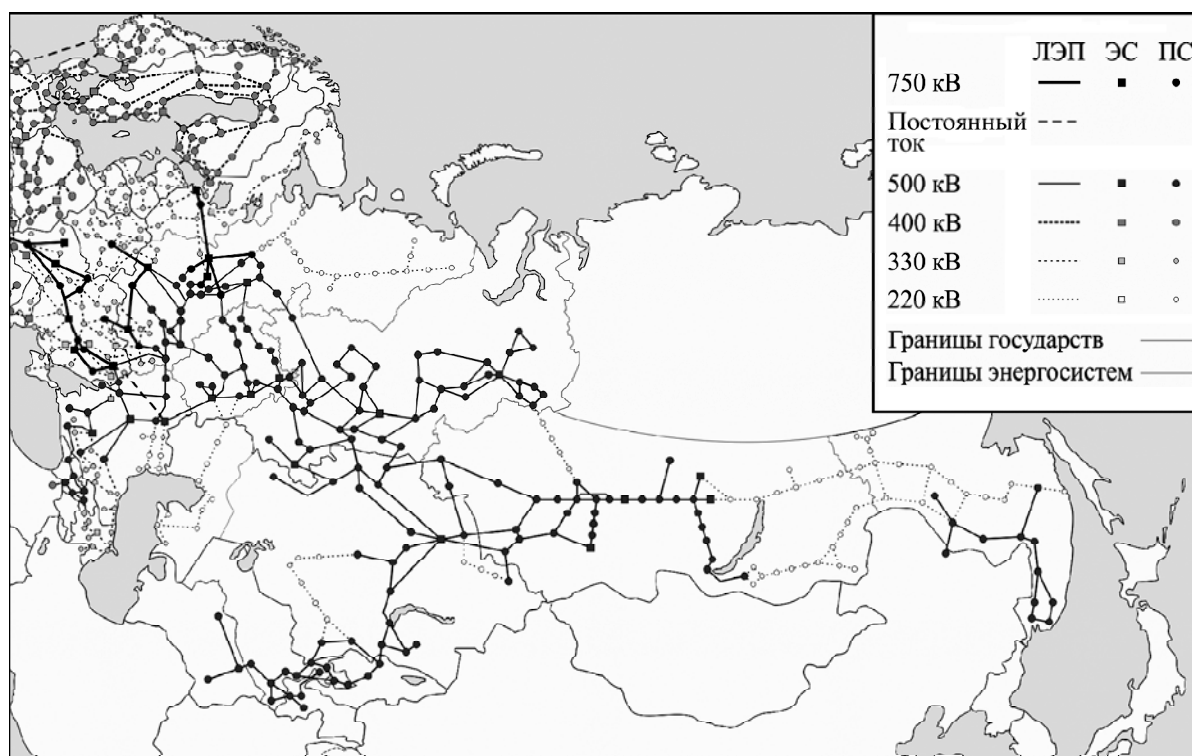


Рис. 4. Схема магистральных электрических сетей России и стран ближнего зарубежья: ЛЭП – линия электропередач, ПС – подстанция, ЭС – электростанция. На карте показаны электростанции мощностью ≥ 2 ГВт. Составлена автором по данным [Схема..., 2015; 2013 ENTSO-E..., 2015]

Fig. 4. Transmission lines of Russia and former Soviet Union countries: ЛЭП – transmission line, ПС – substation, ЭС – power station (above 2 GW). Compiled by the author basing on [Skhema..., 2015; 2013 ENTSO-E..., 2015]

щих возобновляемые источники энергии (в том числе ГЭС). Вторая стратегия применяется в регионах с низкой доступностью угля и природного газа, но с существенными возможностями для развития ГЭС малой и средней мощности (Альпы и Фенноскандия), а также в регионах с опережающим ростом использования возобновляемых источников энергии (восточные земли Германии);

– среди энергосистем, развивающихся по стратегии развития магистральных электросетей и круп-

ных электростанций, наблюдается выраженная связь между уязвимостью и уровнем экономического развития, оцененного по среднему душевому уровню ВВП и ВРП;

– наиболее ярко центр-периферийные различия энергосистем по уязвимости наблюдаются на территории бывшего СССР. Минимальной уязвимостью отличаются ОЭС Центра, средней Волги, Урала и Украины, объединенные в единую энергосистему к началу 1960-х гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Сводные данные об аварийных отключениях [Электр. ресурс]. ОАО «Федеральная сетевая компания ЕЭС». URL: http://www.fsk-ees.ru/consumers/disclosures_in_accordance_with_government_decree_of_21_01_2004_24/technical_condition_of_the_networks/svodnye_dannye_ob_aviyinykh_otklyucheniakh/ (дата обращения: 01.06.2015).

Схема и программа развития Единой энергетической системы России на 2014–2020 годы [Электр. ресурс]. ОАО «Системный оператор ЕЭС». URL: http://so-ops.ru/fileadmin/files/publications/orders/sipr_ops/sipr_ops_14-20.pdf (дата обращения: 01.06.2015).

Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. М.: Смоленск: Универсум, 2005. 384 с.

2013 ENTSO-E Interconnected network system grid map [Электр. ресурс]. ENTSO-E. URL: <https://www.entsoe.eu/publications/order-maps-and-publications/electronic-grid-maps/Pages/default.aspx> (дата обращения: 01.01.2015).

Albert R., Albert I., Nakarado G.L. Structural vulnerability of the North American power grid // Phys. Rev. E. 2004. N 69. 025103. 4 p.

Barabasi A.-L., Albert R. Emergence of scaling in random networks // Science. 1999. Vol. 286. P. 509–512.

Boccaletti S., Latora V., Moreno Y. et al. Complex networks: structure and dynamics // Phys. Rep. 2006. Vol. 424. P. 175–308.

Crucitti P., Latora V., Marchiori M. A topological analysis of the Italian electric power grid // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2004. Vol. 338. P. 92–97.

Erdős P., Rényi A. On random graphs // Publ. Mathematicae. 1959. N 6. P. 290–297.

Hines P., Cotilla-Sanchez E., Blumsack S. Do topological models provide good information about electricity infrastructure vulnerability? // Chaos: An Interdisciplinary J. Nonlinear Sc. 2010. N 20, 033122. 6 p.

Kansky K.J. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // The University of Chicago, Department of Geography, Res. Pap. N 84. Chicago: The University of Chicago, 1963. 158 p.

Motter A.E., Lai Y.-C. Cascade-based attacks on complex networks // *Phys. Rev. E*. 2002. N 66 (6), 065102. 4 p.

NetworkX. High-productivity software for complex networks [Электр. ресурс]. GitHub. URL: <http://networkx.github.io/> (дата обращения: 01.06.2015).

Pagani G.A., Aiello M. The power grid as a complex network: a survey // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2013. Vol. 392, N 11. P. 2688–2700.

Rosas-Casals M., Valverde S., Solé R.V. Topological vulnerability of the European power grid under errors and attacks // *Intern. J. Bifurcation and Chaos in Applied Sc. and Engineering*. 2007. Vol. 17, N 7. P. 2465–2475.

Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks // *Nature*. 1998. Vol. 393. P. 440–442.

Поступила в редакцию 25.06.2015

Принята к публикации 11.12.2015

A.M. Faddeyev¹

VULNERABILITY OF TRANSMISSION SYSTEMS OF RUSSIA, OTHER POST-SOVIET STATES AND EUROPEAN COUNTRIES TO THE CASCADE FAULTS

The article deals with the results of the evaluation of structural vulnerability of power systems of Russia, other post-Soviet states and European countries to the cascade faults. Traditional and up-to-date methods of the topological analysis of the structure of transportation networks are reviewed. A procedure allowing for the evaluation of structural vulnerability of the transmission network graph in case of the random removal of points was developed basing on the complex network analysis. The structural vulnerability of transmission systems under study has been evaluated according to this procedure. Influence of several factors, i.e. topological, political, geographical and historical, on the spatial distribution of transmission systems’ vulnerability was estimated. The structural vulnerability of transmission systems is definitely related to the basic topological and economic criteria. Two different strategies making it possible to maintain the stability of transmission systems were revealed. The choice between these two strategies is determined by geographical and political factors.

Key words: electric power industry, power transmission, transport networks, complex networks.

REFERENCES

2013 ENTSO-E Interconnected network system grid map. URL: <https://www.entsoe.eu/publications/order-maps-and-publications/electronic-grid-maps/Pages/default.aspx> (Accessed: 01.01.2015).

Albert R., Albert I., Nakarado G.L. Structural vulnerability of the North American power grid // *Phys. Rev. E*. 2004. N 69. 025103. 4 p.

Barabasi A.-L., Albert R. Emergence of scaling in random networks // *Science*. 1999. Vol. 286. P. 509–512.

Boccaletti S., Latora V., Moreno Y. et al. Complex networks: structure and dynamics // *Phys. Rep.* 2006. Vol. 424. P. 175–308.

Crucitti P., Latora V., Marchiori M. A topological analysis of the Italian electric power grid // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2004. Vol. 338. P. 92–97.

Erdős P., Rényi A. On random graphs // *Publ. Mathematicae*. 1959. N 6. P. 290–297.

Hines P., Cotilla-Sanchez E., Blumsack S. Do topological models provide good information about electricity infrastructure vulnerability? // *Chaos: An Interdisciplinary J. Nonlinear Sc.* 2010. N 20. 033122. 6 p.

Kansky K.J. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // *The University of Chicago, Department of Geography, Res. pap.* N 84. Chicago: The University of Chicago, 1963. 158 p.

Motter A.E., Lai Y.-C. Cascade-based attacks on complex networks // *Phys. Rev. E*. 2002. N 66 (6). 065102. 4 p.

NetworkX. High-productivity software for complex networks. URL: <http://networkx.github.io/> (Accessed: 01.06.2015).

Pagani G.A., Aiello M. The power grid as a complex network: a survey // *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 2013. Vol. 392, N 11. P. 2688–2700.

Rosas-Casals M., Valverde S., Solé R.V. Topological vulnerability of the European power grid under errors and attacks // *Intern. J. Bifurcation and Chaos in Applied Sc. and Engineering*. 2007. Vol. 17, N 7. P. 2465–2475.

Skhema i programma razvitiya Yedinoy energeticheskoy sistemy Rossii na 2014–2020 gody. URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/orders/sipr_ups/sipr_ups_14-20.pdf (Accessed: 01.06.2015) (in Russian).

Svodnyye dannyye ob avariynykh otklyucheniyakh. URL: http://www.fsk-ees.ru/consumers/disclosures_in_accordance_with_government_decree_of_21_01_2004_24/technical_condition_of_the_networks/svodnye_dannye_ob_aviariynykh_otklyucheniyakh/ (Accessed: 01.06.2015) (in Russian).

Tarkhov S.A. Evolyutsionnaya morfologiya transportnykh setey. Moscow; Smolensk: Universum, 2005. 384 p. (in Russian).

Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of ‘small-world’ networks // *Nature*. 1998. Vol. 393. P. 440–442.

Received 25.06.2015

Accepted 11.12.2015

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

УДК 591.9:581.9

Л.Г. Емельянова¹, Н.Б. Леонова²

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ АРЕАЛОВ ВИДОВ РАСТЕНИЙ И ЖИВОТНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ АКТИВНОСТИ И ЧИСЛЕННОСТИ

Оценены предпосылки, подходы и состояние исследования пространственной организации ареалов (структуры ареалов) видов животных и растений. На основе созданных карт структуры ареала лесного лемминга *Myopus schisticolor* Lilljeborg с использованием критериев численности и активности вида установлены оптимальные части западного сектора ареала. На основе анализа структуры ареалов линнеи северной *Linnaea borealis* L. и майника двулистного *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt. с помощью показателя активности выявлены закономерности изменения постоянства типичных таежных видов по широтному градиенту. Показана роль карты структуры ареала для выявления эколого-географических связей видов. Подчеркнуты роль и необходимость изучения структуры ареалов видов растений и животных для решения научных задач в области сохранения и мониторинга биоразнообразия и прикладных задач для оценки запасов биологических ресурсов.

Ключевые слова: структура ареала вида, пространственная организация населения вида, карты структуры ареала, таежные виды биоты, активность и постоянство вида.

Введение. В развитии концепции биоразнообразия в последнее время отмечается нарастающая тенденция к выявлению закономерностей глобального уровня. Для Северной Евразии различия в схемах природного, ботанико-географического, флористического, фаунистического и зоогеографического деления [Александрова, 1977; Штегман, 1938; Юрцев и др., 1978] определяют необходимость комплексного анализа биоты с позиций исследования структуры ареалов видов. Ю.А. Исаков [1957] предложил тщательно изучать географические аспекты распространения видов и картировать структуру ареала. Сходные предложения неоднократно выдвигались и ранее. Данное Ю.А. Исаковым определение «структура ареала» позднее было уточнено А.Н. Формозовым [1959]. Мы следуем этому определению именно в контексте, предложенном Ю.А. Исаковым и А.Н. Формозовым.

По Ю.А. Исакову [1957], структура ареала – распространение вида в пределах занимаемой территории. Структура, по его мнению, определяется тремя основными моментами: а) характером пребывания вида на том или ином участке ареала, связанным с сезонными биологическими явлениями в его жизни; б) степенью постоянства, с которой вид заселяет ту или другую местность в разные годы; в) плотностью видового населения в разных частях ареала.

Изучение структуры ареалов – определенный этап в познании эколого-географических закономерностей распределения видов, которому предшествует накопление данных на локальном и региональном уровнях.

В настоящее время изучение распространения многих видов двух классов наземных животных – млекопитающих и птиц на локальном и региональном уровнях достигло стадии картографической зрелости, позволяющей перейти к биогеографическим обобщениям ареалогического уровня. В последнее время опубликованы карты структуры населения видов птиц и млекопитающих как регионального, так и глобального уровня [Емельянова, 2015; Кинер, 2010; Лаппо и др., 2012].

Изучение структуры ареала видов растений развивалось в классических трудах А.И. Толмачева [1962; 1974], в которых показана роль исследования структуры ареала в выяснении историко-биогеографических закономерностей, например для ареала пихты сибирской (*Abies sibirica*) [1974]. Ареалогический метод и его роль в организации мониторинга флористического разнообразия бореальных лесов России рассмотрены в ряде работ, посвященных мониторингу биоразнообразия [Носова, Тихонова, 1997; Носова и др., 2004; Юрцев, 1992, 2006]. Прикладной аспект изучения структуры ареалов отражен на некоторых картах ареалов лекарственных растений, где для небольшого числа видов показаны ценоареалы растений и области наибольших запасов лекарственного сырья [Куваев, 1980]. Однако опыт картографического отражения закономерностей пространственной организации ареалов растений крайне редок в современных исследованиях. Подходы к подобным исследованиям могут быть реализованы на региональном и локальном уровнях.

Материалы и методы исследований. Структура ареалов видов животных. Исследованию

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: nbleonova2@gmail.com

структуры ареалов и выявлению географических закономерностей распространения вида в пределах ареала во многом способствовали разработка и применение на территории нашей страны (на большей части Северной Палеарктики) стандартных методов оценки численности видов. Именно широкое в географическом плане применение стандартных методов оценки численности видов обеспечивает сравнение и картографическую интерпретацию полученных показателей. Единственными стандартными методами выполнены локальные учеты как в течение одного сезона, так и многолетние (в разных частях ареалов видов). К ним относятся метод ловушко-линий и ловчих канавок для мелких млекопитающих [Кучерук, 2006], зимний маршрутный учет – для хищных и копытных [Учеты..., 1973], маршрутный учет птиц [Равкин, Ливанов, 2008]. Наибольшие различия в применении и расчете относительной численности (от становления метода до настоящего времени) наблюдаются при учетах мелких млекопитающих ловчими канавками. Это вызывает сложности при использовании результатов «канавочного» метода при картографировании структуры ареалов видов семейства *Soricidae*. Подходы к использованию результатов оценки численности, полученных разными методами, при создании карт структуры ареалов видов проанализированы нами ранее [Емельянова, 1987]. Важные зоогеографические закономерности в пространственной организации видового населения выявлены при картографировании данных заготовок пушнины [Емельянова, 2008; Неронов, Соколова, 1963]. Результаты териологических и орнитологических учетов широко представлены в научной литературе, первичное обобщение материалов которой для ареалогического анализа проводится по методике создания кадастрово-справочных карт [Брунов, 1988; Емельянова, Брунов, 1987]. Привлечение материалов зоологических коллекций позволяет уточнить границы распространения многих видов млекопитающих и птиц.

Для исследования пространственной организации структуры ареалов видов млекопитающих европейской тайги выбран типичный таежный вид (вид таежного фаунистического комплекса). Приведены результаты, полученные при исследовании закономерностей распространения в европейской части ареала транспалеарктического таежного вида лесного лемминга *Myopus schisticolor* Lilljeborg. Структура населения вида в восточной части ареала проанализирована нами ранее [Емельянова, 2016]. Лесной лемминг – типичный бореальный вид, облигатный бриофаг, трофически тесно связанный с консорцией зеленых мхов, в отдельные годы занимает позиции доминирующего в сообществах вида. При составлении карты структуры западной части ареала лесного лемминга основной массив локальных учетных данных получен из 87 литературных источников. Привлечены также результаты многолетних полевых исследований Л.Г. Емельяновой в междуречье Ваги и Северной Двины, на территории Лувенгского стационара Кандалакшского заповедни-

ка, Каргопольского кластера Кенозерского национального парка.

Исходные результаты учетов обобщены на кадастрово-справочной карте мест исследований млекопитающих масштаба 1:10 000 000 (рис. 1) и в базе данных «Таежная биота». В базе данных для каждого пункта исследований указаны географический адрес места проведения учета, время, метод и объем учета, численность в разных местообитаниях [Емельянова и др., 2015].

Исследование структуры ареалов видов растений. Карты структуры ареала растений отражают пространственное размещение видов путем показа изменений активности видов растений, которые отображают степень благоприятствования экологического потенциала территории жизненным параметрам вида. Согласно определению Б.А. Юрцева, активность – мера преуспевания вида на территории, что отражается в широте эколого-ценотической амплитуды, определяемой по доле экотопов и сообществ, освоенных видом, постоянству и обилию вида в характерных для него экотопах [Юрцев, 1968, 2006].

В качестве объектов исследования рассмотрены виды растений таежной биоты, играющие наиболее значимую роль в экосистемах. Это виды бореальной эколого-ценотической группы майник двулистный (*Maianthemum bifolium*) и линнея северная (*Linnaea borealis*), которые играют роль доминантов или содоминантов таежных сообществ.

За основу определения активности видов растений в разных частях биомы бореальных лесов взят показатель постоянства, который определяется как доля описаний с участием изучаемого вида в общем объеме описаний данной территории. Подобный подход использован в ряде региональных исследований [Мартыненко, 1985; Мяло, Горяинова, 1997].

Анализ обширного массива геоботанических описаний, собранных из литературных источников, а также данных многолетних наблюдений авторов в Устьянском районе Архангельской области позволяет оценить региональную активность указанных видов и выявить закономерности их распространения в таежной восточноевропейской части их ареалов. В анализ включено около 4000 геоботанических описаний (в том числе более 300 собственных) из различных районов европейской тайги. Использовано более 100 опубликованных источников, содержащих таблицы геоботанических описаний. Анализ распределения полученных показателей активности выполнен по зонам и подзонам европейской тайги в соответствии с картой «Зоны и типы высотной поясности растительности России и сопредельных территорий» [1999].

Результаты исследований и их обсуждение.
Исследование структуры ареалов видов животных. На обзорной карте структуры ареала лесного лемминга все местонахождения вида отмечены немасштабными знаками (рис. 2). Анализ полученных материалов по распространению и численности лесного лемминга позволил отразить на карте: 1) пункты находок вида и их номера в базе данных; 2) пункты

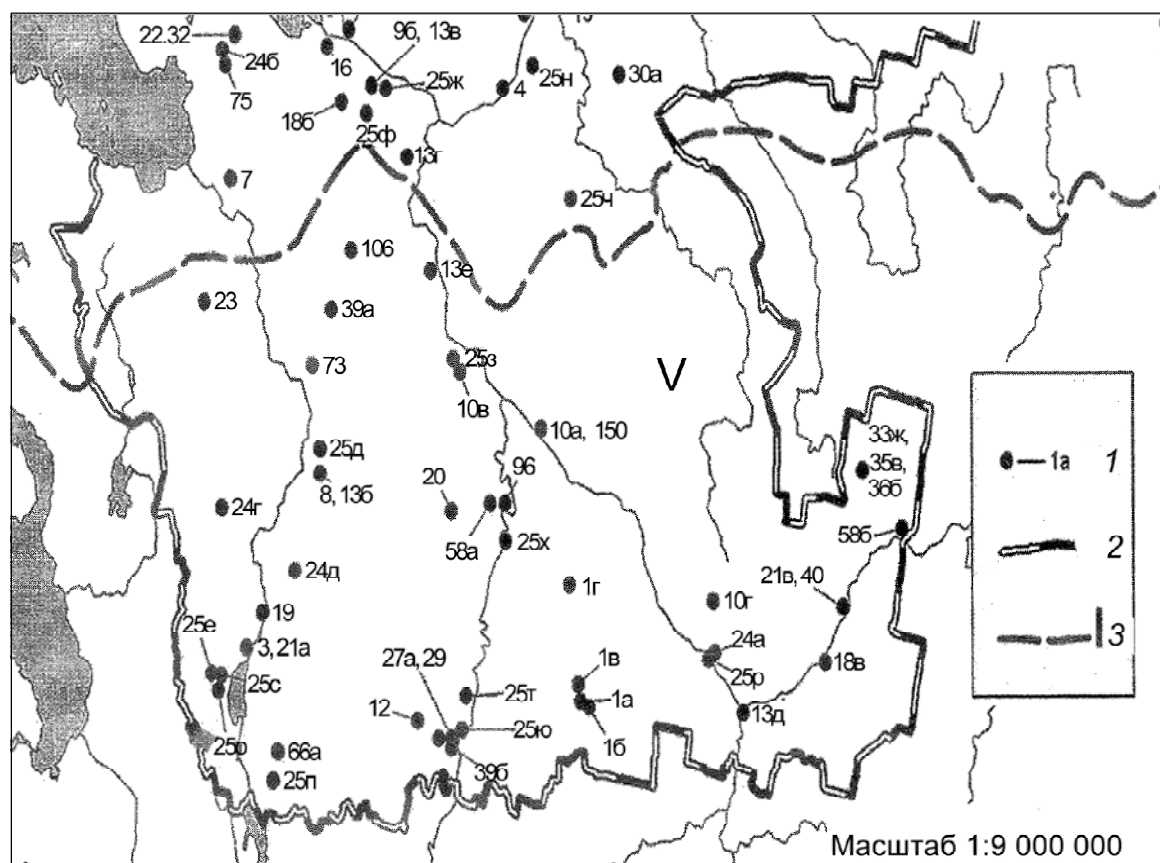


Рис. 1. Места исследований млекопитающих: 1 – пункты исследования млекопитающих; 2 – граница Архангельской области; 3 – южная граница северной тайги

Fig. 1. Sites of mammals surveys: 1 – points of study of mammals; 2 – border of the Arkhangelsk region; 3 – the southern border of the Northern taiga

находок, не имеющие четкой географической привязки; 3) находки вида, подтвержденные коллекционными материалами (экземпляры в коллекции Зоологического музея МГУ имени М.В. Ломоносова и коллекции кафедры биогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова); 4) пункты исследований, в которых зафиксированы всплески численности лесного лемминга и его миграции; 5) пункты отсутствия вида (обозначались при условии проведения длительных – более 3 лет – учетов). Обозначение пунктов отсутствия вида важно для выявления «кружева» ареала и факторов его распространения.

В западной части ареала граница распространения вида совпадает с границей таежной зоны. В лесотундре и хвойно-широколиственных лесах популяции лемминга локальны, всплески численности не отмечены. Поселения лемминга приурочены в лесотундре к интразональным еловым лесам в долинах рек, в хвойно-широколиственных лесах – к отдельным массивам зеленомошных ельников. Анализ пространственной структуры западной части ареала лесного лемминга позволил установить оптимальную часть, которая приурочена к северной подзоне тайги. На этой территории численность лесного лемминга периодически достигает максимальных значений, что в отдельные годы сопровождается массовыми миграциями вида. Положение оптимальной части ареала вида в северной тайге

связано с тем, что на этой территории широко представлены зеленомошные еловые леса разных типов [Растительность..., 1980]. Высокая продуктивность биомассы зеленых мхов в еловых лесах северной тайги обеспечивает лесному леммингу облигатному бриофагу – его трофическую базу. Период между пиками численности продолжительный – не менее 5 лет. По-видимому, это объясняется восстановительной способностью зеленых мхов, состоянию которых в год лемминговых пиков наносится серьезный ущерб. Сходные закономерности пространственного распределения вида отмечены и в восточной части ареала [Емельянова, 2015].

Обобщение массива данных по распространению и численности таежных видов млекопитающих положено в основу создания картографических моделей пространственной организации населения видов млекопитающих как в региональном аспекте для Атласа млекопитающих Архангельской области, так и для всего ареала.

Исследование структуры ареалов видов растений. Виды, выбранные для анализа дифференциации ареала, относятся к широко распространенным в таежной зоне, обладают достаточно высоким постоянством, в ценозах встречаются с достаточно высоким обилием, хорошо определяемые. По этим критериям они могут служить индикаторами оценки состояния экосистем, в том числе

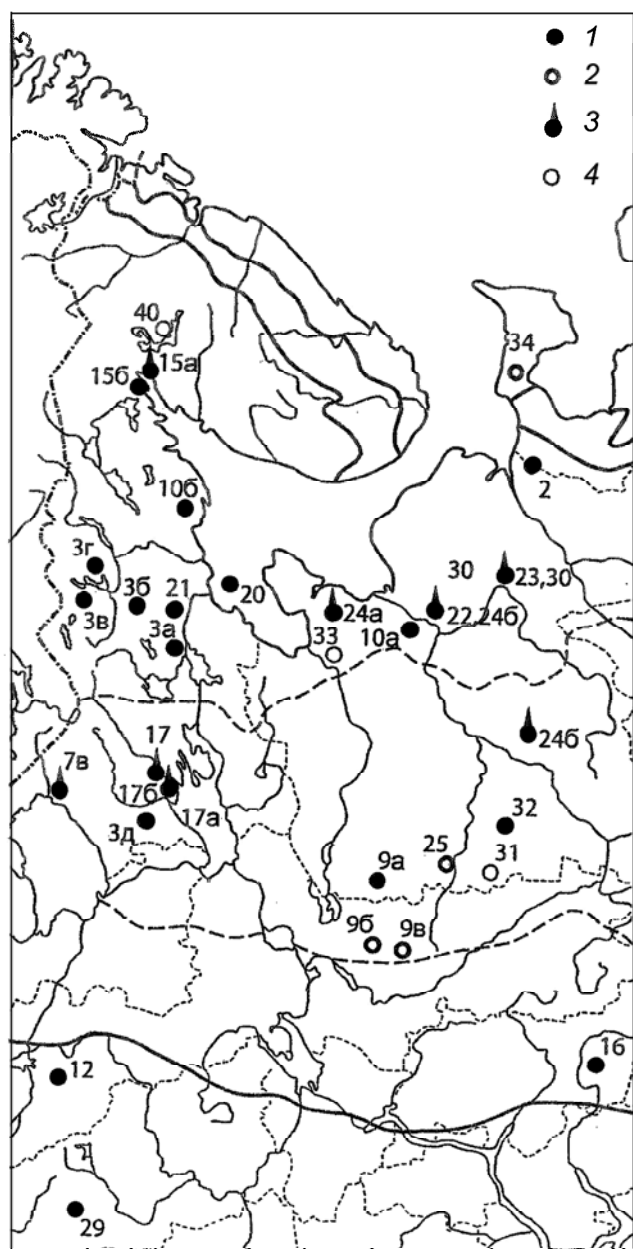


Рис. 2. Структура западной части ареала лесного лемминга (*Myopus schisticolor*) (фрагмент): 1 – пункты находок вида и их номера в базе данных; 2 – пункты находок, не имеющие четкой географической привязки; 3 – пункты исследований, в которых зафиксированы всплески численности лесного лемминга и его миграции; 4 – пункты отсутствия вида (при условии проведения длительных учетов)

Fig. 2. Structure of the western part of *Myopus schisticolor* range (fragment): 1 – points of finding and their numbers in the database; 2 – points of finding without exact geographical address; 3 – points of surveys with fixed abundance explosion and migrations of *Myopus schisticolor*; 4 – points where the species is absent (under long-term observations)

оценки биоразнообразия [Юрцев, 2006; Global Diversity..., 1995].

Майник двулистный – характерное растение бореальных лесов (хвойных, мелколиственно-хвойных и вторичных мелколиственных), представитель эколого-ценотической группы бореального мелкотравья с характерными адаптациями к существованию

в условиях тайги и подтайги. Ареал растения – циркумбореальный, на территории Евразии распространен от лесотундры до лесостепи. В лесных сообществах встречается в заметном обилии, поскольку распространяется вегетативным образом, давая побеги от хорошо развитого разветвленного корневища, изредка играет роль доминанта, преимущественно в нарушенных осветленных лесах.

Линнея северная – стелящийся вечнозеленый кустарничек, наиболее характерный для еловых зеленомошных лесов, типичный представитель эколого-ценотической группы бореальных лесов. Растение обладает адаптациями к существованию в темнохвойных лесах на подзолистых почвах в условиях умеренного континентального климата, может переносить морозы до -40°C . Ареал циркумбореальный, на территории Евразии его северная граница простирается до тундровой зоны, а южная лежит в пределах подтайги [Толмачев, 1974], широко распространен в северной тайге, играет роль содоминанта в кустарничково-зеленомошных типах таежных лесов.

Анализ показателей постоянства майника двулистного и линнеи северной в европейской тайге на основе большого объема геоботанических материалов (рис. 3) показывает ясную тенденцию к изменению их активности в широтном направлении. Постоянство майника нарастает от сообществ северной тайги (20% встреч в описаниях) к сообществам южной тайги (более 70% в описаниях), в подтаежных лесах постоянство майника также высокое, хотя и снижается по сравнению с южной тайгой (таблица). Линнея северная встречается наиболее часто в северотаежных лесах (36% в описаниях), в среднетаежных и южнотаежных лесах постоянство снижается до 29%, и резко сокращается в подтаежной зоне (8%). Таким образом, оптимальные условия существования майника двулистного и его значимая роль в сообществах связаны с южной тайгой и подтайгой, а для линнеи северной – с северной тайгой.

Однако в рамках подзон также существует дифференциация в распределении этих видов. Постоянство видов подсчитано для лесных сообществ трех меридиональных секторов: западного, центрального и восточного (границы секторов совпадают с границами биомного деления Европейской России) [Биомы..., 2015]. Наиболее яркие различия в активности, выраженной через показатель постоянства, показаны для ареала линнеи северной (рис. 4). Если для центрального сектора (сюда входят бассейны Северной Двины, Мезени, верхней Волги) прослеживается четкая тенденция к снижению активности с севера на юг (постоянство падает от 55 до 2%), то в западном и восточном секторах картина осложнена региональными различиями, отражающими влияние орографического и литологического факторов. В западном секторе отмечено меньшее участие линнеи (большие площади занимают сосновые леса), при этом наибольшая ее активность выявлена в средней тайге. В

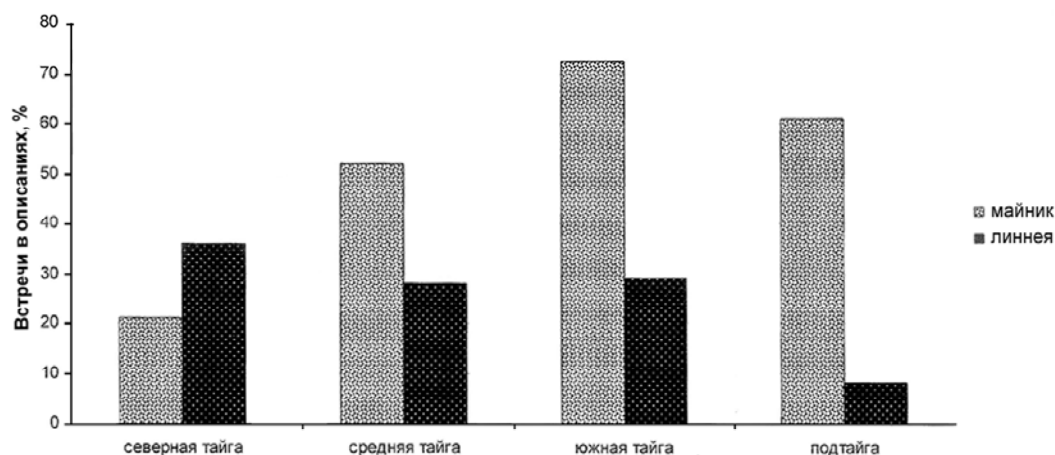


Рис. 3. Постоянство таежных видов майника двулистного и линнеи северной в лесных сообществах по подзонам европейской тайги

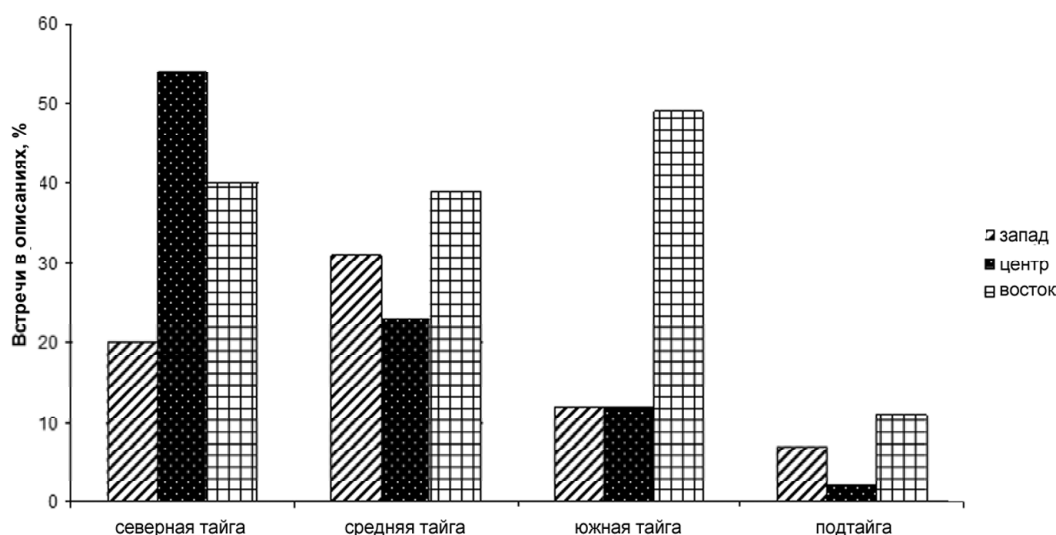
Fig. 3. Constancy of boreal plant species (*Maianthemum bifolium* and *Linnaea borealis*) in forest communities of the European taiga subzones

Рис. 4. Постоянство линнеи северной в лесных сообществах по долготным секторам подзон европейской тайги

Fig. 4. Constancy of *Linnaea borealis* in forest communities within the longitudinal sectors of the European taiga subzones

восточном секторе активность линнеи, напротив, достаточно высока и устойчива во всех подзонах, кроме подтайги. Подобные расчеты выполнены и для майника двулистного, при этом установлено, что общая тенденция к увеличению активности от северной тайги к подтайге прослеживается во всех секторах подзон, однако в центральном секторе отмечаются наибольшие показатели постоянства как в средней, так и в южной и подтаежной подзонах (таблица).

Выводы:

– географическое обобщение локальных и региональных данных о распределении и численности популяций видов позволяет выявить закономерности организации биотического покрова, установить типы пространственной организации ареалов и эколого-географические закономерности размещения видового населения. Большую роль в развитии этого на-

правления играют теоретические разработки концепции ценоареала, оптимума ареала вида, географо-генетических элементов флоры и фауны, фаунистических и флористических комплексов, а также в области картографических методов в ареалогии и ГИС-технологий. Карты пространственной организации видового населения имеют большое научное и прикладное значение;

Показатели постоянства майника двулистного по долготным секторам подзон европейской тайги (% встреч в описаниях)

Подзоны	Общее число описаний	Западный сектор	Центральный сектор	Восточный сектор
Северная тайга	842	9	48	22
Средняя тайга	1280	37	64	38
Южная тайга	1073	67	63	82
Подтайга	535	60	64	55

– исследование распространения типичных бореальных видов в западном секторе таежной зоны Евразии с позиций оценки пространственной организации видового населения позволило выявить оптимальную часть ареалов лесного лемминга, лемминга северной и майника двулистного. Область оптимальной части ареала транспалеарктического вида, бриофага лесного лемминга лежит в северной тайге, что обусловлено господством в растительном покрове высокопродуктивных по биомассе

зеленых мхов, составляющих наземный покров еловых лесов;

– изучение активности двух таежных видов растений выявило различия в положении их ценоаралов в пределах европейской тайги: более северное для лемминга северной (в подзоне северной тайги) и более южное для майника двулистного (южная тайга и подтайга). Полученные результаты позволяют перейти к картографированию структуры ареалов рассмотренных видов в их европейской части.

Благодарности. Исследование выполнено за счет грантов Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 14-05-00963 и № 14-05-00170) и Российского научного фонда (проект № 14-50-00029 – создание базы данных «Таежная биота»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики // Комаровские чтения. Вып. 29. Л.: Наука, 1977. 188 с.
- Биомы России. Масштаб 1:7 500 000. Карты для высшей школы. М.: ООО «Финансовый и организационный консалтинг», 2015.
- Брунов В.В. Библиографический и адресный кадастр работ по населению птиц СССР. М.: МОИП, 1988. 117 с.
- Емельянова Л.Г. Пространственная организация восточной части ареала лесного лемминга (*Myopus schisticolor* (Lilljeborg, 1844)) // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2015. Т. 120, вып. 5. С. 26–30.
- Емельянова Л.Г. Картографирование ареалов видов млекопитающих – основные направления, результаты, перспективы. М.: ГЕОС, 2008. С. 107–118.
- Емельянова Л.Г. Принципы и основные этапы создания карты населения мелких млекопитающих СССР // Общая и региональная териогеография. М.: Наука, 1987. С. 310–342.
- Емельянова Л.Г., Божилкина Е.А., Дычкин М.А. База данных как основа «Атласа млекопитающих Архангельской области» // Геодезия и картография. 2015. Вып. 4. С. 34–40.
- Емельянова Л.Г., Брунов В.В. Кадастровые карты по населению млекопитающих и птиц. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 100 с.
- Исаков Ю.А. Некоторые вопросы изучения фауны и географического распространения птиц // Тр. Второй орнитологической конф. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 292–308.
- Карта «Зоны и типы высотной поясности растительности России и сопредельных территорий». Масштаб 1:8 000 000 / Гл. ред. Г.Н. Огуреева. М.: ЭКОР, 1999.
- Кинер Т.М. Эколого-географический анализ структуры и динамики ареала обыкновенной лисицы (*Vulpes vulpes* L., 1758): Автореф. канд. дисс. М., 2010. 24 с.
- Куваев В.Б. Горичник Морисона // Атлас ареалов ресурсов лекарственных растений СССР. М.: ГУГК, 1980. 59 с.
- Кучерук В.В. Избранные труды. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2006. 522 с.
- Лаппо Е.Г., Томкович П.С., Сыроечковский Е.Е. Атлас ареалов гнездящихся видов куликов Российской Арктики. М.: ООО «УФ Офсетная печать», 2012. 448 с.
- Мартыненко В.А. Изменение ценоотической роли некоторых видов луговых растений в поймах таежных рек // Структура и видовой состав растительных сообществ европейского севера СССР: Тр. Коми филиала АН СССР. № 72 Сыктывкар, 1985. С. 44–51.
- Мяло Е.Г., Горяинова И.Н. Использование показателя постоянства видов растений при картографировании структуры
- их ареалов // География и природные ресурсы. Вып. 3. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. С. 185–190.
- Неронов В.М., Соколова А.Л. Об использовании заготовок для создания карт количественного размещения промысловых животных на территории Советского Союза // Бюлл. МОИП. 1963. Т. 68, вып. 2. С. 56–73.
- Носова Л.М., Леонова Н.Б., Зимин М.В. Анализ ареалов основных эколого-ценотических групп видов растений лесного пояса // Восточно-европейские леса. Т. 1. М.: Наука, 2004. С. 270–282.
- Носова Л.М., Тихонова Е.В. Ареалогический метод и его роль в организации мониторинга флористического разнообразия бореальных лесов России // Мониторинг биоразнообразия. М.: ИПЭЭ имени А.Н. Северцова, 1997. С. 115–119.
- Равкин Ю.С., Ливанов С.Г. Факторная зоогеография: принципы, методы и теоретические представления. Новосибирск: Наука, 2008. 205 с.
- Растительность европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. 429 с.
- Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: Наука, 1974. 224 с.
- Толмачев А.И. Основы учения об ареалах. Л.: Изд-во ЛГУ, 1962. 100 с.
- Учеты охотничьих животных на больших территориях. Пушино: Главное управление по охране природы, заповедникам и охотничьему хозяйству Мин-ва сельского хозяйства СССР, 1973. 119 с.
- Формозов А.Н. О движении и колебании границ распространения млекопитающих и птиц // География населения наземных позвоночных животных и методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1959. С. 172–196.
- Штегман Б.К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 156 с.
- Юрцев Б.А. Использование индексов региональной встречаемости и региональной активности для ботанико-географического анализа растительного покрова // Бот. журн. 2006. Т. 91, № 3. С. 375–391.
- Юрцев Б.А. Эколого-географическая структура биоразнообразия и стратегия его учета и охраны // Биоразнообразие: Подходы к изучению и сохранению. СПб.: ЗИН РАН, 1992. С. 7–21.
- Юрцев Б.А. Флора Сунтар-Хаята. Л.: Наука, 1968. 234 с.
- Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. Флористическое ограничение и разделение Арктики // Арктическая флористическая область. Л.: Наука, 1978. С. 9–105.
- Global Biodiversity Assessment. Oxford: Oxford Univ. Press, 1995. 350 p.

Поступила в редакцию 07.12.2015
Принята к публикации 11.12.2015

L.G. Emelyanova¹, N.B. Leonova²

ANALYSIS OF THE REGULARITIES OF SPATIAL ORGANIZATION OF PLANT AND ANIMAL SPECIES RANGES USING THE ACTIVITY AND ABUNDANCE INDICES

Prerequisites, approaches and the state-of-art in studying the spatial organization of animal and plant species ranges (structures of ranges) are discussed. Basing on the maps of the structure of forest lemming (*Myopus schisticolor* Lilljeborg) range are established using the criteria of the species numbers and activity. Regularities of changing constancy of typical taiga species along the latitudinal gradient are revealed for *Linnaea borealis* L. and *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt. basing on the indicator of activity. The role of maps of the range structure for identification of ecological-geographical links of species is shown. The role and need of studying the structure of plant and animal species ranges for the solution of scientific tasks in the field of biodiversity conservation and monitoring and for the assessment of available biological resources are emphasized.

Key words: structure of species range, spatial organization of species population, maps of range structure, boreal biota species, activity and constancy indexes.

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No 14-05-00961) and the Russian Science Foundation (project No 14-50-00029 Creation of Database «Taiga biota»).

REFERENCES

- Aleksandrova V.D. Geobotanicheskoje rajonirovanie Arktiki i Antarktiki [Geobotanical division of Arctic and Antarctic], Komarovskie chtenija. Vol. 29, Leningrad, Nauka, 1977, 188 p. (in Russian).
- Biomy Rossii [Biomes of Russia]. Scale 1:7 500 000. Karty dlja vysshey shkoly. Moscow, 2015, OOO «Finansovy i organizatsionny konsalting» (in Russian).
- Brunov V.V. Bibliograficheskyy i adresnyy kadastr rabot po naseleniju ptitz SSSR [Bibliography and address cadastr of papers devoted to birds' population in the USSR], Moscow, MOIP, 1988, 117 p. (in Russian).
- Emelyanova L.G. Prostranstvennaya organizatsiya vostochnoj chasti areala lesnogo lemminga (*Myopus schisticolor* (Lilljeborg, 1844) [Spatial structure of the eastern part of *Myopus schisticolor* range], Bull.MOIP, Otd. biol., 2015. Vol. 120, no 5, pp. 26–30 (in Russian).
- Emelyanova L.G. Kartografirovaniye arealov vidov mlekopitajuschikh – osnovnye napravleniya, rezultaty, perspektivy [Mapping ranges of mammals' species – main directions, results, perspectives], Moscow, Isd-vo GEOS, 2008, pp. 107–118 (in Russian).
- Emelyanova L.G. Printzipy i osnovnye etapy sozdaniya karty naseleni'a melkikh mlekopitajuschikh SSSR [Principles and main stages for creating the map of small mammals' population in the USSR], Obshaja i regionalnaya teriogeografia, Moscow, Isd-vo Nauka, 1987, pp. 310–342 (in Russian).
- Emelyanova L.G., Bozhilina E.A., Dychkin M.A. Basa dannykh kak osnova «Atlasa mlekopitajuschikh Arkhangel'skoi oblasti» [Data base as the background for Atlas of Mammals for Arkhangel'sk oblast], Geodezia i kartografiya, 2015. no 4, pp. 34–40 (in Russian).
- Emelyanova L.G., Brunov V.V. Kadastry karty po naseleni'u mlekopitajuschikh i ptitz [Cadastre maps for mammal's and birds' population], Moscow, MGU, 1987, 100 p. (in Russian).
- Formosov A.N. O dvizhenii i kolebanii granits rasprostraneniya mlekopitajuschikh i ptits [About changing and fluctuation of mammals and birds distribution borders], Geographia naseleniya nazemnykh pozvonochnykh zhivotnykh i metody ego izucheniya, Moscow, Isd-vo AN SSSR, 1959, pp. 172–196 (in Russian).
- Global Biodiversity Assessment. Oxford: Oxford Univ. Press, 1995. 350 p.
- Isakov Ju.A. Nekotorye voprosy izucheni'a fauny i geographicheskogo rasprostraneni'a ptitz [Some problems on investigation of fauna and birds' geographical distribution], Tr. Vtoroj ornitologicheskoy konf., Moscow, Isd-vo AN SSSR, 1957, pp. 292–308 (in Russian).
- Jurtzev B.A. Ispolzovanie indeksov regional'noj vstrechaemosti i regional'noj aktivnosti dlja botaniko-geographicheskogo analiza rastitel'nogo pokrova [Using regional occurrence and regional activity indexes for phytogeographical analysis], Botan. zhurn., 2006, Vol. 91, no 3, pp. 375–391 (in Russian).
- Jurtzev B.A. Ekologo-geographicheskaya struktura bioraznoobrazija i strategiya ego ucheta i okhrany [Ecological and geographical structure of biodiversity and strategy for its accounting and protection], Bioraznoobrazije. Podkhody k izucheniju i sokhraneniiju, St-Ptbs., ZIN RAN, 1992, pp. 7–21 (in Russian).
- Jurtzev B.A. Flora Suntar-Khajata [Flora of Suntar-Khajata], Leningrad, Isd-vo Nauka, 1968, 234 p. (in Russian).
- Jurtzev B.A., Tolmachev A.I., Rebristaya O.V. Floristicheskoe ograničenje i razdeleniye Arktiki [Floristic limitation and division of Arctic], Arkticheskaya floristicheskaya oblast, Leningrad, Isd-vo Nauka, 1978, pp. 9–105 (in Russian).
- Karta «Zony i tipy vysotnoj pojasnosti rastitelnosti Rossii i sopredelnykh territorij» 1:8 000 000 [Map «Vegetation zones and types of altitudinal zonation of Russia and adjacent areas» 1:8 000 000], Moscow, ECOR, 1999 (in Russian).
- Kiner T.M. Ekologo-geographicheskij analiz struktury i dinamiki areala obyknovennoy lisitsy (*Vulpes vulpes* L., 1758) [Ecological and geographical analysis of the *Vulpes vulpes*, range structure and dynamics], Avtoref. kand. diss., Moscow, 2010, 24 p. (in Russian).
- Kucheruk V.V. Izbrannyye trudy [Selected papers], Moscow, Tov-vo nauch.izdaniy KMK, 2006, 522 p. (in Russian).
- Kuvaev V.B. Gorichnik Morisona [Peucedanum morisonii], Atlas arealov resursov lekarstvennykh rastenij SSSR, Moscow, GUGK, 1980, 59 p (in Russian).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Assistant Professor, PhD. in Geography; e-mail: bioever@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Leading Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: nbleonova2@gmail.com

Lappo E.G., Tomkovich P.S., Syroechkovskiy E.E. Atlas arealov gnezdyaschikhsja vidov kulikov Rossijskoi Arktiki [Atlas for nestle sandpipers' species ranges in Russian Arctic], Moscow, OOO «UF Ofsetnaya pechat», 2012, 448 p. (in Russian).

Martynenko V.A. Izmenenie tsenoticheskoy roli nekotorykh vidov lugovykh rastenij v pojmax tajozhnykh rek [Changing coenotic significance of some meadow plants' species in boreal river flood plains], *Struktura i vidovoj sostav rastitelnykh soobshchestv evropejskogo severa SSSR*, Syktyvkar, Tr. Komi filiala AN SSSR, 1985, no 72, pp. 44–51 (in Russian).

Myalo E.G., Goryanova I.N. Ispolzovanie pokazatelja postojanstva vidov rastenij pri kartografirovanii struktury arealov [Using plants' species constancy index under mapping range' structure], *Geographia i prirodnyje resursy*, 1997, no 3, Novosibirsk. Izd-vo SO RAN, pp. 185–190 (in Russian).

Neronov V.M., Sokolova A.L. Ob ispolzovanii zagotovok dlja sozdania kart kolichestvennogo razmeschenija promyslovykh zhivotnykh na territorii Sovetskogo Sojuza [Using catching data for mapping quantitative distribution of commercial animals in the Soviet Union], *Bull. MOIP*, 1963, Vol. 68, no 2, pp. 56–73 (in Russian).

Nosova L.M., Leonova N.B., Zimin M.V. Analiz arealov osnovnykh ekologo-tsenoticheskikh grupp vidov rastenij lesnogo pojasa [Analysis of ranges for main ecological and coenotic groups for forest plant species], *Vostochno-evropejskie lesa*, Vol. 1. Moscow, Izd-vo Nauka, 2004, pp. 270–282 (in Russian).

Nosova L.M., Tikhonova E.V. Arealogicheskij metod i ego role v organizatsii monitoringa floristicheskogo raznoobrasija

boreal'nykh lesov Rossii [Range method and its significance for floristic diversity monitoring in boreal forests of Russia], *Monitoring bioraznoobrazija*, Moscow, IPEE RAN, 1997, pp. 115–119 (in Russian).

Ravkin Ju.S., Livanov S.G. Faktornaya zoogeographia: printsipy, metody i teoreticheskie predstavlenija [Factor zoogeography: principles, methods, theoretic base], Novosibirsk, Izd-vo Nauka, 2008, 205 p. (in Russian).

Rastitelnost' evropejskoi chasti SSSR [Vegetation of the European part of the USSR], Leningrad, Izd-vo Nauka, 1980, 429 p. (in Russian).

Shtegman B.K. Osnovy ornitogeographicheskogo delenija Palearktiki [Basic concepts for ornitogeography division of Palearctic], Moscow, Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1938, 156 p. (in Russian).

Tolmachev A.I. Vvedenie v geographiju rastenij [Introduction into the plants geography], Leningrad, Izd-vo Nauka, 1974, 224 p. (in Russian).

Tolmachev A.I. Osnovy uchenija ob arealakh [Basic concepts for ranges' study], Leningrad, Izd-vo LGU, 1962, 100 p. (in Russian).

Uchety okhotnichjikh zhivotnykh na bolshikh territorijakh [Accounting commercial animals within extensive areas], Puschino, Glavnoe upravlenie po okhrane prirody, zapovednikam i okhotnichjemu khozajstvu Ministerstva selskogo khoz-va SSSR, 1973, 119 p. (in Russian).

Received 07.12.2015

Accepted 11.12.2015

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.583

О.А. Анисимов¹, В.А. Кокорев²**КЛИМАТ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИИ: АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И МОДЕЛЬНЫЕ ПРОЕКЦИИ НА XXI ВЕК**

Сравниваются данные о температуре воздуха и осадках в российской части Арктики, полученные из различных источников. Рассмотрены измерения на метеостанциях, глобальные климатические архивы в узлах регулярной пространственной сетки и результаты расчетов по гидродинамическим моделям климата. Оценивается точность каждого вида данных. Предложен метод ранжирования моделей климата на основе тестирования по данным наблюдений в Арктике за исторический период. С помощью этого метода построена оптимизированная для российской Арктики ансамблевая климатическая проекция на XXI в., объединяющая результаты высокорейтинговых моделей, и оценена ее неопределенность.

Ключевые слова: температура воздуха, осадки, проекция.

Введение. В последние несколько десятилетий увеличение среднегодовой температуры в Арктике в 2 раза превышает среднеглобальную величину [Второй..., 2014; Доклад..., 2015]. Это несет как потенциальные экономические выгоды в виде сокращения топливных затрат, увеличения продолжительности периода речной и морской навигации, улучшения условий для северного земледелия и лесного хозяйства и т.п. [Snow..., 2011], так и новые риски, прежде всего связанные с усилением частоты и интенсивности лесных пожаров [Шерстюков, Шерстюков, 2014], таянием мерзлоты [Аржанов и др., 2013], разрушением дорог [Stephenson et al., 2011] и инфраструктуры [Стрелецкий и др., 2012]. Для оценки такого рода последствий и реалистичного планирования социально-экономического развития Арктики необходимы сведения о современных и прогнозируемых на будущее изменениях климата в этом регионе, прежде всего о температуре воздуха и количестве осадков. Нами проанализированы данные наблюдений на метеостанциях и оценены погрешности глобальных сеточных архивов и гидродинамических моделей для Арктической зоны России. На основе моделей с лучшими региональными показателями построена ансамблевая климатическая проекция, оптимизированная для Российской Арктики. Полученные результаты и размещенная в электронном приложении база данных позволяют при моделировании природных и социально-экономических последствий изменений климата в Арктике минимизировать погрешности за счет оптимального выбора климатических архивов и гидродинамических моделей.

Материалы и методы исследований. Оценка качества метеорологических данных. В модель-

ных оценках последствий изменений климата наиболее часто используют два параметра – температуру воздуха и сумму атмосферных осадков, а также различные индексы, рассчитываемые на их основе. Данные о метеорологических параметрах для 600 метеостанций России представлены на сайте ВНИИГМИ-МЦД (<http://meteo.ru/data>). Непосредственное применение этих данных осложнено двумя обстоятельствами – наличием пропусков в наблюдениях и неравномерным размещением метеостанций. Небольшое число пропусков можно восстановить, используя разные алгоритмы, показавшие эффективность для территории России [Анисимов и др., 2007]. Для минимизации ошибок, связанных с осреднением данных редкой и неоднородной сети, разработаны методы, основанные на анализе пространственной корреляционной функции метеозаэлементов и выделении регионов, характеризующихся однородностью современных климатических изменений [Анисимов, Жильцова, 2012; Anisimov et al., 2013]. На рис. 1 выделено 5 таких регионов на севере европейской территории России (ЕТР), в Западной и Центральной Сибири, Якутии и на Дальнем Востоке. Последующий анализ проводился с использованием данных, осредненных для каждого из этих регионов.

Широкое применение получили глобальные климатические архивы, в которых первичные наблюдения на метеостанциях подвергнуты обработке и приведены к узлам регулярной сетки. Вопрос о том, насколько хорошо такие архивы описывают климат России, в значительной степени остается открытым. Нами рассмотрены четыре архива, два из которых CRU TS [Harris et al., 2014] и CRUTEM 4.3.0.0 [Jones et al., 2012] получены интерполяцией данных наблю-

¹ Федеральное бюджетное государственное учреждение «Государственный гидрологический институт», отдел исследований изменений климата, заведующий, докт. геогр. н.; e-mail: oleg@oa7661.spb.edu

² Федеральное бюджетное государственное учреждение «Государственный гидрологический институт», отдел исследований изменений климата, аспирант; e-mail: vasilykokorev@gmail.com



Рис. 1. Разделение рассматриваемой территории на регионы, характеризующиеся однородными изменениями температуры воздуха в современный период

Fig. 1. Regions of the Russian Arctic with similar recent temperature changes

дений на метеостанциях, а два другие получены посредством модельного реанализа (Era-Interim [Dee et al., 2011] и NCEP2 [Kanamitsu et al., 2002]). Архив CRUTEM4 имеет низкое пространственное разрешение ($5^{\circ} \times 5^{\circ}$). При создании его четвертой версии было использовано большее количество данных, полученных для Российской Арктики, что заметно улучшило качество архива для этого региона, а также повысило оценку полушарной температуры на $0,1^{\circ}\text{C}$. Архив CRU TS 3.22 обладает на порядок более высоким разрешением ($0,5^{\circ} \times 0,5^{\circ}$), что достигнуто за счет использования сплайновой интерполяции. Архив Era-Interim [Dee et al., 2011] содержит метеоданные с 12-часовым временным разрешением в узлах сетки T255 ($\sim 80 \times 80$ км) за период с 1979 г. по настоящее время (архив обновляется в реальном времени). Также существует вариант архива с месячным разрешением, он и был нами использован. Архив NCEP2 [Kanamitsu et al., 2002] использует сетку $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$ и охватывает период с 1979 по 2014 г., его основное отличие от архива ERA заключается в использовании спутниковых наблюдений за температурой, которые дополняют данные наблюдений на станциях.

При оценке точности архивов мы использовали методологию сравнения точечных и площадных данных, основанную на осреднении обоих видов данных по показанным на рис. 1 регионам, которые имеют достаточно большую площадь и характеризуются однородными климатическими изменениями в современный период. Оценивалась точность воспроизведения значений среднегодовой и сезонной температуры, суммы температуры вегетационного ($>5^{\circ}\text{C}$) и отопительного ($<8^{\circ}\text{C}$) периодов, а также количества сезонных и годовых осадков. В табл. 1 приведены выборочные результаты сравнения этих характеристик, которые рассчитаны по се-

точным архивам и по фактическим данным наблюдений и осреднены за десятилетие (1981–1990). Этот период характеризовался наименьшим числом пропусков наблюдений.

Отметим, что сеточные архивы в целом занижают температуру воздуха по сравнению с наблюдениями. Исключения составляют летняя температура на севере ЕТР, которую все архивы (кроме NCEP) незначительно завышают, а также зимняя температура во всех азиатских регионах по архиву NCEP, которая значительно (до $5,2^{\circ}\text{C}$) завышается. Отличия во все сезоны года заметно больше в азиатской части Арктики (до $-3,8^{\circ}\text{C}$ у архива CRU ts 3.22), чем для севера ЕТР ($< -1,9^{\circ}\text{C}$). В сезонном ходе наибольшие различия между архивами и наблюдениями выявлены для весны и лета, наименьшие – для зимы. Следствие несимметричного распределения ошибок по сезонам – смещенная, в большинстве случаев увеличенная оценка годовой амплитуды температуры, получаемой по сеточным архивам; например, по архиву NCEP для Якутии она завышена на $7,2^{\circ}\text{C}$. Эта величина используется в моделях многолетнемерзлых грунтов, ее смещенная оценка может привести к систематической ошибке результатов моделирования температуры грунта и мощности сезонно-талого слоя.

Анализ не позволяет однозначно определить, какой из сеточных архивов наилучший, поскольку отличия от наблюдений меняются по регионам и в течение года. Можно использовать статистические метрики, такие, как число случаев, когда архив при сравнении оказался лучшим или же худшим (соответствующие значения выделены в табл. 2 полужирным шрифтом и курсивом). Худшими наименьшее число раз оказались архивы CRUTEM и ERA (1 и 2 раза соответственно), а наибольшее число раз –

Таблица 1

Среднерегиональные сезонные нормы температуры, значений суммы температуры за вегетационный и активный период и дефицита тепла за 1981–1990 гг. по архивным данным

Параметр	Архив	Регионы				
		1	2	3	4	5
Зима	Наблюдения	–13	–19,6	–27,3	–34,1	–22,8
	CRU ts 3.22	–14,9 (–1,9)	–19,8 (–0,2)	–29,5 (–2,2)	–37,4 (–3,3)	–25,4 (–2,6)
	CRUTEMP4	–14,5 (–1,5)	–19,8 (–0,2)	–27,5 (–0,2)	–36,8 (–2,7)	–23,5 (–0,7)
	Era–Interim	–14 (–1,0)	–20,3 (–0,7)	–28,2 (–0,9)	–34 (0,1)	–25,5 (–2,7)
	NCEP2	–13,3 (–0,3)	–17,7 (1,9)	–24 (3,3)	–28,9 (5,2)	–22,4 (0,4)
Весна	Наблюдения	–1,1	–5,2	–8,9	–9,6	–8,9
	CRU ts 3.22	–1,6 (–0,5)	–5,6 (–0,4)	–12,7 (–3,8)	–12,6 (–3,0)	–12,7 (–3,8)
	CRUTEMP4	–1,6 (–0,5)	–5,7 (–0,5)	–10,8 (–1,9)	–12,5 (–2,9)	–11,4 (–2,5)
	Era–Interim	–1,6 (–0,5)	–6,5 (–1,3)	–12,4 (–3,5)	–11,2 (–1,6)	–10,7 (–1,8)
	NCEP2	–2,9 (–1,8)	–6,6 (–1,4)	–12,1 (–3,2)	–11,5 (–1,9)	–11,4 (–2,5)
Лето	Наблюдения	12,7	13,8	12,3	12,7	10,4
	CRU ts 3.22	13,1 (0,4)	13 (–0,8)	10,2 (–2,1)	11,2 (–1,5)	7,9 (–2,5)
	CRUTEMP4	12,9 (0,2)	12,8 (–1,0)	10,9 (–1,4)	10,9 (–1,8)	7,9 (–2,5)
	Era–Interim	12,8 (0,1)	13,1 (–0,7)	9,9 (–2,4)	11,3 (–1,4)	9,9 (–0,5)
	NCEP2	12,6 (–0,1)	12,5 (–1,3)	9,2 (–3,1)	10,7 (–2,0)	8,5 (–1,9)
Осень	Наблюдения	0,5	–3,2	–7,8	–11,2	–5,2
	CRU ts 3.22	–0,3 (–0,8)	–3,2 (0,0)	–10,2 (–2,4)	–13,6 (–2,4)	–8,1 (–2,9)
	CRUTEMP4	–0,1 (–0,6)	–3,3 (–0,1)	–8,6 (–0,8)	–13,3 (–2,1)	–6,7 (–1,5)
	Era–Interim	–0,1 (–0,6)	–3,6 (–0,4)	–9,5 (–1,7)	–12 (–0,8)	–7,6 (–2,4)
	NCEP2	–0,5 (–1,0)	–3,4 (–0,2)	–9 (–1,2)	–11,2 (0,0)	–8,2 (–3,0)
Год	Наблюдения	–0,2	–3,6	–7,9	–10,6	–6,7
	CRU ts 3.22	–0,9 (–0,7)	–3,9 (–0,3)	–10,6 (–2,7)	–13,1 (–2,5)	–9,6 (–2,9)
	CRUTEMP4	–0,8 (–0,6)	–4 (–0,4)	–9 (–1,1)	–12,9 (–2,3)	–8,5 (–1,8)
	Era–Interim	–0,7 (–0,5)	–4,4 (–0,8)	–10,1 (–2,2)	–11,5 (–0,9)	–8,5 (–1,8)
	NCEP2	–1 (–0,8)	–3,8 (–0,2)	–9 (–1,1)	–10,2 (0,4)	–8,4 (–1,7)
$\Sigma T > 5$	Наблюдения	1412	1397	1153	1208	973
	CRU ts 3.22	1440 (28)	1313 (–84)	870 (–283)	987 (–221)	635 (–338)
	CRUTEMP4	1419 (7)	1289 (–108)	976 (–177)	953 (–255)	650 (–323)
	Era–Interim	1389 (–23)	1289 (–108)	837 (–316)	1006 (–202)	867 (–106)
	NCEP2	1326 (–86)	1208 (–189)	762 (–391)	919 (–289)	694 (–279)
$\Sigma T < 8$	Наблюдения	3005	4507	6371	7772	5494
	CRU ts 3.22	3355 (350)	4576 (69)	7159 (788)	8644 (872)	6518 (1024)
	CRUTEMP4	3292 (287)	4595 (88)	6608 (237)	8522 (750)	6043 (549)
	Era–Interim	3219 (214)	4753 (246)	6904 (533)	7897 (125)	6269 (775)
	NCEP2	3153 (148)	4314 (–193)	6188 (–183)	7005 (–767)	5863 (369)

Примечание. В скобках – отличия от данных наблюдений. Курсив и полужирный – наибольшая и наименьшая по всем архивам ошибка норм температуры для каждого сезона и региона соответственно.

Таблица 2

Тренды зимней (слева от черты) и летней (справа от черты) температуры воздуха по регионам российской Арктики за 1981–2005 гг. по данным наблюдений, сеточным архивам и по модельным расчетам (°C/10 лет), а также относительная ошибка воспроизведения этих трендов

Источник	Регион 1	Регион 2	Регион 3	Регион 4	Регион 5	Ошибка
Наблюдения	0,70 / 0,55	0,38 / 0,48	0,55 / 0,39	0,22 / 0,52	–0,29 / 0,42	0,00 / 0,00
ACCESS1,3	0,36 / 0,25	0,35 / 0,23	0,42 / 0,10	0,35 / 0,47	0,40 / 0,45	0,75 / 0,40
ACCESS1-0	1,33 / 0,52	0,72 / 0,15	0,38 / 0,37	0,34 / 0,53	0,45 / 0,55	1,04 / 0,22
bcc-csm1-l	2,37 / 0,75	1,82 / 0,80	1,10 / 0,28	0,45 / 0,28	0,37 / 0,38	2,10 / 0,37
bcc-csm1-l-m	0,10 / 0,32	0,17 / 0,11	0,71 / –0,03	1,05 / 0,08	1,69 / 0,40	2,46 / 0,63
BNU-ESM	–0,55 / 0,26	–0,26 / 0,54	0,20 / 0,87	0,69 / 0,97	1,11 / 1,05	2,21 / 0,85
CanCM4	1,28 / 0,59	0,56 / 0,70	0,30 / 0,55	0,34 / 0,46	0,39 / 0,43	0,93 / 0,22
CanESM2	0,43 / 1,19	0,46 / 0,91	0,56 / 0,46	0,47 / 0,25	0,60 / 0,53	0,96 / 0,60
CCSM4	0,16 / 0,23	0,31 / 0,22	0,22 / 0,21	0,36 / 0,26	0,56 / 0,57	1,02 / 0,49
CESM1-BGC	1,41 / 0,34	1,77 / 0,41	1,06 / 0,58	0,71 / 0,64	0,38 / 0,70	2,03 / 0,38
CESM1-CAM5	0,02 / 0,14	–0,35 / 0,51	–0,11 / 0,66	–0,03 / 0,35	–0,54 / –0,29	1,22 / 0,70
CESM1-FASTCHEM	0,74 / 0,03	1,02 / 0,17	0,90 / 0,67	0,39 / 0,89	–0,13 / 0,60	0,74 / 0,69
CESM1-WACCM	0,64 / 0,63	0,80 / 0,72	1,00 / 1,00	0,93 / 0,79	0,25 / 0,56	1,42 / 0,61
CMCC-CESM	0,86 / 0,35	1,13 / 0,11	0,55 / 0,38	0,40 / 0,16	0,25 / –0,23	0,98 / 0,68
CMCC-CM	1,21 / 0,34	1,33 / 0,22	0,90 / 0,62	0,35 / 0,55	0,31 / 0,02	1,30 / 0,50
CMCC-CMS	–0,31 / 0,30	–0,29 / 0,39	0,00 / 0,24	0,01 / 0,04	0,12 / 0,12	1,31 / 0,53
CNRM-CM5	2,02 / 0,11	2,38 / 0,25	2,19 / 0,48	1,39 / 0,39	1,35 / 0,57	4,22 / 0,42
CNRM-CM5-2	1,22 / 0,21	0,21 / 0,40	0,20 / –0,09	0,45 / –0,07	0,13 / 0,46	0,86 / 0,65
CRU_ts	0,38 / 0,32	–0,62 / 0,15	–0,71 / 0,36	–0,35 / 0,47	–0,53 / 0,35	1,76 / 0,29
CRUTEMP4	0,26 / 0,36	–0,73 / 0,11	–0,58 / 0,38	–0,31 / 0,56	–0,68 / 0,47	1,87 / 0,27
CSIRO-Mk3	0,33 / 0,43	0,21 / 0,56	0,45 / 0,33	0,25 / 0,11	0,55 / 0,03	0,84 / 0,45
EC-EARTH	0,58 / 0,18	0,38 / 0,55	0,24 / 0,58	0,73 / 0,07	1,09 / 0,21	1,56 / 0,53
ERA_Int	0,27 / 0,46	–0,36 / 0,13	–0,42 / 0,32	–0,09 / 0,40	–0,40 / 0,33	1,22 / 0,30
FGOALS_g2	1,78 / 0,12	0,00 / 0,85	–0,15 / 0,67	0,41 / 0,31	–0,82 / 0,52	1,30 / 0,58
FIO-ESM	0,67 / –0,17	1,36 / 0,07	0,97 / 0,28	0,55 / 0,07	0,64 / 0,02	1,62 / 0,85
GFDL-CM2p1	–0,17 / 0,49	0,13 / 0,40	0,00 / 0,35	0,58 / 0,22	1,13 / 0,10	1,89 / 0,34
GFDL-CM3	–0,56 / 0,39	–0,51 / 0,95	–0,02 / 0,54	0,22 / 0,14	0,67 / 0,42	1,70 / 0,48
GFDL-ESM2G	1,59 / 0,41	1,45 / 0,35	1,67 / 0,08	1,76 / –0,06	2,20 / 0,39	4,34 / 0,50
GFDL-ESM2M	–0,09 / –0,01	0,17 / –0,16	0,52 / –0,01	0,50 / 0,37	0,66 / 0,19	1,26 / 0,84
GISS-E2-H	0,63 / 0,21	0,73 / 0,06	0,43 / 0,01	0,26 / 0,23	0,66 / 0,58	0,94 / 0,68
GISS-E2-H-CC	0,95 / –0,17	0,42 / 0,08	0,74 / 0,41	0,76 / 0,53	1,06 / 0,34	1,58 / 0,48
GISS-E2-R	0,53 / –0,05	0,70 / 0,07	1,03 / 0,43	0,90 / 0,51	0,52 / 0,50	1,57 / 0,45
GISS-E2-R-CC	0,02 / 0,57	–0,13 / 0,48	–0,03 / 0,28	0,41 / 0,26	0,92 / 0,23	1,68 / 0,25
HadCM3	1,34 / 0,45	1,22 / –0,06	0,86 / –0,10	0,72 / 0,61	0,00 / 0,49	1,39 / 0,58
HadGEM2-AO	0,71 / 0,09	0,87 / 0,57	1,14 / 0,89	0,75 / 0,69	0,64 / 0,30	1,60 / 0,58
HadGEM2-CC	0,86 / 0,79	1,14 / 0,36	1,07 / –0,32	0,88 / –0,05	0,65 / 0,31	1,88 / 0,77
HadGEM2-ES	0,81 / 0,54	0,38 / 0,20	0,53 / 0,09	0,63 / 0,60	0,81 / 0,66	1,17 / 0,42
inmcm4	–0,42 / 0,06	–0,25 / 0,32	–0,23 / 0,30	0,08 / 0,10	0,10 / 0,10	1,33 / 0,60
IPSL-CM5A-LR	–0,18 / 0,53	0,21 / 0,40	0,31 / 0,35	0,27 / 0,24	0,44 / 0,19	0,98 / 0,28
IPSL-CM5A-MR	0,95 / 0,37	0,74 / 0,63	0,72 / 0,37	0,40 / 0,14	–0,28 / 0,83	0,49 / 0,48
IPSL-CM5B-LR	0,30 / 0,52	0,29 / 0,46	0,08 / 0,03	–0,13 / 0,00	–0,18 / 0,21	0,73 / 0,50
MIROC4h	–0,25 / 0,21	0,16 / –0,22	0,28 / 0,39	0,56 / 0,59	0,56 / 0,42	1,38 / 0,44

Окончание табл. 2

MIROC5	1,80 / 0,69	1,19 / 0,19	0,79 / 0,29	0,94 / 0,46	1,04 / 0,60	2,40 / 0,33
MIROC-ESM	-0,12 / 0,14	-0,07 / 0,25	0,16 / 0,46	0,38 / 0,26	0,39 / 0,49	1,23 / 0,41
MIROC-ESM-CHEM	0,08 / 0,83	-0,42 / 1,01	-0,19 / 0,65	0,26 / 0,14	0,48 / 0,30	1,43 / 0,66
MPI-ESM-LR	-0,43 / -0,43	0,20 / -0,07	0,14 / -0,07	0,43 / 0,09	0,75 / 0,36	1,47 / 1,02
MPI-ESM-MR	1,19 / -0,08	1,00 / 0,24	0,60 / 0,11	0,57 / 0,43	0,80 / 0,43	1,55 / 0,51
MPI-ESM-P	0,65 / 0,55	1,01 / 0,37	0,80 / 0,56	0,36 / 0,39	0,40 / 0,21	1,04 / 0,28
MRI-CGCM3	0,07 / 0,12	-0,14 / 0,17	-0,31 / 0,37	-0,06 / -0,06	0,34 / -0,17	1,46 / 0,80
MRI-ESM1	0,67 / 0,08	0,42 / 0,08	0,27 / 0,00	0,57 / 0,01	0,77 / -0,01	1,18 / 0,94
NCEP2	0,21 / 0,17	-0,11 / 0,04	0,01 / 0,36	-0,14 / 0,30	0,27 / 0,18	1,31 / 0,54
NorESM1-M	1,06 / 0,38	0,96 / 0,15	0,59 / 0,14	0,35 / 0,18	1,09 / 0,78	1,49 / 0,63
NorESM1-ME	0,57 / 0,62	0,72 / 0,67	0,52 / 0,34	0,01 / -0,14	0,17 / 0,17	0,74 / 0,50

Примечание. Полужирным шрифтом выделены модели, отобранные в результирующий ансамбль.

архивы NCEP2 и CRU ts 3.22 (10 и 8 раз соответственно). Последние два архива наименьшее число раз оказались лучшими (по 4 раза каждый), в то время как архивы Era-Interim и CRUTEM4 стали лучшими 9 и 8 раз. Это согласуется с выводами в работах [Жильцова, Анисимов, 2009; Anisimov et al., 2007], где по результатам сравнения интерполированных данных архивов в местоположения метеостанций наилучший результат показала предыдущая версия архива ERA-40. При региональном осреднении архив CRUTEM4 показывает близкий результат, но он имеет очень низкое пространственное разрешение.

Анализ воспроизведения значений годовых сумм количества осадков в работе [Жильцова, Анисимов, 2009] показал, что архивы, основанные на реанализе, обладают большой погрешностью и значительно уступают в точности воспроизведения количества осадков архивам, использующим методы интерполяции данных с метеостанций.

Результаты исследований и их обсуждение.

Климатические проекции. Нами для оценки будущих изменений климата использованы результаты расчетов по гидродинамическим моделям, исчерпывающий обзор которых дан в [Кокорев, Анисимов, 2013]. В современной климатологии их принято называть проекциями, поскольку (в отличие от прогнозов) изначально не предполагается, что они с большой вероятностью реализуются в будущем. Проекция представляет собой различные траектории развития климатической системы, расчет которых выполнен в соответствии с заданными условиями изменения климатообразующих факторов, прежде всего концентрации парниковых газов (ПГ) в атмосфере. Заданные условия в свою очередь принято называть сценариями. Нами основное внимание уделено оценке неопределенности модельных проекций для Российской Арктики. Несмотря на значительное улучшение качества современных моделей CMIP5 по сравнению с предшествующим поколением моделей CMIP3, она остается высокой [Flato et al., 2013]. Дальнейшее совершенствование моделей может несколько уменьшить неопределенность проекций, связанную с межмодельными раз-

личиями. Принципиальное и неустранимое ограничение – отсутствие точных оценок антропогенной эмиссии ПГ, по которым рассчитывается воздействие на климат.

Разработаны четыре сценария эмиссии ПГ: RCP8.5 [Riahi et al., 2011], RCP6 [Masui et al., 2011], RCP4.5 [Thomson et al., 2011] и RCP2.6 [van Vuuren et al., 2011]. Аббревиатура RCP (Representative Climate Pathway) указывает на то, что в основу положены разные модели глобального экономического развития, последующие цифры указывают итоговую величину радиационного воздействия к 2100 г., т.е. обусловленные эмиссиями ПГ увеличение глобального радиационного баланса (Вт/м²). В практическом плане сценарий RCP2.6 не представляет интереса, поскольку он был разработан с тем, чтобы изучить картину гипотетического мира, в котором уже сейчас значительно сокращены эмиссии парниковых газов. Оказалось, что даже в этом случае глобальная температура к середине XXI в. повысилась бы на 1 °C с последующей стабилизацией. Три других сценария к середине XXI в. дают глобальное потепление на 1,4; 1,3; и 2,0 °C соответственно и последующее увеличение на 1,8; 2,2; и 3,7 °C до конца XXI в. [IPCC, 2013]. Если же оценивать изменение климата до 2030 г., то различия глобальной температуры, рассчитанной по любой модели для всех сценариев RCP, не превышают 0,2 °C, что в 2 раза меньше межмодельного разброса, который для каждого RCP составляет около 0,4 °C [Stocker et al., 2013]. На региональном уровне наибольшие различия как между моделями, так и между RCP выявлены для Арктики [Collins et al., 2013]. Рассмотрим результаты наиболее агрессивного сценария RCP8.5.

Широкое распространение получил ансамблевый метод, состоящий в том, что расчеты по большому числу моделей усредняются и случайные ошибки компенсируются. Считается, что чем больше моделей входит в ансамбль, тем более точен результат. Однако в ряде работ [Анисимов, Кокорев, 2013; Knutti, 2010] показана целесообразность проводить тестирование и исключать модели с большой ошибкой. Нами проведено тестирование 46

моделей CMIP5 по тому, как они воспроизводят температурные характеристики и осадки в регионах Российской Арктики за исторический период. Полностью результаты представлены в электронном приложении к статье, здесь же рассматриваются лишь два параметра теплообеспеченности – зимняя и летняя температура. Первая – важный показатель, на основе которого проводятся экономические расчеты затрат на отопление и потребление транспортного топлива, вторая важна для оценки биоклиматических показателей (продолжительность вегетационного периода и сумма значений температуры) и инженерно-строительных характеристик (температура и глубина сезонно-талого слоя многолетнемерзлых грунтов). В табл. 2 сравниваются тренды

этих параметров, рассчитанные по моделям и по данным наблюдений за 1981–2005 гг. В сравнение добавлены также рассмотренные выше сеточные архивы. Для каждого региона рассчитывалась относительная ошибка, определяемая как разность модельного и наблюдаемого трендов, деленная на наблюдаемый тренд и взятая по абсолютной величине. В последнем столбце табл. 2 приведены значения этой ошибки, осредненные по 5 регионам Российской Арктики.

Можно отметить, что лучшие модели дают результат, сопоставимый с некоторыми сеточными архивами, однако лучшие архивы обладают заметно меньшей погрешностью, чем все модели. При переходе к значениям сезонной температуры точ-

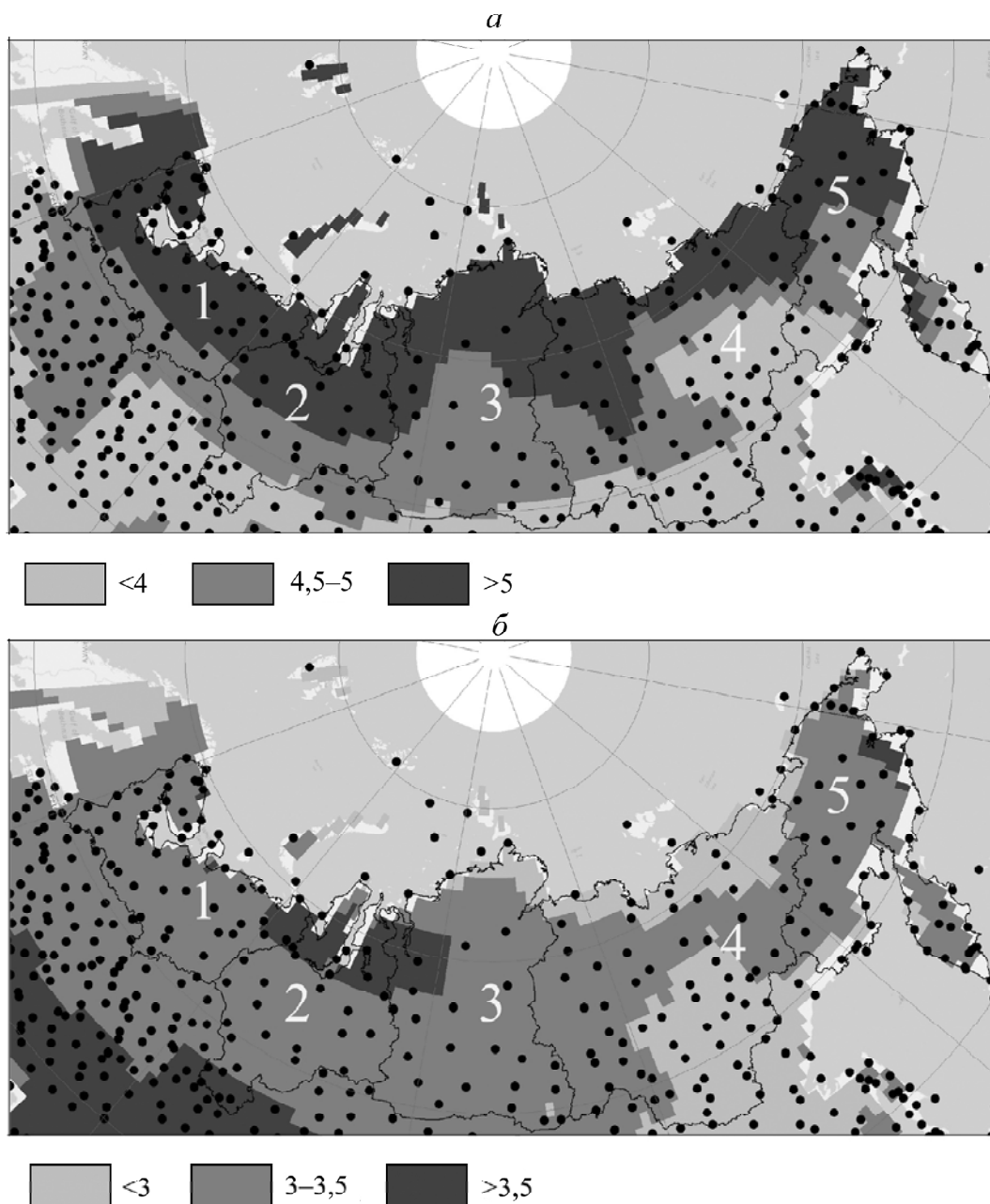


Рис. 2. Проекция зимней (а) и летней (б) температуры воздуха (в отклонениях от нормы за период 1961–1990 гг.) на середину XXI в. по оптимальному ансамблю моделей. Цифры на рисунке – номера регионов

Fig. 2. Optimal ensemble projection of winter (a) and summer (b) air temperature for the mid-21st century (deviations from the 1961–1990 means). Numbers are for the Russian Arctic regions (see Fig. 1)

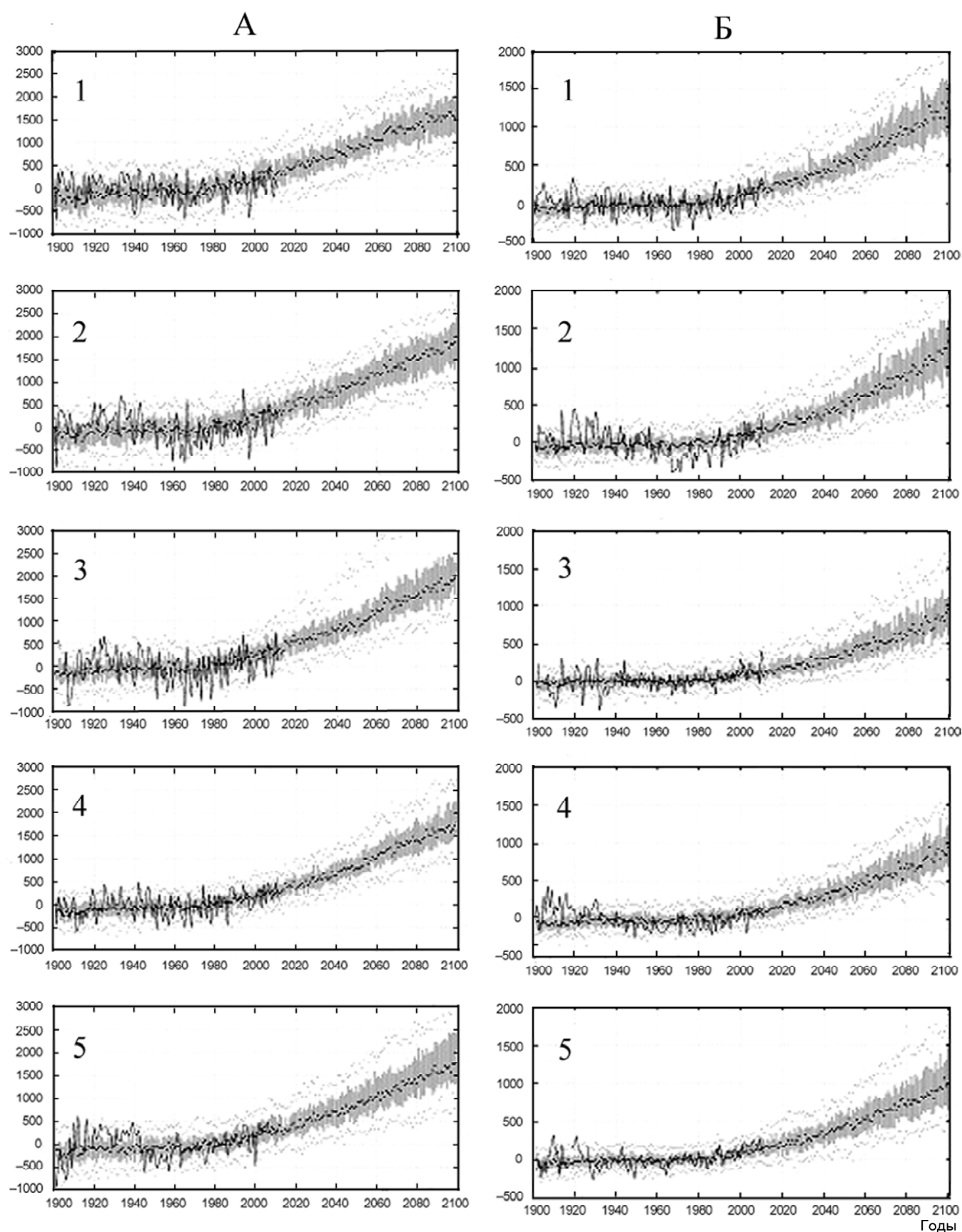


Рис. 3. Изменения в XX и XXI в. сумм отрицательной температуры за отопительный период (А) и сумм положительной температуры (Б) в отклонениях от нормы 1961–1990. Цифры на рисунке – номера регионов (см. рис. 1)

Fig. 3. Changes of the sums of below-zero (A) and above-zero (B) temperatures during the heating period for the 20th and 21st centuries (deviations from the 1961–1990 means). Numbers are for the Russian Arctic regions (see Fig. 1)

ность воспроизведения трендов моделями уменьшается, чем у сеточных архивов, но лучшие модели все же дают погрешность, близкую к погрешности сеточных архивов с низким рейтингом.

Результаты тестирования дают возможность уменьшить неопределенность оценки влияющих параметров в рассматриваемых регионах и построить оптимальную ансамблевую климатическую проекцию, усреднив результаты лишь тех моделей, ошибка которых не превышает заданной величины. В нашем случае были выбраны 15 моделей (выделены полужирным шрифтом в табл. 2), ошибки которых по трендам как зимней, так и летней температуры не превышали средние по всему рассмотренному ансамблю, составившие в целом для Российской Арктики 1,47 и 0,55 соответственно.

Изменения климата Арктики в XXI веке. Проекция зимней и летней температуры воздуха (в отклонениях от нормы за период 1961–1990 гг.) на середину XXI в. по оптимальному ансамблю показаны на рис. 2. Во всех районах Арктики зимняя температура может увеличиться на 5 °C и более. Обращает на себя внимание прогнозируемая картина изменения летней температуры, в которой отсутствует широтная зональность. Прогнозируется максимальное увеличение до 4 °C на ограниченной территории вблизи Арктического побережья Центральной Сибири, увеличение не более чем на 2,5 °C на всей территории Якутии и промежуточное по величине потепление в остальных регионах.

Анализ результатов для других сезонов и для осадков (приведены в электронном приложении к статье) показывает, что значительный рост температуры на 5 °C и более ожидается также осенью на прибрежной территории во всех регионах Российской Арктики. Во все сезоны (кроме летнего) изменения подчинены широтной зональности. Годовые и сезонные суммы количества осадков будут увеличиваться повсеместно в арктической области России. Можно отметить прогнозируемый сильный рост количества осадков осенью и зимой на ЕТР по сравнению с их умеренным увеличением в Сибири.

На рис. 3 показаны изменения в XX и XXI вв. двух экономически важных показателей – дефицита тепла за отопительный период (А) и сумм положительных значений температуры (Б). Непрерывными линиями показаны результаты, рассчитанные по данным наблюдений. Статистика результатов

расчетов по оптимальному ансамблю моделей представлена в виде компактной диаграммы («ящик с усами»), на которой показаны медианы (черные точки в средней части диапазона), нижний и верхний квартили по всем моделям (обозначены серой заливкой) и выбросы, т.е. 5%-ные и 95%-ные квантили распределения (обозначены серыми точками по краям распределения).

Полученные данные полностью соответствуют парадигме антропогенного изменения климата, в частности такому ее индикаторному показателю, как больший рост температурных минимумов по сравнению с максимумами, что прослеживается на всех временных и пространственных масштабах. В соответствии с этим данные наблюдений, а также модельные проекции указывают на уменьшение дефицита тепла за отопительный период во всех регионах Арктики, темп которого будет возрастать в XXI в. Суммы положительных температур также будут увеличиваться, но не столь интенсивно. Можно отметить асимметричное относительно медианы расположение выбросов модельных оценок уменьшения дефицита тепла, что особенно ярко выражено для Центральной Сибири (регион 3), где небольшое число моделей предсказывает потепление, намного превосходящее среднее по ансамблю. Это может свидетельствовать о необходимости дальнейшего совершенствования моделей в части описания сложных процессов формирования термического режима поверхности в зимний период при наличии температурных инверсий, характерных для Сибири и Якутии.

Выводы:

- климатические модели и архивы протестированы по большому набору параметров, результаты доступны в веб-приложении URL: <http://permafrost.su/gcm.html>;
- лучшие глобальные сеточные архивы хорошо согласуются с данными наблюдений на метеостанциях и обладают небольшой погрешностью на территории России;
- оптимально отобранный ансамбль климатических моделей удовлетворительно воспроизводит современные изменения климата в Российской Арктике;
- для оценки современных и ожидаемых в будущем изменений климата арктических регионов России можно использовать сеточные архивы и оптимизированную ансамблевую климатическую проекцию.

Благодарности: Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-37-00038).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX и начале XXI веков по данным наблюдений // Метеорология и гидрология. 2012. № 6. С. 95–107.

Анисимов О.А., Кокорев В.А. Об оптимальном выборе гидродинамических моделей для оценки влияния изменений климата на криосферу // Лед и снег. 2013. Т. 121, № 1. С. 83–92.

Анисимов О.А., Лобанов В.А., Ренева С.А. Анализ изменений температуры воздуха на территории России и эмпирический прогноз на первую четверть XXI века // Метеорология и гидрология. 2007. № 10. С. 20–30.

Аржанов М.М., Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние климатических изменений над сушей вне тропических широт на динамику многолетнемерзлых грунтов при сценариях RCP в XXI в.

по расчетам глобальной климатической модели ИФА РАН // Метеорология и гидрология. 2013. № 7. С. 31–42.

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: ФГБУ НИЦ «Планета», 2014. 58 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2014 год. М.: Росгидромет, 2015. 107 с.

Жильцова Е.Л., Анисимов О.А. О точности воспроизведения температуры и осадков на территории России глобальными климатическими архивами // Метеорология и гидрология. 2009. № 10. С. 79–90.

Кокорев В.А., Анисимов О.А. Построение оптимизированной ансамблевой климатической проекции для оценки последствий изменений климата на территории России // Проблемы экологического моделирования и мониторинга экосистем. Т. 25. М.: Планета, 2013. С. 131–153.

Стрелецкий Д.А., Шикломанов Н.И., Гребенец В.И. Изменение несущей способности мерзлых грунтов в связи с потеплением климата на севере Западной Сибири // Криосфера Земли. 2012. Т. 16, № 1. С. 22–32.

Шерстюков Б.Г., Шерстюков А.Б. Оценки тенденций усиления лесных пожаров в России до конца XXI в. по данным сценарных экспериментов климатических моделей пятого поколения // Метеорология и гидрология. 2014. № 5. С. 17–30.

Anisimov O.A., Kokorev V.A., Ziltova E.L. Temporal and Spatial Patterns of Modern Climatic Warming: Case Study of Northern Eurasia // Climatic Change. 2013. Vol. 118, N 3. P. 871–883.

Anisimov O.A., Lobanov V.A., Reneva S.A. et al. Uncertainties in gridded air temperature fields and their effect on predictive active layer modeling // J. Geophys. Res. 2007. Vol. 112, Iss. F02. Doi:10.1029/2006JF000593.

Collins M., Knutti R., Arblaster J. et al. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 1029–1136.

Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc. 2011. Vol. 137, N 656. P. 553–597.

Flato G., Marotzke J., Abiodun B. et al. Evaluation of Climate Models // Climate Change 2013: The Physical Science Basis.

Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 741–866.

Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // Intern. J. Climat. 2014. Vol. 34, N 3, P. 623–642.

IPCC Summary for Policymakers / Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 1–30.

Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J. et al. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // J. Geophys. Res. Atmospheres. 2012. Vol. 117, N. D5. P. 2156–2202. Doi: 10.1029/2011JD017139.

Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J. et al. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2002. Vol. 83, N 11. P. 1631–1643.

Knutti R. The end of model democracy? // Climatic Change. 2010. Vol. 102. P. 395–404.

Masui T., Matsumoto K., Hijioka Y. et al. An emission pathway for stabilization at 6 Wm⁻² radiative forcing // Climatic Change. 2011. Vol. 109, N 1–2. P. 59–76.

Riahi K., Rao S., Krey V. et al. RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions // Climatic Change. 2011. Vol. 109. P. 33–57.

Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): climate change and the cryosphere. Oslo, Norway, 2011. 538 p.

Stephenson S.R., Smith L.C., Agnew J.A. Divergent long-term trajectories of human access to the Arctic // Nature Climate Change. 2011. Vol. 1, N 6. P. 156–160.

Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. et al. Technical Summary / Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 33–115.

Thomson A.M., Calvin K.V., Smith S.J. et al. RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100 // Climatic Change. 2011. Vol. 109. P. 77–94.

van Vuuren D.P., Stehfest E., den Elzen M.G.J. et al. RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 °C // Climatic Change. 2011. Vol. 109. P. 95–116.

Поступила в редакцию 02.11.2015

Принята к публикации 11.12.2015

O.A. Anisimov¹, V.A. Kokorev²

CLIMATE IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA: ANALYSIS OF CURRENT CHANGES AND MODELING TRENDS FOR THE 21ST CENTURY

Data on temperature and precipitation within the Russian Arctic, taken from the different sources, such as weather stations, gridded archives and CMIP5 ESM, are compared. The accuracy of each archive was estimated and the ESMs were tested against the data of observations in the Russian Arctic for the historical period. The ranking was applied to develop an ESMs projection for the 21st century which integrates the results of high-quality models, and to evaluate its uncertainty

Key words: air temperature, precipitation, climate projection.

Acknowledgements. The study was supported by Russian Science Foundation (project 14-37-00038).

¹ Russian Federal State Budgetary Organization «State Hydrological Institute», Climate Change Research Department, Head of the Department, D.Sc. in Geography; e-mail: oleg@oa7661.spb.edu

² Russian Federal State Budgetary Organization «State Hydrological Institute», Climate Change Research Department, post-graduate student; e-mail: vasilykokorev@gmail.com

REFERENCES

- Anisimov O.A., Kokorev V.A. Ob optimal'nom vybore gidrodinamicheskikh modelej dlja ocenki vlijanija izmenenij klimata na kriosferu [On the optimal selection of hydrodynamical models for evaluation of climate change impacts on permafrost], *Led i Sneg*, 2013, Vol. 121, no 1, pp. 83–92 (in Russian).
- Anisimov O.A., Kokorev V.A., Ziltcova E.L. Temporal and spatial patterns of modern climatic warming: Case study of Northern Eurasia // *Climatic Change*. 2003. Vol. 118, N 3. P. 871–883.
- Anisimov O.A., Lobanov V.A., Reneva S.A. Analiz izmenenij temperatury vozduha na territorii Rossii i jempiricheskij prognoz na pervuju chetvert' 21 veka [Analysis of air temperature in Russia and empirical forecast for the first quarter of the 21st century], *Meteorologija i gidrologija*, 2007, no 10, pp. 20–30 (in Russian).
- Anisimov O.A., Lobanov V.A., Reneva S.A. et al. Uncertainties in gridded air temperature fields and their effect on predictive active layer modeling // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112, Iss. F02. Doi:10.1029/2006JF000593.
- Anisimov O.A., Zhil'cova E.L. Ob ocnkah izmenenij klimata regionov Rossii v 20 i nachale 21 vekov po dannym nabljudenij [Evaluating regional climate change in Russia in 20th and early 21st century using observational data], *Meteorologija i gidrologija*, 2012, no 6, pp. 95–107 (in Russian).
- Arzhanov M.M., Eliseev A.V., Mohov I.I. Vlijanie klimaticheskikh izmenenij nad sushej vntropicheskikh shirot na dinamiku mnogoletnemerzlykh gruntov pri scenarijah RCP v XXI v. po raschetam global'noj klimaticheskoy modeli IFA RAN [Effect of climate change over terrestrial extratropical latitudes on permafrost dynamics under the RCP scenarios for XXI century calculated by the global climate model of IFA RAS], *Meteorologija i gidrologija*, 2013, no 7, pp. 31–42 (in Russian).
- Collins M., Knutti R., Arblaster J. et al. Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 1029–1136.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // *Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc.* 2011. Vol. 137, N 656. P. 553–597.
- Doklad ob osobennostjah klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2014 god [Report on the state of climate in Russia in 2014], Moscow: Rosgidromet, 2015, 107 p. (in Russian).
- Flato G., Marotzke J., Abiodun B. et al. Evaluation of Climate Models // *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 741–866.
- Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset // *Internat. J. Climat.* 2014. Vol. 34, N 3, P. 623–642.
- IPCC Summary for Policymakers / *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 1–30.
- Jones P.D., Lister D.H., Osborn T.J. et al. Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010 // *J. Geophys. Res. Atmospheres*. 2012. Vol. 117, N D5. P. 2156–2202. Doi: 10.1029/2011JD017139.
- Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J. et al. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // *Bull. Amer. Meteorol. Soc.* 2002. Vol. 83, N 11, P. 1631–1643.
- Knutti R. The end of model democracy? // *Climatic Change*. 2010. Vol. 102. P. 395–404.
- Kokorev V.A., Anisimov O.A. Postroenie optimizirovannoj ansamblevoj klimaticheskoy proekcii dlja ocenki posledstvij izmenenij klimata na territorii Rossii [Constructing optimal ensemble climate projection for studying the climate change impacts in Russia], *Problemy jekologicheskogo modelirovanija i monitoringa jekosistem*, Moscow, Planeta, 2013, Vol. 25, pp. 131–153 (in Russian).
- Masui T., Matsumoto K., Hijioka Y. et al. An emission pathway for stabilization at 6 Wm⁻² radiative forcing // *Climatic Change*. 2011. Vol. 109, N 1–2. P. 59–76.
- Riahi K., Rao S., Krey V. et al. RCP 8.5-A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions // *Climatic Change*. 2011. Vol. 109. P. 33–57.
- Sherstjukov B.G., Sherstjukov A.B. Ocenki tendencij usilenija lesnyh pozharov v Rossii do konca XXI v. po dannym scenaryh jeksperimentov klimaticheskikh modelej pjatogo pokolenija [Assessment of increasing forest fires in Russia by the end of the XXI century based on experiments with the climate models of the fifth generation], *Meteorologija i gidrologija*, 2014, no 5, pp. 17–30 (in Russian).
- Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA): climate change and the cryosphere. Oslo, Norway, 2011. 538 p.
- Stephenson S.R., Smith L.C., Agnew J.A. Divergent long-term trajectories of human access to the Arctic // *Nature Climate Change*. 2011. Vol. 1, N 6. P. 156–160.
- Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K. et al. Technical Summary / *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. P. 33–115.
- Streleckij D.A., Shiklomanov N.I., Grebenec V.I. Izmenenie nesushhej sposobnosti merzlykh gruntov v svjazi s potepleniem klimata na severe Zapadnoj Sibiri [Changes of permafrost bearing capacity due to climatic warming on the in North West Siberia], *Kriosfera Zemli*, 2012, Vol. 16, no 1, pp. 22–32 (in Russian).
- Thomson A.M., Calvin K.V., Smith S.J. et al. RCP4.5: A pathway for stabilization of radiative forcing by 2100 // *Climatic Change*. 2011. Vol. 109. P. 77–94.
- van Vuuren D.P., Stehfest E., den Elzen M.G.J. et al. RCP2.6: Exploring the possibility to keep global mean temperature increase below 2 °C // *Climatic Change*. 2011. Vol. 109. P. 95–116.
- Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. Obshee rezjume [Second assessment report on climate change and its impacts in Russia. General summary], Moscow: FGBU NIC «Planeta», 2014. 58 p. (in Russian).
- Zhil'cova E.L., Anisimov O.A. O tochnosti vosproizvedenija temperatury i osadkov na territorii Rossii global'nymi klimaticheskimi arhivami [On the accuracy of air temperature and precipitation replicated by global climate archives], *Meteorologija i gidrologija*. 2009, no 10, pp. 79–90 (in Russian).

Received 02.11.2015

Accepted 11.12.2015

УДК 598.2.9591.553(571.56)

А.А. Романов¹, Е.В. Мелихова²

ГЕОГРАФИЯ И СТРУКТУРА АВИФАУНЫ ГОРНЫХ ОБЛАСТЕЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Исследована авифауна гор Восточной Сибири: хребты Черского, Сунтар-Хаята, Сетте-Дабан и Эльгинское плоскогорье. Уточнены ареалы 16 видов птиц. В регионе установлено гнездование 93 видов птиц. Максимальное видовое разнообразие отмечено на хребте Черского ($n=71$). В горно-таежном поясе разных гор Восточной Сибири гнездится 63–64 вида (89–97%), в подгольцовом – 13–33 вида (20–47%), в гольцовом – 8–15 видов (12–21%). Выявлено сокращение с севера на юг числа видов, обитающих в широком диапазоне высоты, охватывающем не менее двух высотных поясов. Сходство авифаун разных горных хребтов на уровне горно-таежного пояса – 69% (53%), на уровне подгольцового – 26% (15%), на уровне гольцового – 52% (35%). Плотность населения птиц в горно-таежном поясе Восточной Сибири составляет 521–526 особей/км², в подгольцовом – 58–100 особей/км², в гольцовом – 81–178 особей/км².

Ключевые слова: авифауна, население, ареал, распространение, видовое разнообразие, горы Восточной Сибири, высотные пояса.

Введение. Исследования лежат в сфере изучения географических аспектов пространственной организации фауны птиц и направлены на оценку биоразнообразия гор Восточной Сибири. Географические аспекты фаунистического разнообразия птиц этих горных территорий до сих пор изучены неудовлетворительно. Немногочисленные данные о распространении, обилии и экологии отдельных видов рассредоточены в статьях [Борисов и др., 2011; Брунов, 2001; Емельянова, Брунов, 1987] и монографиях [Воробьев, 1963; Кишинский, 1988; Находкин и др., 2008; Рябицев, 2014]. Данные в обзорных работах [Блинова, Равкин, 2008; Вартапетов, Гермогенов, 2011; Романов, 2013] очень генерализованы. При изучении биологического разнообразия познание фаунистических комплексов обширных горных регионов признается одним из актуальных вопросов [Гермогенов, Вартапетов, 2010; Касимов, 2002; Лебедева, Криволуцкий, 2002]. Очевидным вкладом в его разрешение может стать выявление биогеографических закономерностей формирования авифауны гор Восточной Сибири.

Основная цель исследований – комплексный анализ авифауны гор Восточной Сибири в свете эколого-географических закономерностей ее формирования.

Материалы и методы исследований. Объект исследований – авифауна гор Восточной Сибири: хребтов Черского, Сунтар-Хаята, Сетте-Дабан и Эльгинского плоскогорья. Проанализированы данные о гнездовой авифауне горных регионов, расположенных в пределах 63°00'–64°40' с.ш., 138°00'–143°00' в.д. в подзоне северной тайги, где выражены гольцовый, подгольцовый и горно-таежный высотно-ландшафтные пояса [Гвоздецкий, Михай-

лов, 1987; Голубчиков, 1996; Куваев, 2006]. Для анализа привлечены результаты маршрутных учетов птиц, проведенных нами с 19 мая по 6 июля 2015 г. по методике Ю.С. Равкина [1967]. Суммарная протяженность учетных маршрутов составила 389 км, из которых 302 км – в горно-таежном поясе, 58 км – в подгольцовом поясе, 29 км – в гольцовом поясе. Сходство авифаун сравниваемых горных систем определялось по коэффициенту фаунистической общности, рассчитанному по формуле Серенсена [Чернов, 2008], а сходство населения птиц – по коэффициенту сходства населения птиц [Наумов, 1964]. Фауна гнездящихся птиц охарактеризована по типам фаун [Штегман, 1938] и в свете представлений о географо-генетических группах птиц [Кишинский, 1988; Чернов, 1978]. Нами рассмотрены только границы гнездового ареала птиц, номенклатура – по Л.С. Степаняну [2003].

Результаты исследований и их обсуждение. Таксономическая структура авифауны. В горах Восточной Сибири гнездится 93 вида птиц. В гнездовой авифауне отдельных горных хребтов представлено 71–76% авифауны всего региона, что указывает на общую однородность авифауны рассматриваемой части материковой суши. Таксономическая структура гнездовой авифауны в целом сохраняется на всем протяжении от хр. Черского до хр. Сетте-Дабан и соответствует зональным и ландшафтным особенностям рассматриваемой части Азии с доминированием 4 отрядов, характерных для бореального и гипоарктического поясов Палеарктики: воробьинообразных (Passeriformes) (54 вида, 58%), ржанкообразных (Charadriiformes) (10 видов, 11%), гусеобразных (Anseriformes) и соколообразных (Falconiformes) – по 7 видов (7,5%). Суммарно доля

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, профессор, докт. биол. н.; e-mail: putogana05@mail.ru

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, аспирантка; e-mail: max-kun@yandex.ru

этих отрядов в горах Восточной Сибири составляет 84% отмеченных видов. От хр. Черского в направлении к хр. Сетте-Дабан доля воробьинообразных и соколообразных возрастает от 65 до 71%, а доля жаворочкообразных и гусеобразных уменьшается от 21 до 16%. Во всех высотных поясах наиболее значим отряд воробьинообразных.

Географическая дифференциация авифауны. Установлено, что в пределах горных районов Восточной Сибири центр относительного видового разнообразия расположен на хр. Черского (71 вид). На юго-запад, в сторону хр. Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан, видовое разнообразие авифауны снижается на 12% (гнездовой – на 7%), т.е. до 66 видов. Повышенное видовое разнообразие авифауны хр. Черского объясняется максимально высоким разнообразием экологических условий и как следствие весьма широким спектром местообитаний для самых разных видов птиц.

Видовой состав птиц, гнездящихся на самом северо-востоке (хр. Черского) и юго-западе (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) обследованного региона, совпадает более чем на 50%. Одновременно в двух районах гнездится 49 видов птиц, формирующих общее фаунистическое ядро. Большинство из них широко распространены в северной и средней тайге, лесотундре и частично в южной тундре. Коэффициент общности авифаун этих районов – 72%. Формирование достаточно однородной авифауны в этой области Северной Азии, вероятно, связано с тем, что перестройки экосистем большинства горных систем Якутии в плейстоцене были менее катастрофичны, чем в экосистемах других гор Северной Азии. Такой вывод сделан по результатам более чем 30 специальных публикаций, обобщенных и проанализированных нами ранее [Романов, 2013]. Это обусловило в целом относительно более стабильное развитие местной авифауны, отдельные элементы которой имели возможность почти беспрепятственно расселяться по региону [там же]. Однородность авифауны указанных горных областей поддерживается также сходством современных экологических условий.

Выявлены различия в составе авифауны на северо-востоке (хр. Черского) и юго-западе (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) обследованного региона. Так, на северо-востоке зарегистрировано гнездование 22 видов, а на юго-западе – 17 видов.

В горах Северной Азии некоторые виды птиц проникают по нижним (лесным) частям долин крупных рек значительно севернее, чем по водоразделам [Кишинский, 1988; Романов, 2013]. Подобная ситуация выявлена в горной части долины р. Индигирка, где ареалы ряда локально распространенных здесь видов (рябинник (*Turdus pilaris* Linnaeus), белобровик (*Turdus iliacus* Linnaeus), певчий сверчок (*Locustella certhiola* (Pallas)), чеглок (*Falco subbuteo* Linnaeus), черныш (*Tringa ochropus* Linnaeus), обыкновенная пустельга (*Falco tinnunculus* Linnaeus), свиристель (*Bombycilla garrulus* (Linnaeus))) приобретают очертания свое-

образных языков», максимально выступающих в северном направлении. «Другие виды (обыкновенный бекас (*Gallinago gallinago* (Linnaeus)), теньковка (*Phylloscopus collybita* (Vieillot)), вьюрок (*Fringilla montifringilla* Linnaeus), обыкновенная чечевица (*Carpodacus roseus* (Pallas))), шире распространенные на северо-востоке обследованного региона, в горной части долины р. Индигирка достигают максимального обилия.

Распространение видов птиц. В 2015 г. нами зарегистрирован ряд видов ($n=16$), статус пребывания и характер географического распространения которых в горах Восточной Сибири до сих пор неизвестны, неточны или крайне противоречивы [Брунов, 2001; Емельянова, Брунов, 1987; Находкин и др., 2008; Рябицев, 2014; Степанян, 2003].

В пределах горных территорий обширного водораздела бассейнов рек Лена и Индигирка уточнен северный предел распространения (приблизительно по параллели $64^{\circ}40'$ с.ш.) для большого улиты (*Tringa nebularia* (Gunnerus)), малой чайки (*Larus minutus* Pallas), вертишейки (*Jynx torquilla* Linnaeus), сибирского конька (*Anthus gustavi* Swinhoe).

На хребтах Черского и Сунтар-Хаята выявлены новые, ранее неизвестные территориальные фрагменты ($64^{\circ}27'$ с.ш., $143^{\circ}20'$ в.д.; $63^{\circ}12'$ с.ш., $139^{\circ}27'$ в.д. соответственно) весьма мозаичного ареала типично горного вида – альпийской завирушки (*Prunella collaris* (Scopoli)).

Мы предполагаем, что некоторые виды, впервые зарегистрированные нами в горах Восточной Сибири, появились здесь в результате гнездования за пределами их основного ареала или, возможно, даже расширения основной его части. Пребывание таких видов птиц, как зеленая пеночка (*Phylloscopus trochiloides* (Sundevall)), соловей-свистун (*Luscinia sibilans* (Swinhoe)), оливковый дрозд (*Turdus obscurus* Gmelin), пестрый дрозд (*Zoothera dauma* (Latham)), чиж (*Spinus spinus* (Linnaeus)), желтобровая овсянка (*Emberiza chrysophrys* Pallas), мы зарегистрировали в тайге речных долин на хр. Сетте-Дабан, расположенном на удалении 70–250 км от известных ранее северных границ основного ареала этих видов. Такие виды, как рябинник, корольковая (*Phylloscopus proregulus* (Pallas)) и бурая (*Phylloscopus fuscatus* (Blyth)) пеночки, как показали наши исследования, проникают не только на хр. Сетте-Дабан, но и значительно севернее – вплоть до юго-восточных отрогов хр. Черского включительно. Вероятно, отмеченная динамика границ ареалов указывает на продолжение расселения видов и формирование авифауны гор Восточной Сибири. Недостаточный объем наблюдений не позволяет сделать репрезентативные выводы о положительных трендах динамики северных границ ареалов. Однако в пользу этого свидетельствует тот факт, что благодаря видам-иммигрантам, расселяющимся из более южных областей, за несколько прошедших десятилетий видовое разнообразие в субарктических горах Якутии увеличилось на 6% [Романов, 2013].

Горные хребты Восточной Сибири представляют безусловный интерес в зоогеографическом плане. Выявленный в этом регионе характер распространения видов птиц позволяет констатировать, что здесь проходит не только северный, но и отчетливо выраженный южный предел распространения некоторых видов, например сибирского пепельного улиты (*Heteroscelus brevipes* (Vieillot, 1816)). В качестве зоогеографического рубежа наиболее отчетлива роль хр. Сетте-Дабан.

Существуют менее изученные закономерности распространения отдельных видов птиц внутри горных районов Восточной Сибири. Например, пока не выявлена причина того, что бурый дрозд (*Turdus eunomus* Temminck) не встречается севернее Эльгинского плоскогорья, в районах, где экологические условия потенциальных местообитаний абсолютно идентичны таковым на большей части гнездового ареала вида [Романов и др., 2015].

Неоднородность авифауны в условиях высотной поясности. В горах Восточной Сибири с высотой поступательно сокращаются видовое богатство, плотность населения птиц, обилие абсолютного большинства видов. Гнездовая авифауна на северо-востоке (хр. Черского) насчитывает 71 вид, в том числе авифауна горно-таежного пояса – 63 (89%), подгольцового – 33 (47%), гольцового – 15 (21%) видов. На юго-западе (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) гнездится 66 видов, в том числе в горно-таежном поясе – 64 (97%), в подгольцовом – 13 (20%), в гольцовом – 8 (12%) видов.

Видовой состав авифауны на северо-востоке (хр. Черского) обследованного региона при переходе от одного высотного-ландшафтного пояса к другому меняется постепенно. При наличии в авифауне каждого вертикального пояса специфичных видов авифауна двух соседних поясов имеет в составе много общих видов. На хр. Черского из 63 видов птиц, гнездящихся в горно-таежном поясе, и 33 видов – в подгольцовом, общими для авифаун обоих поясов являются 27 видов. Из 33 видов птиц, гнездящихся в подгольцовом поясе, и 15 видов – в гольцовом поясе, 11 видов общие для авифаун этих поясов.

На хр. Черского 39 видов (55%) местной гнездовой авифауны обитают только в одном высотном поясе, не заходя в соседние. Из числа таких видов горно-таежному поясу свойственны 34, подгольцовому – 3, гольцовому – 2 вида. На хребтах Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан только один высотный пояс населяют 49 видов (74%) местной гнездовой авифауны, из них горно-таежный – 47 видов, гольцовый – 2 вида. В подгольцовом поясе на юго-западе обследованного региона специфичные виды не отмечены. На хр. Черского 24 вида (34%) местной гнездовой авифауны обитают одновременно в двух высотных поясах. На хребтах Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан таких видов 15 (23%). Таким образом, установлено, что в горах Северо-Восточной Якутии с севера на юг сокращается число видов, обитающих в более широком диапазоне высоты, охватывающем не менее двух высотных поясов. Ареалы та-

ких видов, как правило, имеют явно выраженный трехмерный характер.

На северо-востоке (хр. Черского) обследованного региона два нижних пояса предпочитают 21 вид птиц, на юго-западе (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) – 15 видов птиц, в том числе зарничка (*Phylloscopus inornatus* (Blyth)) и синехвостка (*Tarsiger cyanurus* (Pallas)) в обоих районах. На северо-востоке в эту группу птиц также входят обыкновенная пустельга, белая куропатка (*Lagopus lagopus* (Linnaeus)), желна (*Dryocopus martius* (Linnaeus)), желтая трясогузка (*Motacilla flava* Linnaeus), кедровка (*Nucifraga caryocatactes* (Linnaeus)), сибирская завирушка (*Prunella montanella* (Pallas)), сероголовая гаичка (*Parus cinctus* Boddaert), щур (*Pinicola enucleator* (Linnaeus)), овсянка-ремез (*Emberiza rustica* Pallas), овсянка-крошка (*Emberiza pusilla* Pallas) и др., а на юго-западе – сибирский пепельный улит, обыкновенная (*Cuculus canorus* Linnaeus) и глухая (*Cuculus saturatus* Blyth) кукушки, горная (*Motacilla cinerea* Tunstall) и белая (*Motacilla alba* Linnaeus) трясогузки, пеночки зарничка и корольковая, бурый дрозд, вьюрок, обыкновенная чечетка (*Acanthis flammea* (Linnaeus)) и др.

Виды ($n=3$), одновременно населяющие два верхних пояса, зарегистрированы только на северо-востоке обследованного региона – на хр. Черского, это тундряная куропатка (*Lagopus mutus* (Montin)), американский конек (*Anthus rubescens* (Tunstall)) и обыкновенная каменка (*Oenanthe oenanthe* (Linnaeus)). На юго-западе исследованного региона эти виды не отмечены.

Выявлены виды, обитающие во всех трех высотных поясах. На северо-востоке подобный характер вертикального распространения имеют сибирский пепельный улит, обыкновенная кукушка, пятнистый конек (*Anthus hodgsoni* Richmond), горная трясогузка, ворон (*Corvus corax* Linnaeus), черноголовый чекан (*Saxicola torquata* (Linnaeus)), вьюрок и обыкновенная чечетка, на юго-западе – кедровка и обыкновенная чечевица. На северо-востоке эти виды ($n=8$) составляют 11% всех гнездящихся видов, на юго-западе – 3% ($n=2$).

В процессе сравнения гнездовых авифаун горно-таежного, подгольцового и гольцового поясов обследованных горных территорий выявлено, что горно-таежные пояса северо-восточного (хр. Черского) и юго-западного (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) районов имеют 44 общих вида, подгольцовые – 6, гольцовые – 6 видов. Среди видов, гнездящихся в горно-таежном поясе обоих районов, – пятнистый конек, зарничка, соловей-красношейка (*Luscinia calliope* (Pallas)), синехвостка, белокрылый клест (*Loxia leucoptera* Gmelin), овсянка-ремез; в подгольцах обоих районов – кедровка, зарничка, синехвостка, вьюрок, обыкновенная чечетка, обыкновенная чечевица; в гольцах обоих районов – сибирский пепельный улит, обыкновенная кукушка, пятнистый и американский коньки, горная трясогузка, альпийская завирушка.

Установлено, что максимальное сходство авифаун на северо-востоке и юго-западе проявляется на уровне горно-таежного пояса – 69% (53%), несколько меньшее – на уровне гольцов 52% (35%) и минимальное – в средней части высотного профиля на уровне подгольцов 26% (15%). В целом однородная горно-таежная авифауна в современном виде сформировалась в пределах единой области Северной Азии с повсеместным господством северо-таежных лесов и гипоарктических редколесий. В условиях непрерывности лесных ландшафтов и повсеместной сопряженности горных и равнинных типов лесов подавляющее большинство видов осваивают их повсеместно, так как не имеют непреодолимых преград, препятствующих расселению. Раздробленность, взаимная удаленность и изоляция участков подгольцовых и гольцовых поясов в совокупности с более разнообразными и нестабильными экологическими условиями обусловили меньшее сходство региональных авифаун на уровне каждого из этих поясов. Выявленные различия уровня общности соответствующих авифаун указывают на определенную автономность формирования авифауны на уровне каждого высотно-ландшафтного пояса.

Фаунистическая и географо-генетическая структура авифауны. Авифауна гор Восточной Сибири гетерогенна по происхождению. Она формируется видами 8 типов фаун [Штегман, 1938], из которых наиболее значимы на всех высотах элементы сибирского типа (33–62%). Неоднородна также авифауна региона по сочетанию формирующих ее представителей 7 географо-генетических групп, из которых наиболее представительны на всех высотах бореальные (12,5–54%), бореально-гипоарктические (12,5–23%) и широко распространенные (15–50%) виды. Доля альпийских (американский конек, альпийская завирушка, сибирский выюрок (*Leucosticte arctoa* Pallas)) и арктоальпийских (тундряная куропатка) видов существенна (20–25%) в формировании сообществ птиц исключительно гольцового пояса. Тем не менее именно эта группа видов определяет горную специфику всей авифауны Восточной Сибири.

Усиливает эту специфику ряд видов, в той или иной степени экологически также связанных с горным ландшафтом. Типичные обитатели стремительных горных потоков – каменуха (*Histrionicus histrionicus* (Linnaeus, 1758)), сибирский пепельный улит, горная трясогузка. К горному комплексу видов близка, на наш взгляд, и сибирская чечевица (*Carpodacus roseus* (Pallas)), пребывание которой в лесном поясе гор допустимо интерпретировать как элемент формирования горной специфики авифауны рассматриваемой области Северной Азии. Во-первых, ее ареал охватывает часть Северной Азии с доминированием горного (в том числе настоящего альпийского) и сопочно-увалистого рельефа [Степанян, 2003]. Во-вторых, несмотря на то что сибирская чечевица признается слабоизученным видом, числа точных описаний ее типичных гнездовых местобитаний из разных частей ареала вполне достаточ-

но, чтобы признать ее очевидную склонность к освоению горного ландшафта [Романов, 2013]. Несомненный успех активного проникновения сибирской чечевицы в горы предположительно можно объяснить наличием у нее определенных адаптаций к этому процессу. А сам процесс с точки зрения познания закономерностей формирования горной авифауны Северной Азии допустимо рассматривать как модельный.

Возможно, приблизительно с таких же позиций можно охарактеризовать освоение горных склоновых лесов Палеарктики синехвосткой. Этот вид широко распространен как в равнинной, так и в горной тайге, в том числе в лесном поясе гор Восточной Сибири [Степанян, 2003; Романов, 2009, 2013]. При этом особенности экологии вида позволяют предположить наличие у него определенных преадаптаций к освоению горного ландшафта, что находит отражение в его преимущественно горно-лесном распространении в обширных регионах Сибири и Дальнего Востока [Андреев и др., 2006; Воробьев, 1963; Романов, Мелихова, 2015]. В пользу этого предположения говорит также тот факт, что это единственный обычный таежный вид, для которого в Средней Сибири в 1988–2007 гг. выявлено существенное расширение гнездового ареала на север не на равнине (например, по долине Енисея или Лены), а в пределах обширного горного региона – на плато Путорана [Романов, 2009].

Пространственная структура населения птиц. Как на северо-востоке (хр. Черского), так и на юго-западе (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) обследованного региона плотность населения птиц в горно-таежном поясе максимальна (526 и 521 особь/км² соответственно), в гольцовом поясе минимальна (100 и 58 особей/км² соответственно), а в подгольцовом поясе имеет промежуточное значение (178 и 81 особь/км²). Плотность населения птиц в северной тайге обширных межгорных котловин Эльгинского плоскогорья составляет 279 особей/км².

С помощью коэффициента сходства подтвержден высокий уровень автономности населения птиц в разных высотных поясах во всех обследованных горах Северо-Восточной Якутии. На хр. Черского уровень сходства населения птиц горно-таежного и подгольцового поясов составляет 21,1%, подгольцового и гольцового – 7,5%, горно-таежного и гольцового – 3,1%. В юго-западном направлении уровень сходства населения птиц становится еще меньше. На хребтах Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан сходство населения птиц горно-таежного и подгольцового поясов составляет уже не более 12,2%, подгольцового и гольцового поясов – 3,3%, горно-таежного и гольцового поясов – 2,8%.

Максимальное сходство населения птиц северо-восточных (хр. Черского) и юго-западных (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) обследованных районов проявляется на уровне горно-таежного пояса и составляет 32%, несколько меньше оно на уровне гольцов – 24,4%, а минимально в средней части высотного профиля на уровне подгольцов – 7,7%.

Выявлен лишь один вид – зарничка, который численно доминирует в горно-таежном поясе как на северо-востоке (хр. Черского), так и на юго-западе (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) обследованного региона. На северо-востоке в числе доминантов горно-таежных сообществ отмечена также овсянка-крошка, а на юго-западе – корольковая пеночка, синехвостка и вьюрок. В горно-таежном поясе всех гор обследованного региона содоминируют горная трясогузка, обыкновенная чечевица, соловей-красношейка, пятнистый конек. На северо-востоке в эту группу видов входят также овсянка-ремез, синехвостка, теньковка, вьюрок, сибирская завирушка, черноголовый чекан, а на юго-западе – бурый дрозд, пеночки зеленая, бурая и таловка (*Phylloscopus borealis* (Blasius)), овсянка-крошка, кедровка.

Доминирующие виды в населении птиц подгольцового пояса на северо-востоке представлены овсянкой-крошкой, черноголовым чеканом и зарничкой, на юго-западе – синехвосткой, белой трясогузкой, бурым дроздом. Содомиnant подгольцовых сообществ обоих районов – кедровка. Только на северо-востоке в число содоминантов входят сибирская завирушка, пятнистый конек, обыкновенная чечетка, горная трясогузка, соловей-красношейка, щур, синехвостка, сибирская чечевица (*Carpodacus roseus* (Pallas)), тундряная куропатка, а на юго-западе – пеночки зарничка, таловка, зеленая и корольковая, вьюрок, дербник (*Falco columbarius* Linnaeus), обыкновенная чечевица.

Американский конек доминирует в населении птиц гольцового пояса как на северо-востоке (хр. Черского), так и на юго-западе (хребты Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан) обследованного региона. На северо-востоке в число доминантов гольцовых сообществ также входят обыкновенная каменка, горная трясогузка, а на юго-западе – альпийская завирушка, обыкновенная кукушка, кедровка. Группу видов, численно содоминирующих в населении гольцового пояса, на северо-востоке формируют сибирский вьюрок, альпийская завирушка, тундряная куропатка, вьюрок, обыкновенная кукушка, обыкновенная чечетка, черноголовый чекан, ворон, а на юго-западе – горная трясогузка, сибирский пепельный улит, обыкновенная чечевица, пятнистый конек.

Выводы:

– в горных районах Восточной Сибири, обследованных в 2015 г., зарегистрировано 93 гнездящихся вида птиц, в том числе на хр. Черского 71 вид, на хребтах Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан 66 видов. Показатель представленности общей гнездовой авифауны всего обследованного региона в отдельных

горных хребтах составляет 71–76%, что свидетельствует в пользу однородности авифауны рассматриваемой части материковой суши;

– с высотой сокращаются видовое богатство, плотность населения птиц, обилие абсолютного большинства видов. В горно-таежном поясе гнездятся 63–64 (89–97%) вида, в подгольцовом – 13–33 (20–47%), в гольцовом – 8–15 (12–21%) видов. Плотность населения птиц в горно-таежном поясе лежит в интервале 521–526, в подгольцовом – 58–100, гольцовом – 81–178 особей/км²;

– выявлено сокращение с севера на юг числа видов, обитающих в широком диапазоне высоты, охватывающем не менее двух высотных поясов. Сходство авифаун разных горных хребтов на уровне горно-таежного пояса – 69% (53%), на уровне подгольцового – 26% (15%), на уровне гольцового – 52% (35%);

– некоторые виды птиц проникают по нижней (лесной) части долин крупных горных рек севернее основного ареала. Например, в горной части долины р. Индигирка ареалы рябинника, белобровика, певчего сверчка, чеглока, черныша, обыкновенной пустельги, свиристеля приобретают конфигурацию значительно выступающих в северном направлении «языков». Сделано предположение, что зеленая, корольковая и бурая пеночки, соловей-свистун, оливковый дрозд, рябинник, пестрый дрозд, чиж, желтобровая овсянка, впервые зарегистрированные нами на гнездовье в горах Восточной Сибири, появились здесь в результате расширения ареала. Это согласуется с тем, что благодаря видам, расселяющимся из более южных областей, за несколько прошедших десятилетий видовое разнообразие субарктических гор Якутии увеличилось на 6% [Романов, 2013];

– наиболее значимы в формировании авифауны всех высотных поясов гор Восточной Сибири элементы сибирского типа фауны (33–62%), а из географо-генетических групп – бореальные (12,5–54%), бореально-гипоарктические (12,5–23%) и широко распространенные (15–50%) виды. Горную специфику региональной авифауны определяют каменуха, тундряная куропатка, сибирский пепельный улит, горная трясогузка, американский конек, альпийская завирушка, сибирский вьюрок;

– характер распространения и статус пребывания 16 видов птиц позволяют предположить динамику северных границ их ареалов, а также оригинальную роль хребтов Черского, Сунтар-Хаята и Сетте-Дабан в качестве зоогеографических рубежей, что, однако, требует подтверждения.

Благодарности. Исследования выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14–50–00029).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреев А.В., Докучаев Н.Е., Кречмар А.В., Чернявский Ф.Б. Наземные позвоночные Северо-Востока России. Магадан, 2006. 313 с.
- Блинова Т.К., Равкин Ю.С. Орнитофаунистическое районирование Северной Евразии // Сибирский экол. журн. 2008. Т. 15, № 1. С. 101–121.
- Борисов З.З., Исаев А.П., Борисов Б.З. Распространение фауны гнездящихся птиц Верхоянского хребта // Тр. ИСЭЖ СО РАН. Птицы Сибири: структура и динамика фауны, населения и популяций. М., 2011. С. 52–78.
- Брунов В.В. Результаты летней орнитологической разведки в Центральной и Восточной Якутии // Сибирский экол. журн. 2001. № 1. С. 53–68.
- Вартапетов Л.Г., Гермогенов Н.И. Орнитофаунистическое районирование Средней и Восточной Сибири // Тр. ИСЭЖ СО РАН. Птицы Сибири: структура и динамика фауны, населения и популяций. М., 2011. С. 7–28.
- Воробьев К.А. Птицы Якутии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1963. 335 с.
- Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И. Физическая география СССР. Ч. 2. М.: Высшая школа, 1987.
- Гермогенов Н.И., Вартапетов Л.Г. Некоторые итоги и основные направления изучения фауны и населения птиц Средней Сибири и Якутии // Актуальные вопросы изучения птиц Сибири. Барнаул, 2010. С. 41–44.
- Голубчиков Ю.Н. География горных и полярных стран. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 304 с.
- Емельянова Л.Г., Брунов В.В. Кадастровые карты по населению млекопитающих и птиц. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 95 с.
- Касимов Н.С. Предисловие // География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во науч. и учебно-методического центра, 2002. С. 3–4.
- Кищинский А.А. Орнитофауна северо-востока Азии. М.: Наука, 1988. 288 с.
- Куваев В.Б. Флора субарктических гор Евразии и высотное распределение ее видов. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2006. 568 с.
- Лебедева Н.В., Кривошук Д.А. Биологическое разнообразие и методы его оценки // География и мониторинг биоразнообразия. М.: Изд-во науч. и учебно-метод. центра, 2002. С. 13–142.
- Наумов Р.Д. Птицы в очагах клещевого энцефалита Красноярского края: Автореф. канд. дисс. М., 1964. 19 с.
- Находкин Н.А., Гермогенов Н.И., Сидоров Б.И. Птицы Якутии: Полевой справочник. Якутск: Октаэдр, 2008. 384 с.
- Равкин Ю.С. К методике учета птиц лесных ландшафтов // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. Новосибирск, 1967. С. 66–75.
- Романов А.А. Авифауна гор Азиатской Субарктики: закономерности формирования и динамики. М.: Русское общество сохранения и изучения птиц имени М.А. Мензбира, 2013. 360 с.
- Романов А.А. Распространение синехвостки (*Tarsiger suanpus*) на севере Средней Сибири // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2009. Т. 114, вып. 1. С. 22–25.
- Романов А.А., Мелихова Е.В. Авифауна лесного пояса гор азиатской Субарктики // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2015. Т. 120, вып. 6. С. 17–34.
- Романов А.А., Мелихова Е.В., Яковлев В.О. Бурый дрозд (*Turdus eunomus*) на плато Путорана // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2015. Т. 120, вып. 4. С. 18–25.
- Рябицев В.К. Птицы Сибири: справочник-определитель. Т. 2. М.: Екатеринбург: Кабинетный ученый, 2014. 452 с.
- Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны России и сопредельных территорий. М.: Наука, 2003. 727 с.
- Чернов Ю.И. Структура животного населения Субарктики. М.: Наука, 1978. 167 с.
- Чернов Ю.И. Экология и биогеография. Избр. тр. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2008. 580 с.
- Штегман Б.К. Основы орнитогеографического деления Палеарктики // Фауна СССР. Птицы. Т. 1, вып. 2. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. 157 с.

Поступила в редакцию 26.11.2015
Принята к публикации 11.12.2015

A.A. Romanov¹, E.V. Melikhova²

GEOGRAPHY AND STRUCTURE OF AVIFAUNA IN THE EASTERN SIBERIA MOUNTAIN REGIONS

We examined mountain avifauna of the Eastern Siberia, i.e. the Chersky, the Suntar-Khayata and the Sette-Daban ridges, and the Elga Upland. The distribution ranges of 16 birds species were defined more accurately. There are 93 breeding bird species in the region. The maximum species diversity is within the Chersky Ridge (n=71). The mountain taiga belt of the north-eastern Yakutia mountains has 63–64 nesting species (89–97%), the subalpine belt – 13–33 species (20–47%), the alpine belt – 8–15 species (12–21%). The number of species inhabiting a wide range of altitudes (two or more altitudinal belts) decreases from north to south. The avifauna similarity of different mountain ranges is 69% (53%) within the forest belt, 26% (15%) within the subalpine belt, and 52% (35%) within the alpine belt. The bird population density is 521–526 ind./km² in the forest belt, 58–100 ind./km² in the subalpine belt, and 81–178 ind./km² in the alpine belt of the Eastern Siberia mountains.

Key words: avifauna, population, range, distribution, species diversity, Eastern Siberia mountains, altitudinal belt.

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project No 14-50-00029).

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

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, post-graduate student; e-mail: max-kun@yandex.ru

REFERENCES

- Andreev A.V., Dokuchaev N.E., Krechmar A.V., Chernyavskiy F.B.* Nazemnye pozvonochnye Severo-Vostoka Rossii [Terrestrial vertebrates of the North-Eastern Russia], Magadan, 2006, 313 p. (in Russian).
- Blinova T.K., Ravkin Ju.S.* Ornitofaunisticheskoe rayonirovanie Severnoy Evrazii [Ornithofaunistic zoning of Northern Eurasia], Sibirskiy. ekol. zhurn., 2008, vol. 15, no 1, pp. 101–121 (in Russian).
- Borisov Z.Z., Isaev A.P., Borisov B.Z.* Rasprostranenie fauny gnezdyashihsya ptic Verkhoyanskogo hrebta [Distribution of breeding bird fauna of the Verkhoyansk Range], Trudy ISiEZh SO RAN, Pticy Sibiri: struktura i dinamika fauny, naseleniya i populyaciy, Moscow, 2011, pp. 52–78 (in Russian).
- Brunov V.V.* Rezultaty letney ornitologicheskoy razvedki v Centralnoy i Vostochnoy Yakutii [The results of summer ornithological exploration in Central and Eastern Yakutia], Sibirskiy ekologicheskij zhurn., 2001, no 1, pp. 53–68 (in Russian).
- Chernov Yu.I.* Struktura zhivotnogo naseleniya Subarktiki [The structure of the animal population of the Subarctic], Moscow, Nauka, 1978, 167 p. (in Russian).
- Chernov Yu.I.* Ekologiya i biogeografiya. Izbrannye trudy [Ecology and biogeography. Selected works], Moscow, Tovarihshestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008, 580 p. (in Russian).
- Emelyanova L.G., Brunov V.V.* Kadastrye karty po naseleniju mlekopitayushih i ptic [The inventory map of the population of mammals and birds], Moscow, Izd-vo MGU, 1987, 95 p. (in Russian).
- Germogenov N.I., Vartapetov L.G.* Nekotorye itogi i osnovnye napravleniya izucheniya fauny i naseleniya ptic Sredney Sibiri i Yakutii [Some results and the main directions of the study of fauna and bird population in Central Siberia and Yakutia], Aktualnye voprosy izucheniya ptic Sibiri, Barnaul, 2010, pp. 41–44 (in Russian).
- Golubchikov Ju.N.* Geografiya gornyyh i poljarnyyh stran [Geography of mountainous and polar regions], Moscow, Izd-vo MGU, 1996, 304 p. (in Russian).
- Gvozdeckiy N.A., Mihaylov N.I.* Fizicheskaya geografiya SSSR. Ch. 2. [Physical Geography of the USSR. Pt 2.], Moscow, Vysshaya shkola, 1987 (in Russian).
- Kasimov N.S.* Predislovie [Preface], Geografiya i monitoring bioraznoolbraziya. Moscow, Izdatelstvo nauchnogo i uchebno-metodicheskogo centra, 2002, pp. 3–4 (in Russian).
- Kishinskiy A.A.* Ornitofauna severo-vostoka Azii [The avifauna of the North-Eastern Asia], Moscow, Nauka, 1988, 288 p. (in Russian).
- Kuvaev V.B.* Flora subarkticheskikh gor Evrazii i vysotnoe raspredelenie ee vidov [Flora of Eurasia subarctic mountains and the altitudinal distribution of species], Moscow, Tovarihshestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2006, 568 p. (in Russian).
- Lebedeva N.V., Krivoluckiy D.A.* Biologicheskoe raznoobrazie i metody ego ocenki [Biological diversity and methods of assessment], Geografiya i monitoring bioraznoolbraziya. Moscow, Izdatelstvo nauchnogo i uchebno-metodicheskogo centra, 2002, pp. 13–142 (in Russian).
- Nahodkin N.A., Germogenov N.I., Sidorov B.I.* Pticy Yakutii: polevoy spravochnik [Birds of Yakutia: a field guide], Yakutsk, Okaedr, 2008, 384 p. (in Russian).
- Naumov R.D.* Pticy v ochagah kleshhevogo encefalita Krasnoyarskogo kraya [The birds in the encephalitis pesthole of Krasnoyarsk region], Avtoref. Diss. kand. biol. nauk, Moscow, 1964, 19 p. (in Russian).
- Ravkin Yu.S.* K metodike ucheta ptic lesnykh landshaftov [For the principles of the forest landscapes birds survey], Priroda ochagov kleshhevogo encefalita na Altae, Novosibirsk, 1967, pp. 66–75 (in Russian).
- Romanov A.A.* Avifauna gor Aziatskoy Subarktiki: zakonomernosti formirovaniya i dinamiki [Bird fauna of the mountains of the Asian Subarctic: Principles of development and dynamics], Moscow, Russkoe obshhestvo sohraneniya i izucheniya ptic imeni M.A. Menzbira, 2013, 360 p. (in Russian).
- Romanov A.A.* Rasprostranenie sinehvostki (Tarsiger cyanurus) na severe Sredney Sibiri [Distribution of the red-flanked bluetail (Tarsiger cyanurus) in the north of Central Siberia], Byul. MOIP, otd. biol., 2009, vol. 114, vyp. 1, pp. 22–25 (in Russian).
- Romanov A.A., Melikhova E.V.* Avifauna lesnogo poyasa gor aziatskoy Subarktiki [Avifauna of the forest altitudinal belt in subarctic mountains of Asia], Byul. MOIP, otd. biol., 2015, vol. 120, vyp. 6, pp. 17–34 (in Russian).
- Romanov A.A., Melikhova E.V., Yakovlev V.O.* Buryi drozd (Turdus eunomus) na plato Putorana [Dusky Thrush (Turdus eunomus) on the Putorana plateau], Byul. MOIP, otd. biol., 2015, vol. 120, vyp. 4, pp. 18–25 (in Russian).
- Ryabicev V.K.* Pticy Sibiri: spravochnik-opredelitel [Birds of Siberia. Field Guide.], Vol. 2, Moscow, Ekaterinburg, Kabinetnyi uchenyi, 2014, 452 p. (in Russian).
- Shtegman B.K.* Osnovy ornitogeograficheskogo deleniya Palearktiki [Basics of ornithogeographical division of Palearctic], Fauna SSSR. Pticy, Vol. 1, vyp. 2, Moscow; Leningrad, Izd-vo AN USSR, 1938, 157 p. (in Russian).
- Stepanyan L.S.* Konspekt ornitologicheskoy fauny Rossii i sopredelnykh territoriy [Summary of the ornithological fauna of Russia and adjacent territories], Moscow, Nauka, 2003, 727 p. (in Russian).
- Vartapetov L.G., Germogenov N.I.* Ornitofaunisticheskoe rayonirovanie Sredney i Vostochnoy Sibiri [Ornithofaunistic zoning of Central and Eastern Siberia], Trudy ISiEZh SO RAN. Pticy Sibiri: struktura i dinamika fauny, naseleniya i populyaciy, Moscow, 2011, pp. 7–28 (in Russian).
- Vorobyev K.A.* Pticy Yakutii [Birds of Yakutia], Moscow, Izd-vo MGU, 1963, 335 p. (in Russian).

Received 26.11.2015

Accepted 11.12.2015

УДК 551.461

А.Д. Кораблина¹, В.С. Архипкин², Т.В. Самборский³

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ В ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ БЕЛОЕ МОРЕ – УСТЬЕВАЯ ОБЛАСТЬ Р. СЕВЕРНАЯ ДВИНА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

15 ноября 2011 года произошел наибольший по высоте подъем уровня, площади затопления и продолжительности стояния высоких уровней штормовой нагон в устье р. Северная Двина. До этого года самым значительным нагоном считался уровень 16 ноября 1957 г. При штормовых нагонах страдают в основном островная и приморская части г. Архангельск.

Рассмотрено применение методов математического моделирования для изучения особенностей формирования штормовых нагонов в Двинском заливе. Выполнено моделирование штормовых нагонов в Белом море с учетом устьевой области Северной Двины. С помощью системы Surface Modeling System (SMS 11) Aquaveo создана нерегулярная триангуляционная сетка для всего Белого моря с двумя внешними жидкими границами – в Горле на входе в море и в устье р. Пинега. По результатам модели ADCIRC выявлены особенности циркуляции вод в устьевой области Северной Двины. Численные эксперименты впервые показали особенности распространения штормового нагона по протокам дельты и самой Северной Двины. Штормовой нагон имеет максимальную высоту в зависимости от направления ветра либо в устье, либо в самой восточной протоке.

Нагон, попадающий на полную воду, складываясь с его высотой, становится выше. В некоторых ситуациях наблюдаются преднагонный сгон и ложная полная вода (маниха), характерные для дельты Северной Двины. Нагон большей высоты формируется под действием северного или северо-западного ветра при формировании ныряющего циклона с центром давления 970 ГПа в районе о. Колгуев и частной депрессии в Мезенском районе.

Ключевые слова: штормовые нагоны, Белое море, ADCIRC.

Введение. Штормовой нагон – возмущение уровня моря, вызываемое метеорологическими причинами, относительно поверхности, искривленной приливом, если он есть. Величина нагона вычисляется, как разность между измеренным уровнем и предвычисленным уровнем прилива. Масштаб таких явлений изменится от нескольких часов до нескольких суток [Боуден, 1988]. Обусловленные штормовыми нагонами подъемы уровня могут превышать критические отметки, при которых возникают ситуации, приводящие к затоплению отдельных участков прилегающей суши и разрушению портовых сооружений и хозяйственных объектов.

Рассмотрим физические механизмы формирования нагонов. В море с глубиной большей, чем глубина трения Экмана

$$D = \pi \sqrt{\frac{2N_z}{f}},$$

где N_z – коэффициент вертикальной турбулентной вязкости, f – параметр Кориолиса, полный перенос воды в верхнем экмановском слое направлен вправо от направления ветра под прямым углом в Северном полушарии, т.е. параллельно берегу. Около

берега, находящегося справа от направления ветра, он создает повышение уровня моря. На мелководье, где отношение h/D (h – глубина моря) имеет порядок $\sim 0,1$, полный поток направлен по ветру, т.е. повышение уровня создает ветер, перпендикулярный к берегу [Боуден, 1988; Лабзовский, 1971].

В некоторых случаях величина штормовых нагонов зависит от свободных длинных волн, сгенерированных в открытом море при движении атмосферных барических систем. Проходя над глубоким морем, барические системы создают возмущения уровня моря за счет разницы атмосферного давления между центром и периферией системы и особенностей пространственной структуры ветра. Затем эти возмущения распространяются в виде свободной длинной волны, называемой нагонной волной. При совпадении скорости свободной длинной волны и барической системы происходит резонанс, и высота волны сильно возрастает [Жуков, 1976].

В море, шириной больше баротропного радиуса деформации Россби

$$R = \frac{\sqrt{gH}}{f},$$

где g – ускорение силы тяжести, H – глубина, f – параметр Кориолиса, свободная волна захватыва-

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, аспирантка; e-mail: jacksparrow91@bk.ru

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, доц., канд. геогр. н.; e-mail: victor.arkhipkin@gmail.com

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, доц., канд. геогр. н.; e-mail: kylevi85@mail.ru

ется береговой зоной и распространяется дальше в виде захваченной волны Кельвина. Если скорость барической системы близка к скорости волны Кельвина, то может возникнуть резонанс, и амплитуда нагона резко возрастет [Боуден, 1988].

В морях с шириной, меньшей баротропного радиуса Россби, формирование нагона происходит непосредственно за счет ветра, дующего над морем, либо свободных длинных волн, входящих в море и создающих колебания уровня. Такие нагоны называют внешними [Гилл, 1986]. Например, баротропный радиус деформации Россби для Белого моря равен $(\sqrt{10 \text{ м/с}^2 \cdot 100 \text{ м}}) / 10^{-4} \text{ с}^{-1} \approx 320 \text{ км}$, что значительно больше средней ширины Белого моря (в среднем 150 км).

Ветер, дующий на мелкой воде, вызывает наклон морской поверхности, пропорциональный напряжению ветра, перпендикулярного к берегу, введя правую систему координат, получим:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial x} = \frac{\tau_0}{\rho g H},$$

где ζ – уровень морской поверхности, x – горизонтальное расстояние, H – глубина, τ_0 – нормальная к берегу составляющая напряжения ветра на поверхности, ρ – плотность воды, g – ускорение силы тяжести [Stewart, 2006].

Величина нагонов зависит от ширины полосы мелководья у наветренного берега. Важную роль играет расстояние до критических значений глубины (3–4 м) [Гидрометеорологические..., 2008], чем дальше эти глубины от берега, тем больше на данном участке величина нагона. Ширина зоны затопления прибрежных территорий зависит от уклона побережья, силы, направления и продолжительности действия ветра. Чем меньше уклон побережья, тем при прочих равных условиях шире полоса затопления. Наибольший подъем уровня и, соответственно, максимальная площадь затопления наблюдаются при ветрах таких румбов, при которых волновая равнодействующая направлена по нормали к берегу [там же].

При воздействии сильного ветра на поверхность океана формируются ветровые волны, которые, разрушаясь в прибойной зоне, создают волновой нагон, увеличивающий величину общего нагона. При этом уровень моря повышается еще приблизительно на 10–12 см при скорости ветра ~20 м/с [Рабинович, 1993].

На характеристики нагона влияет его взаимодействие с приливными колебаниями, например, если полная вода попадает на максимальный уровень нагона, то их величины складываются.

Нагоны в Белом море обусловлены в основном выходом глубоких циклонов двух типов – «ныряющих» (повторяемость около 88%) и атлантических. «Ныряющий» циклон – внетропический циклон, характеризующийся особенной траекторией, например с севера на юг, и высокой скоростью перемещения. Такие циклоны двигаются от Баренцева моря через

Финляндию в западные области Центрального федерального округа к нижнему Дону, от мыса Канин нос через Киров на Татарстан и далее на низовья р. Урал.

В среднем величина штормового нагона в Белом море составляет 0,6 м, в заливах – до 0,9 м, продолжительность в среднем 80 ч. Нагоны наиболее выражены в устьях Мезени, Северной Двины, Онеги [Люция..., 1972].

Штормовые нагоны, формирующиеся в Белом море циклонами, которые перемещаются над Белым и Баренцевым морями с запада на восток, имеют продолжительность 4–6 сут. Выявлено [Проект..., 1991], что наибольшие штормовые нагоны образуются при следующих направлениях ветра: 0° для гидропоста (гп) Кемь-Порт, 315° для гп Онега, 335° для гп Архангельск. В районе гидропостов Архангельск и Онега уровень моря сильно подвержен влиянию речного стока.

Преобладает следующая схема формирования большинства нагонов в Белом море. Циклоны с центром над Баренцевым морем генерируют длинную гравитационную волну в Баренцевом море (скорость около 150 км/ч, в среднем в 5 раз выше скорости перемещения барических образований). Затем эта волна распространяется в Белое море, подвергаясь воздействию прилива, рельефа дна и берега. Центр циклона успевает переместиться на восток и юго-восток к моменту, когда гребень нагонной волны достигает вершин заливов (кроме Мезенского). Во время максимальных уровней в Белом море он оказывается в тыловой части циклона, в зоне экстремальных ветров северо-западного направления. При этих циклонах влияние градиентов приземного атмосферного давления незначительно [Проект..., 1991].

При прохождении западного циклона с центром над Белым морем возрастает роль ветровой составляющей в формировании нагонов.

Для изучения образования штормовых нагонов в Белом море применялись методы математического моделирования. В работах [Белов, Филиппов, 1985; Инжебейкин, 2004] приведены результаты численного моделирования штормовых нагонов в Белом море без устьевой области р. Северная Двина. В работе В.П. Белова и Ю.Г. Филиппова [1985] на основе численного моделирования исследованы суммарные колебания уровня в условиях взаимодействия ветрового нагона и прилива. Акватория Белого моря (без Воронки и Мезенского залива) аппроксимирована двумерной сеточной областью с шагом $\Delta x = \Delta y = 10 \text{ км}$. В узлах сетки указанные авторы задавали фактические значения глубины и параметры ветра, снятые с карт полей ветра (рассчитанных и построенных по данным наблюдений за ветром на береговых и островных станциях). Прилив задавался в виде синусоиды на разрезе гп Сосновец – мыс Инцы. Для оценки вклада нелинейного взаимодействия между ветровым нагоном и приливом проведено раздельное моделирование приливных (в отсутствие ветра), сгонно-нагонных (в отсутствие прилива) и суммарных (с учетом ветра и прилива)

колебаний уровня. В их модели, во-первых, не учтено влияние градиента атмосферного давления на формирование суммарных уровней, а во-вторых, значительная часть моря (Воронка и Мезенский залив) не охвачена, вследствие чего не учтена доминирующая часть взаимодействия – взаимодействие между приливом и индуцированной баренцевоморской нагонной волной.

Ю.И. Инжебейкин [2004] также исследовал колебания уровня в Белом море с помощью модифицированной гидродинамической модели приливов, в которой нелинейные члены учитываются изменением глубины при колебаниях уровня и квадратичным придонным трением. Шаг сетки по обеим осям составлял 6 миль. Подчеркнем, что использованная им расчетная сетка также не затрагивала устьевую область р. Северная Двина. Результаты моделирования показали, что в Белом море существует нелинейное взаимодействие между приливами и штормовыми нагонами, которое проявляется в асимметрии повторяемости максимума нагона относительно фаз прилива, а также получено, что параметр взаимодействия между приливом и нагоном приблизительно прямо пропорционален величинам прилива и нагона.

В работе [Лебедева и др., 2015] приведены результаты моделирования штормовых нагонов в устьевой области р. Северная Двина с помощью отечественного комплекса STREAM_2D. В этой работе уровень задавался по гп Северодвинск и гп Мудьюг с использованием различных вариантов интерполяции в пространстве и во времени: «на нижней морской границе задавались фактические ежедневные уровни воды по постам Северодвинск и Мудьюг» [Лебедева и др., 2015, с. 23]. Однако ранее было показано, что фазы распространения приливов и штормовых нагонов происходят по-разному в разных протоках дельты реки [Гидрология..., 1965]. Кроме того, уровень задавался только по его минимумам и максимумам, что не позволяет проследить особенности распространения штормового нагона в течение всей фазы его формирования и разрушения этого явления.

Таким образом, все предыдущие работы по моделированию штормовых нагонов проводились в основном для всего Белого моря, а устьевая область р. Северная Двина при этом не рассматривалась. Лишь в работе [Лебедева и др., 2015] моделировали нагоны в устьевой области Северной Двины, при этом использована гибридная «треугольно-четыреугольная» сетка, а область моделирования включала затопляемые острова и прибрежные низменные территории в устье Северной Двины. Чтобы избежать задания граничных условий на внешней границе устьевой области, нужно моделировать штормовые нагоны для всей системы Белое море – устьевая область Северной Двины. Кроме того, чтобы проследить распространение приливов и штормового нагона по протокам дельты, необходимо использовать высокоразрешающую нерегулярную расчетную сетку с шагом 50 м и более.

Материалы и методы исследований. Устьевая область р. Северная Двина характеризуется множеством мелких островов, извилистой береговой линией и узкими протоками. Для учета этих особенностей при численном моделировании штормовых нагонов необходимо использовать такую модель, которая работала бы на нерегулярной (unstructured) расчетной сетке с минимальным шагом 50 м.

В настоящее время наиболее часто используют несколько моделей расчета штормовых нагонов – SPLASH (затем SLOSH), FEMA, ADCIRC и Mike21 [Federal..., 1988; Jelesnianski, 1972; Jelesnianski, Shaffer, 1992].

Для наших целей выбрана баротропная модель ADCIRC (ADvanced CIRCulation model for oceanic, coastal and estuarine waters). Эта модель разрабатывается в Университете Северной Каролины (США). Модель нестационарная, нелинейная, на f -плоскости, учитывает ветровое напряжение, атмосферное давление, приливы, влияние рек. В ней можно задавать свойства подстилающей поверхности. Она работает на нерегулярной расчетной сетке, которая необходима для морей со сложной конфигурацией береговой линии, кроме того, она учитывает затопление и осушение прилегающей суши. Эта единственная модель для расчета штормовых нагонов в США, прошедшая лицензирование, а также есть возможность использовать ее совместно со спектральной волновой моделью SWAN для учета волнового нагона, что отсутствует во всей других моделях.

Есть два варианта этой модели: двумерная и трехмерная. Мы использовали двумерную модель.

В модели применяются вертикально интегрированные уравнения движения в неконсервативной форме (1, 2), уравнение неразрывности (3). Для вычисления уренированной поверхности используется общее волновое уравнение (4):

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV = -g \frac{\partial [\zeta + p_s / g\rho_0 - \alpha\eta]}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{H\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{H\rho_0} + \frac{M_x}{H} - \frac{D_x}{H} - \frac{B_x}{H}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU = -g \frac{\partial [\zeta + p_s / g\rho_0 - \alpha\eta]}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{H\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{H\rho_0} + \frac{M_y}{H} - \frac{D_y}{H} - \frac{B_y}{H}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(UH) + \frac{\partial}{\partial y}(VH) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 \zeta}{\partial t^2} + \tau_0 \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial \tilde{J}_x}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{J}_y}{\partial y} - UH \frac{\partial \tau_0}{\partial x} - VH \frac{\partial \tau_0}{\partial y} = 0, \quad (4)$$

где

$$\begin{aligned}\tilde{J}_x &\equiv \frac{\partial}{\partial t}(UH) + \tau_0 UH = \frac{\partial Q_x}{\partial t} + \tau_0 Q_x = \\ &= H \frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \tau_0 UH,\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tilde{J}_y &\equiv \frac{\partial}{\partial t}(VH) + \tau_0 VH = \frac{\partial Q_y}{\partial t} + \tau_0 Q_y = \\ &= H \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial \zeta}{\partial t} + \tau_0 VH,\end{aligned}$$

где M – вертикально интегрированный горизонтальный градиент напряжения; B – вертикально интегрированный бароклинный градиент давления; D – горизонтальный градиент вертикально интегрированных пульсаций скорости; ρ_0 – плотность воды; τ_s – поверхностное напряжение ветра; τ_b – напряжение трения на дне; τ_0 – параметр, вклад волновой части в уравнение (4) (при $\tau_0 = 0$ уравнение (4) – чисто волновое уравнение, параметр может меняться в зависимости от глубины моря для лучшей устойчивости численного решения); p_s – атмосферное давление на поверхности моря; η – ньютоновский приливный потенциал равновесия; $Q_x, Q_y \equiv UH, VH$ – составляющие полного потока по осям x, y на единицу ширины; U, V – интегрированные по глубине значения скорости потока по осям x, y .

С помощью системы SMS 11 (Surface Modeling System) Aquaveo [Resio, Westernik, 2008] была создана нерегулярная триангуляционная сетка для всей динамической системы Белое море – устьевая область (рис. 1). Сетка создавалась методом *raving*, т.е. сетка строится в зависимости от числа точек на береговой линии [SMS, 2013]. Шаг сетки на побережье в районах Горла и Онежского залива составляет 3 км, Воронки – 5 км, на всем западном шхерном побережье, усеянном вереницей островов, – 150 м, прерываясь более прямолинейными участками с шагом в 200 м; в Мезенском заливе – 150 м, в Двинском заливе, дельте, устьевой области и на приустьевом участке Северной Двины до с. Усть-Пинега – 50 м; для остальных островов – 75 м (исключение о-ва Большие Соловецкие, Великий и Моржовец – 100 м). Таким образом, построена нерегулярная расчетная сетка с минимальным разрешением 50 м и максимальным 5 км. Для создания цифровой модели рельефа использованы морские навигационные карты масштаба 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000.

Расчетная сетка имеет две внешние жидкие границы: на входе в Воронку Белого моря и в р. Северная Двина около устья р. Пинега. При входе в Воронку Белого моря приливные колебания уровня моря задавали с дискретностью 1 ч за пе-

риод нагона, рассчитанные по гармоническим постоянным с гидрометеостанций Губа Савиха (39°7.00' E, 68°11.00' N) и Тарханово (43°39.00' E, 68°30.00' N). В 100 км от устья Северной Двины (устье р. Пинега) задавался среднесуточный расход реки (данные взяты с гп Усть-Пинега).

В модели использованы данные поля ветра из реанализа CFSv2 (Climate Forecast System Version 2), NCEP (National Centers for Environmental Prediction) с разрешением $\sim 0,2^\circ \times 0,2^\circ$ по горизонтали и с часовым временным разрешением.

В связи с тем, что Белое море приливное, выполнены предварительные численные эксперименты расчета прилива с помощью модели ADCIRC. Как показали результаты сравнения численных расчетов с натурными измерениями уровня моря в п. Соломбала, систематическая ошибка составила около 10% (рис. 2). Для анализа развития штормового нагона выбраны точки, показанные на рис. 3.

Результаты исследований и их обсуждения.

Рассмотрим применение методов математического моделирования для изучения особенностей формирования штормовых нагонов в динамической системе Белое море – устьевая область р. Серная Двина на примере штормового нагона 15 ноября 2011 г. Этот нагон оказался наибольшим по высоте уровня, площади затопления и продолжительности стояния. В Баренцевом море к югу от арх. Шпицберген 13 ноября 2011 г. (12:00 UTC) образовался мощный циклон, в центре которого давление составило 990 ГПа.

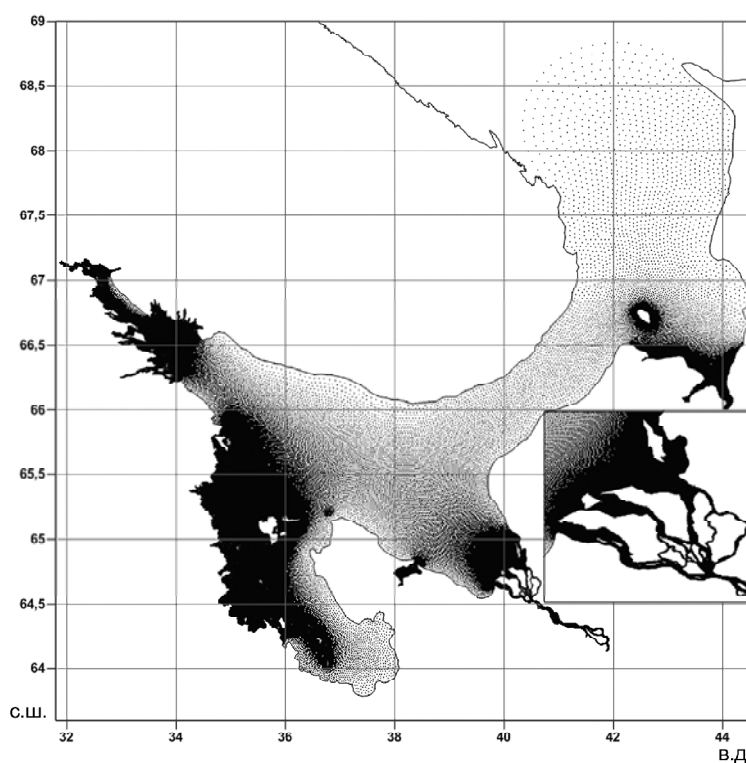


Рис. 1. Узлы расчетной сетки для вычисления штормовых нагонов в Белом море

Fig. 1. The nodes of the computational grid for calculation of storm surges in the White Sea

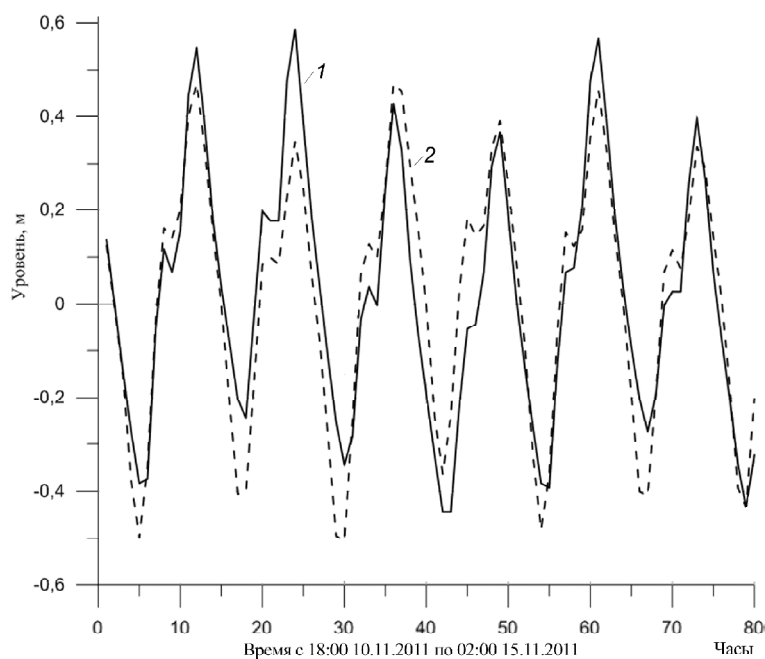


Рис. 2. Сравнение вычисленного и наблюдаемого уровня моря (м) в п. Соломбала (точка № 8, рис. 3): 1 – наблюдения, 2 – модель

Fig. 2. Comparison of calculated and observed sea level (m) in the Solombala (point No. 8, Fig. 3): 1 – observation, 2 – model

Этот циклон пересек центральную часть Баренцева моря поперек с запада на восток, давление в его центре достигло минимального значения 955 ГПа 14 ноября 2011 г. (06:00 UTC). Затем циклон развернулся у берегов арх. Новая Земля и стал двигаться на юго-юго-восток к Карскому морю, а 15 ноября 2011 г. (00:00 UTC) центр циклона находился у входа в Воронку Белого моря и составил 970 ГПа. Во время прохождения этого циклона наблюдалось усиление западного и северо-западного ветров в северной части Белого моря, порывами до 15–20 м/с. В тыловой части циклона над Кольским п-вом образовалась дополнительная область пониженного давления, которая смещалась на юго-восток. Таким образом, 14 ноября 2011 г. образовался мезоциклон в Канино-Колгуевском районе.

Рассмотрим детальнее пространственное распределение скорости ветра (м/с) по данным реанализа CFSv2. Начиная с 12:00 (UTC) 14 ноября 2011 г., формируются две локальные области ветра с максимальной скоростью 16–20 м/с в Бассейне и Воронке Белого моря с преобладающим северо-западным направлением ветра. К 15 ноября 2011 г. эти локальные области сомкнулись и образовали над акваторией

Белого моря единую область со скоростью ветра 16–20 м/с с преобладающим северным направлением.

При этом в период максимального развития нагона в устьевой области р. Северная Двина срочные данные скорости ветра здесь не превышали 10–12 м/с, что подтверждается измеренными данными на метеостанции г. Архангельск.

Нагон сформировался за несколько дней до квадратурного прилива. Расход реки в этот период в районе гп Усть-Пинега был незначительно выше нормы. Максимум нагона пришелся на полную воду 15 ноября 2011 г. около 19:00 и достиг отметки 302 см (по гп Соломбала), величина нагона при этом составляла 1,93 м, продолжительность нагона – 60 ч.

На рис. 3 показано пространственное распределение высоты штормового нагона в устьевой области Северной Двины в фазу его максимального развития. Высота рассчитана, как разница между высотой уровня, полученной по модели,

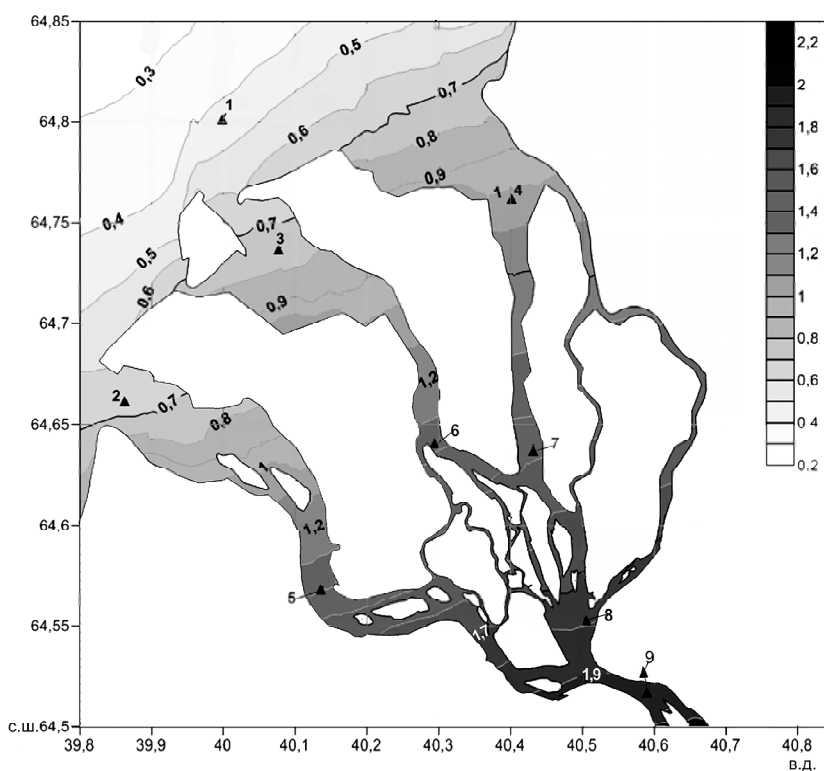


Рис. 3. Высота штормового нагона (м) в устьевой области Северной Двины в фазу максимального развития. Треугольники – станции для анализа временного хода уровня: 1 – вблизи устьевая дельта Северная Двина, 2 – Пудожское устье, 3 – Мурманское устье, 4 – Корабельное устье, 5 – Никольский рукав, 6 – Мурманский рукав, 7 – Корабельный рукав, 8 – вблизи поста Соломбала, 9 – рукав Бакарицкий

Fig. 3. The storm surge height (m) in the Northern Dvina mouth area in the phase of maximum development. Triangles – station for the analysis of the time course of the level: 1 – near the wellhead seaside delta of the Northern Dvina, 2 – Pudozhemskoe estuary, 3 – Murmansk estuary, 4 – Korabelnoe estuary, 5 – Nikolsky channel, 6 – Murmansk channel, 7 – Korabelniy channel, 8 – near post Solombala, 9 – channel Bakaritsky

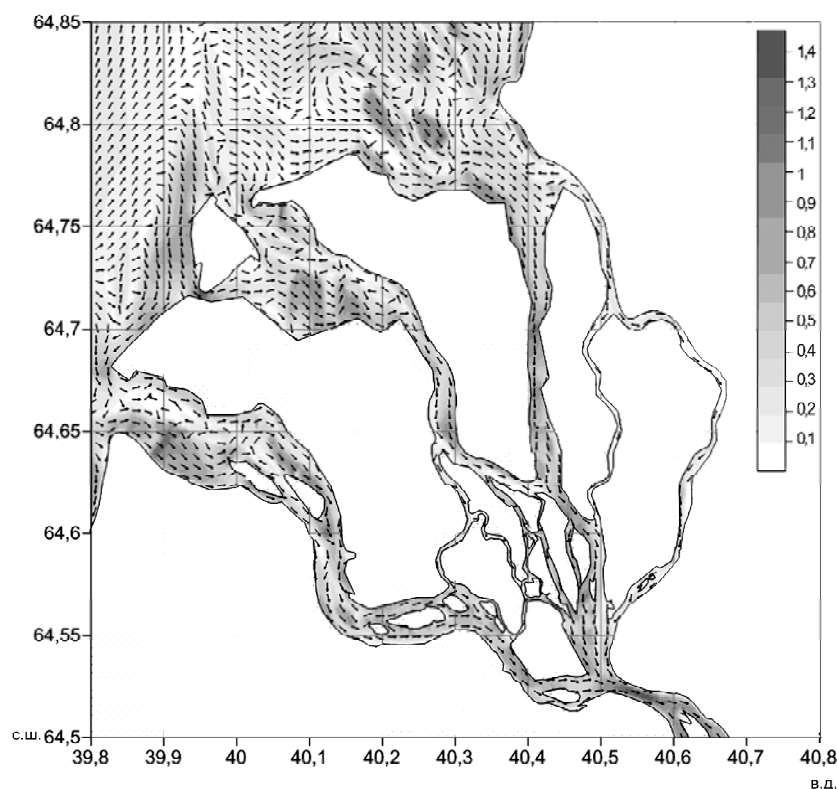


Рис. 4. Циркуляция вод в устьевой области Северной Двины в фазу роста штормового нагона (оттенки серого – скорость течения, м/с)

Fig. 4. Waters circulation in the Northern Dvina estuarine area in the growth phase storm surge (grayscale – flow speed, m/s)

и предвычисленным уровнем прилива (т.е. исключены приливные колебания уровня). На рис. 3 видно, что штормовой нагон распространяется с северо-северо-запада Двинского залива. Это вызывает различия в высоте штормового нагона при входе его в протоки дельты реки. Так, в Корабельном устье высота нагона составляет 0,8 м, а в Пудожемском устье – 0,6 м. По мере продвижения штормового нагона от устьевого взморья к устью Северной Двины (район Соломбалы) его высота увеличилась от 0,5 до 2 м.

Особенности циркуляции вод (приливные течения исключены) в Двинском заливе и в устьевой области Северной Двины в разные фазы штормового нагона представлены на рис. 4, 5. В фазу наибольшей скорости поднятия уровня (8 ч до максимума) течение воды во всех протоках направлено к устью реки, причем в структуре течений в протоках есть значительные различия как в скорости течений, так и в пространственном распределении (рис. 4). Так, макси-

мальная скорость течения (1,2 м/с) отмечена в Корабельном рукаве с примерно одинаковой скоростью по ширине протоки. В Мурманском и Никольском рукавах скорость течения достигала 0,7 м/с, есть различия в скорости течений и по ширине протоки. Также видно, что в Пудожемском, Мурманском и Корабельных устьях возникают небольшие циклонические круговороты воды.

В период наибольшей скорости падения уровня (7 ч после максимума нагона) формируется циркуляция вод, имеющая более сложную пространственную структуру течений, чем в фазу подъема уровня. В Корабельном рукаве течение направлено в сторону устья реки до Мурманского рукава, здесь оно поворачивает в Мурманский рукав, в котором уже происходит обратное течение – в сторону устьевого взморья дельты р. Северная Двина со средней скоростью 0,7 м/с (рис. 5). Достигнув Мурманского устья, циркуляция вод приобретает сложную структуру в виде циклонических и антициклонических вихрей. В Никольском рукаве течение направле-

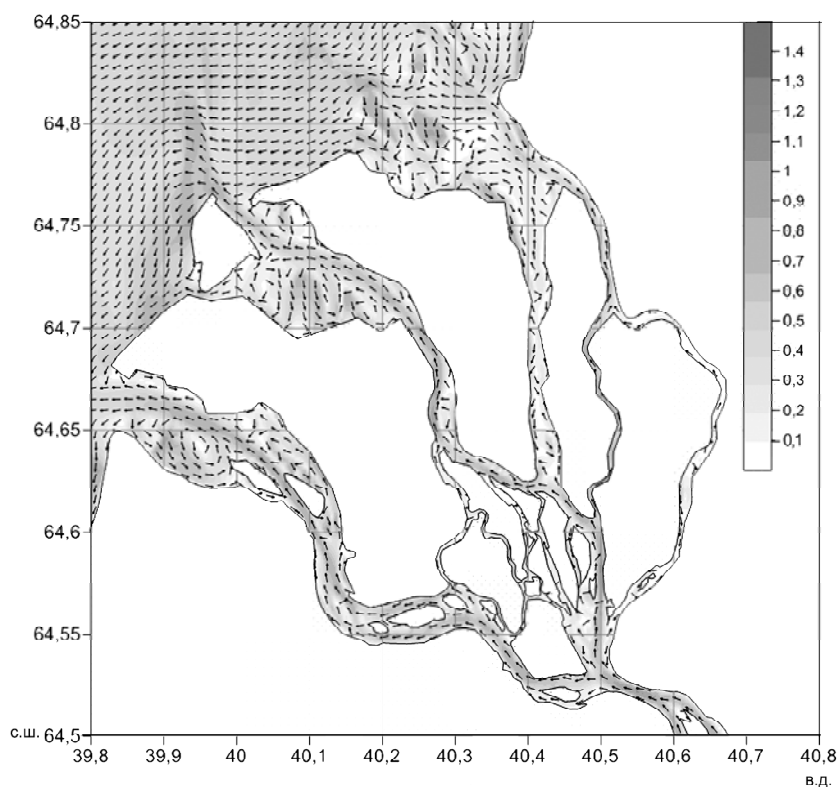


Рис. 5. Циркуляция вод в устьевой области Северной Двины после максимальной фазы штормового нагона (оттенки серого – скорость течения, м/с)

Fig. 5. Waters circulation in Northern Dvina the estuarine area after the maximum phase storm surge (grayscale – flow speed, m/s)

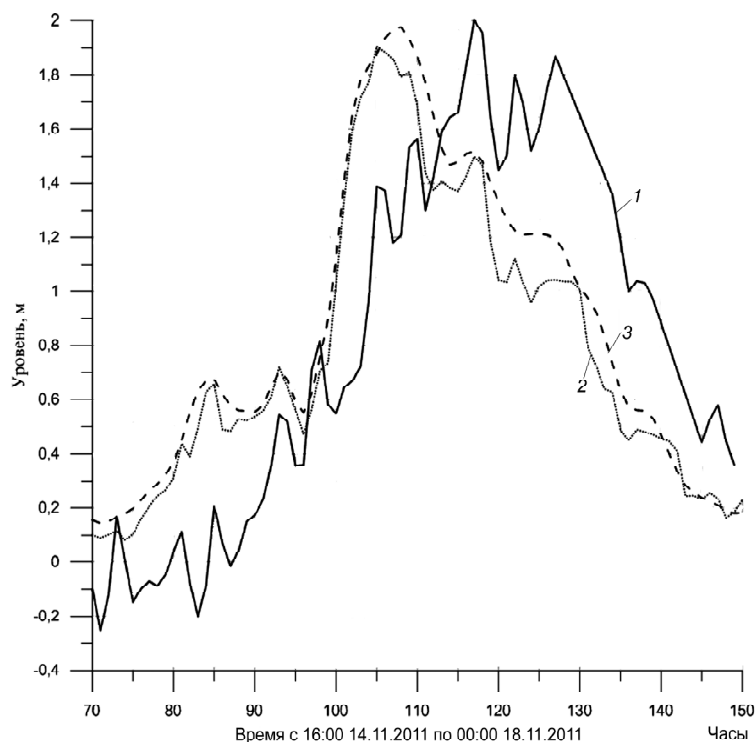


Рис. 6. Высота штормового нагона (м) в Соломбале (точка № 8, рис. 3): 1 – по данным наблюдений; 2 – разница между уровнем, вычисленным по полной модели, и предвычисленным уровнем прилива; 3 – вычисленная по модели без учета прилива

Fig. 6. Storm Surge height (m) in the Solombala (point No 8, Fig. 3): 1 – observations; 2 – the difference between the level calculated by the model, and the pre-calculated tide level; 3 – calculated by the model without considering the tide

но в сторону устьевых взморья сразу от устья реки со средней скоростью 0,5 м/с. В устье рукава также возникают круговороты воды с разным знаком. В Двинском заливе течение направлено с востока на запад со средней скоростью 0,6 м/с.

На рис. 6 приведено сравнение высоты штормового нагона по данным наблюдений и по результатам моделирования. (Подчеркнем, что высота штормового нагона по данным наблюдений получена, как разница между наблюдаемым уровнем и высотой предвычисленного прилива.) По высоте нагона модельные данные и натурные совпадают, а по фазе модельное время наступления наибольшей высоты нагона опережает наибольший максимум по наблюдениям примерно на 10 ч. Такая разница, скорее всего, обусловлена особенностями полей ветра по данным реанализа.

Для исследования нелинейного взаимодействия между приливом и штормовым нагоном принято использовать разницу между уровнем, вычисленным по полной модели с последующим вычетом предвычисленного уровня прилива, и

уровнем, рассчитанным по модели без учета прилива [Murty, 1984]. Выявлено, что в начальной фазе развития нагона нелинейное взаимодействие отсутствует (разница между уровнями незначительна). В фазе разрушения нагона нелинейное взаимодействие наибольшее в период малой воды и наименьшее в период полной воды (рис. 6).

Для изучения особенностей распространения штормового нагона от взморья до вершины дельты Северной Двины построены графики изменения высоты штормового нагона в разных точках устьевой области реки по модельным данным (рис. 7). Видно, что во всех точках устьевой области скорость подъема уровня значительно больше, чем скорость его понижения. Так, скорость подъема уровня в районе Соломбалы достигала 1 м за 5 ч, а скорость понижения – 0,3 м за 5 ч. Таким образом, существует асимметрия скорости изменения уровня в период подъема и понижения уровня во время штормового нагона. Результаты модели показали, что время прохождения максимума нагона от устьевого взморья до устья реки составляет 2 ч (рис. 7).

Выводы:

- создана расчетная нерегулярная триангуляционная сетка с минимальным шагом 50 м, сохраняющая все особенности устьевой области реки. На открытой границе со

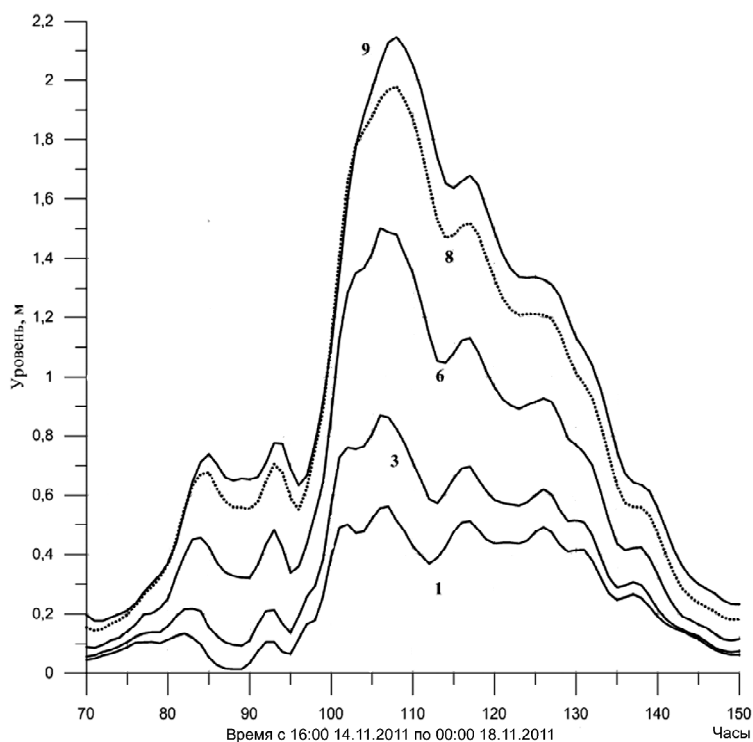


Рис. 7. Изменение высоты штормового нагона (м) в устьевой области Северной Двины (цифры – станции, см. на рис. 3)

Fig. 7. Change the height of storm surge (m) at its mouth of the Northern Dvina (the numbers station, see Fig. 3)

стороны Баренцева моря задавали приливные колебания уровня моря, а в р. Северная Двина – расход воды;

– установлено, что штормовой нагон распространялся с северо-северо-запада Двинского залива, это вызывало различия в высоте штормового нагона при входе его в протоки дельты реки. Так, в Корабельном устье высота нагона составляла 0,8 м, а в Пудожемском устье – 0,6 м. По мере продвижения штормового нагона от устьевого взморья к устью Северной Двины (район Соломбалы) его высота увеличивалась от 0,5 до 2 м;

– получены особенности циркуляции вод без учета приливов в Двинском заливе и в устьевой области Северной Двины в разные фазы штормового нагона. В период разрушения нагона в устьевой области при выходе на устьевое взморье формируются круговороты с разным знаком;

– обнаружено, что по высоте нагона модельные и натурные данные совпадают, а по фазе модельное время наступления наибольшей высоты нагона опережает наибольший максимум по наблюдениям примерно на 10 ч. Такая разница, скорее всего, обусловлена особенностями полей ветра реанализа;

– выявлена асимметрия скорости изменения уровня в период подъема и понижения уровня во время штормового нагона. Результаты моделирования показали, что время прохождения максимума нагона от устьевого взморья до устья реки составляет 2 ч;

– обнаружено нелинейное взаимодействие во время фазы разрушения штормового нагона, при этом оно наибольшее в период малой воды и наименьшее в период полной воды.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-37-00038).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Белов В.П., Филиппов Ю.Г. Численное моделирование суммарных колебаний уровня Белого моря // Метеорология и гидрология. 1985. № 7. С. 63–69.

Боуден К. Физическая океанография прибрежных вод. – М.: Мир, 1988.

Гидрология устьевой области Северной Двины / Под ред. М.И. Зотина, В.Н. Михайлова, М.: Гидрометеоиздат, 1965.

Гидрометеорологические риски / Под ред. Р.Н. Карлина. СПб.: Минобрнауки РФ, 2008.

Гилл А. Динамика атмосферы и океана. Т. 2. М.: Мир, 1986.

Жуков Л.А. Общая океанология. Л.: Гидрометеоиздат, 1976.

Инжебейкин Ю.И. Колебания уровня Белого моря. СПб.: РГМУ, 2004.

Лабзовский Н.А. Непериодические колебания уровня моря. Л.: Гидрометеоиздат, 1971.

Лебедева С.В., Алабян А.М., Крыленко И.Н., Федорова Т.А. Наводнения в устье Северной Двины и их моделирование // Гео-риски. 2015. № 1. С. 18–25.

Лоция Белого моря, откорректирована по извещениям мореплавателям Гидрографической службы Краснознаменного Северного флота, ГУНиО МО. Ч. I, вып. 19; ч. II, вып. 6. 1972.

Проект «Моря СССР». Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Б.Х. Глуховского. Л.: Гидрометеоиздат, 1991.

Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993.

Federal Emergency Management Agency (FEMA). Coastal Flooding Hurricane Storm Surge Model. Vol. I–II, FEMA. Washington, DC, 1988.

Jelesnianski C.P. SPLASH (Special program to list the amplitudes of surges from hurricanes): I. Landfall storms // NOAA Technical Mem. NWS TDL. 1972. Vol. 46.

Jelesnianski C.P., Shaffer J.W.A. SLOSH (Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes) // NOAA Technical Rep. NWS. 1992. Vol. 48.

Murty T.S. Storm surges- Meteorological ocean tides. Department of fisheries and oceans, Ottawa, 1984.

Resio D.T., Westerink J.J. Modeling the physics of storm surges // Physics Today. 2008. P. 33–38.

SMS Surface-water Modeling System User Manual (v11.1), 2013.

Stewart R.H. Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography. Texas A & M University, 2006.

Поступила в редакцию 29.12.2014

Принята к публикации 11.12.2015

A.D. Korablina¹, V.S. Arkhipkin², T.V. Samborski³

MODELING FEATURES FORMATION STORM SURGE IN A DYNAMIC SYSTEM WHITE SEA – MOUTH AREA NORTHERN DVINA RIVER

This study analyses the application of mathematical modeling for the examination of specific characteristics of the storm surges formation in the Dvina Bay. The simulation of storm surges in the White Sea was performed with due consideration of the mouth area of the Dvina River. The Surface Modeling System (SMS 11) Aquaveo made it possible to construct an unstructured triangulated mesh for the whole White Sea including two external liquid boundaries: one in the Gorlo at the entrance to the sea and another

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, post-graduate student; e-mail: jacksparrow91@bk.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Assistant Professor, PhD. in Geography; e-mail: victor.arkhipkin@gmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Assistant Professor, PhD. in Geography; e-mail: kylevi85@mail.ru

in the Pinega River mouth. According to ADCIRC model results features of water circulation in the Dvina River mouth area were identified. The numerical experiments have for the first time demonstrated the specifics of storm surge distribution in the delta channels and in the Dvina River mouth. Depending on the wind direction the storm surge has a maximum height either in the river mouth, or in the eastern-most channel. Apart from the level of tides and storm surges the ADCIRC model visualizes the currents speed and directions, while a small-scale mesh allows seeing the structure of the coastal currents in the deltaic channels.

Key words: storm surges, the White Sea, ADCIRC.

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project No 14-37-00038).

REFERENCES

- Belov V.P., Filippov Ju.G.* Chislennoe modelirovanie summarnykh kolebaniy urovnja Belogo morja [Numerical simulation of total fluctuations in the White Sea], *Meteorologija i gidrologija*, 1985, no 7, pp. 63–69 (in Russian).
- Bouden K.* Fizicheskaja okeanografija pribrezhnykh vod [Physical oceanography of coastal waters], – Moscow, Mir, 1988 (in Russian).
- Federal Emergency Management Agency (FEMA). Coastal Flooding Hurricane Storm Surge Model. Vol. I–II, FEMA, Washington, DC, 1988.
- Gidrologija ust'evoj oblasti Severnoj Dviny [Hydrology mouth area of the Northern Dvina], pod red. M.I. Zotina, V.N. Mihajlova, M., Gidrometeoizdat, M.: 1965 (in Russian).
- Gidrometeorologicheskie riski [The hydrometeorological hazards], pod red. R.N. Karlina, SPb.; Minobrnauki RF, 2008 (in Russian).
- Gill A.* Dinamika atmosfery i okeana [The dynamics of the atmosphere and ocean], Vol. 2, Moscow, Mir, 1986 (in Russian).
- Inzhebejkin Ju.I.* Kolebanija urovnja Belogo morja [White sea level fluctuations], SPb., RGGMU, 2004 (in Russian).
- Jelesnianski C.P.* SPLASH (Special program to list the amplitudes of surges from hurricanes): I. Landfall storms // NOAA Techn. Mem. NWS TDL. 1972. Vol. 46.
- Jelesnianski C.P., Shaffer J.W.A.* SLOSH (Sea, Lake, and Overland Surges from Hurricanes) // NOAA Techn. Rep. NWS. 1992. Vol. 48.
- Labzovskij N.A.* Neperiodicheskie kolebanija urovnja morja [Non-periodic oscillations of the sea level], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971 (in Russian).
- Lebedeva S.V., Alabjan A.M., Krylenko I.N., Fedorova T.A.* Navodnenija v ust'e Severnoj Dviny i ih modelirovanie [Modeling flooding in the mouth of the Northern Dvina], *Georisk*, 2015, no 1, pp. 18–25 (in Russian).
- Locija Belogo morja [Pilot book of the White Sea], otkorrektirovana po izveshhenijam moreplavateljam Gidrograficheskoy sluzhby Krasnoznamennogo Severnogo flota, 1972. GUNiO MO, t. I, vyp. 19; t. II, vyp. 6 (in Russian).
- Murty T.S.* Storm surges- Meteorological ocean tides. Department of fisheries and oceans, Ottawa, 1984.
- Proekt «Morja SSSR». Gidrometeorologija i gidrohimija morej SSSR [The «Sea of the Soviet Union». Hydrometeorology and hydrochemistry of USSR seas]. Vyp. 2. Beloe more [White Sea], Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie uslovija [Hydrometeorological conditions], pod red. B.H. Gluhovskogo, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1991 (in Russian).
- Rabinovich A.B.* Dlinnye gravitacionnye volny v okeane: zahvat, rezonans, izluchenie [Long gravity waves in the ocean: the capture of resonance radiation], SPb.: Gidrometeoizdat, 1993 (in Russian).
- Resio D.T., Westerink J.J.* Modeling the physics of storm surges // *Physics Today*. 2008. P. 33–38.
- SMS Surface-water Modeling System User Manual (v11.1), 2013.
- Stewart R.H.* Introduction to Physical Oceanography. Department of Oceanography, Texas A & M University, 2006.
- Zhukov L.A.* Obshhaja okeanologija [Oceanography], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1976 (in Russian).

Received 29.11.2014

Accepted 11.12.2015

УДК [556.5:550.4]+627.17(470.24)

Л.Е. Ефимова¹, Е.С. Повалишникова², Е.В. Терская³, Н.Л. Фролова⁴, Д.В. Ломова⁵

ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА ВАЛДАЙСКИЙ

На территории национального парка Валдайский исследованы особенности режима водных объектов озерно-речной системы Боровно–Разлив, механизм формирования стока растворенных минеральных и органических веществ, обменные процессы придонных вод с грунтами в разные сезоны года. Рассмотрено современное гидроэкологическое состояние водных объектов с учетом особых условий природо- и водопользования в этом регионе. По результатам исследований предложены оптимальные сроки проведения дальнейших наблюдений на озерах системы Боровно–Разлив и других озерах национального парка.

Ключевые слова: мониторинг, гидроэкологическое состояние, особо охраняемые природные территории.

Введение. Исследование пространственно-временной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик водных объектов в пределах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) – важная как в научном, так и в практическом отношении задача для выявления особенностей водного режима рек и озер, механизма формирования стока растворенных веществ в разных природных условиях и значимости отдельных факторов их формирования. Исследованные водоемы расположены в пределах северной части территории национального парка (НП) Валдайский, мало подверженной антропогенному воздействию, что дает возможность составить представление о гидроэкологическом состоянии водных объектов региона.

Многие российские ООПТ недостаточно изучены в гидрологическом и лимнологическом отношении, не имеют обоснованной программы мониторинга водных объектов территории. Наблюдения за фоновым состоянием рек и озер по программе режимных наблюдений проводятся в биосферных заповедниках, однако публикуемые в сборниках «Летопись природы» материалы не всегда доступны. Параметризация данных, освещающих сезонную и межгодовую изменчивость характеристик водных экосистем в пределах ООПТ, разработка системы гидрологического и гидрохимического мониторинга освещены в работах [Гордеева и др., 2006; Баянов, 1997; Ефимова, Фролова, 2013; Повалишникова и др., 2013; Баянов, Кораблева, 2014; Шварева и др., 2014].

Данные о природных особенностях изменения гидрологических и гидрохимических характеристик водных объектов, полученные в ходе их мониторинга, задают значения параметров, при которых обес-

печиваются безопасность и нормальное существование водных экосистем. К важным результатам мониторинга относятся также выявление неблагоприятных тенденций в динамике природных комплексов, определение их причин и прогноз последствий. Отсутствие на рассматриваемой территории постоянной сети наблюдений не только за гидрохимическими, но и гидрологическими характеристиками водных объектов повышает значимость комплексных детальных экспедиционных исследований [Ефимова, Фролова, 2013].

Маловодные годы отличаются продолжительными периодами жаркой и безоблачной погоды, устойчивой стратификацией водной толщи, обильным цветением водорослей и формированием зон аноксии. В многоводные годы особенно велик приток органических и минеральных биогенных веществ с водосбора. Средние по водности условия соответствуют некоторому нормальному функционированию озерной экосистемы. Цель исследований – определение параметров, наиболее полно характеризующих гидроэкологическое состояние водных объектов в различных гидрометеорологических условиях.

Исследования проведены на озерно-речной системе Боровно–Разлив в северной части национального парка, наименее подверженной антропогенному воздействию. Она представляет собой объединенные гидрографической сетью группы озер, расположенных в пределах одного водосборного бассейна. Озера замыкаются гидротехническими сооружениями, которые позволяют регулировать сток воды и использовать их водные ресурсы для хозяйственно-бытовых и промышленных целей.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: ef_river@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: almond_a@mail.ru

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

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: frolova_nl@mail.ru

⁵ Институт водных проблем РАН, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: florainter@mail.ru

Оз. Разлив (водохранилище Боровновской ГЭС), сформировавшееся из озер Разлив, Белое и Боручье, замыкается плотиной со сбросом воды по деривационной схеме в оз. Боровно. В 1925 г. при строительстве Боровновской ГЭС в оз. Разлив был искусственно направлен сток верховьев р. Шегринка. Основные притоки водохранилища – реки Шегринка и Вережка. В оз. Разлив условно можно выделить два плеса (мелководный – озера Разлив и Боручье) и глубокий приплотинный (оз. Белое).

В оз. Боровно впадают 6 рек, воды водохранилища Боровновской ГЭС через озера Островёнок – Плотиценко и протоку Вешка, а также сток цепочки озер Беляевское–Волосно–Легоща. Сток из оз. Боровно осуществляется через р. Боровна, зарегулированную на расстоянии 1,8 км ниже истока Горнешенской плотиной. Озеро можно разделить на три плеса – северный, центральный и южный, связанные между собой узкими протоками, южный плес обособлен больше. Северный плес озера соединен с озерами Перестово и Конино.

Материалы и методы исследований. В течение 5 лет (2010–2014) силами преподавателей и студентов кафедры гидрологии суши в разные сезоны года на озерах Боровно, Разлив, Плотиценко, в протоках, соединяющих эти озера, и на основных притоках озер (реки Шегринка, Боровна, Клетна, Вережка) проводились комплексные гидролого-гидрохимические исследования. Всего отобрано около 150 проб воды и грунта, в которых выполнено более 1000 элементоопределений. Период наблюдений включал в себя два аномально маловодных года (2010 и 2014), год повышенной водности (2013) и два средних по водности года (2011 и 2012).

В ходе съемок измеряли электропроводность (λ), pH, температуру озерных и речных вод, определяли концентрацию растворенного кислорода. Температуру и электропроводность воды на разных глубинах измеряли с помощью кондуктометра YSI 85-100. Величину pH определяли потенциометрическим методом при помощи pH-метра «Аквилон-410». Пробы воды с глубины $\geq 0,2$ м отбирали из водного объекта батометром Рутнера. Растворенный кислород определен методом Винклера.

Содержание фосфора определяли непосредственно в полевой гидрохимической лаборатории [Руководство..., 2003]. Анализ содержания главных ионов и органических веществ выполнен согласно методикам, изложенным в [Комарова, Каменцев, 2006; Муравьев, 1999] в гидрохимической лаборатории кафедры гидрологии суши МГУ имени М.В. Ломоносова. Образцы, отобранные для определения железа и марганца, отфильтрованы через мембранный фильтр (0,45 мкм) и законсервированы HNO_3 . Содержание микроэлементов в пробах установлено методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС); концентрацию растворенного железа определяли с использованием техники атомизации пламени на спектрометре «novAA-400» («Analytik-Jena AG», Германия); растворенного марганца – с использованием электротермической атомизации на спек-

трометре «AA-240Z» («Varian», США), [Ермаченко, Ермаченко, 1999].

При исследовании донных отложений определяли скорость потребления кислорода грунтами и величину общей деструкции органического вещества (ОВ) в грунтах ($D_{\text{общ}}$). Определение проводилось по методу Кузнецова–Романенко [Романенко, 1985]. Величину скорости потребления кислорода грунтами (СПК) оценивали по поглощению кислорода колонкой грунта за время экспозиции (t , часы); скорость потребления кислорода в 10-сантиметровом слое придонной воды над донными отложениями площадью 1 м^2 ($\text{мг O}_2/\text{м}^2\cdot\text{сут}$) определена по методу Винберга. Величину общей деструкции ОВ в грунтах находили по поступлению углекислоты из ила в воду. Выход из грунтов фосфора, железа и марганца также устанавливали по разнице концентрации этих величин в трубке с грунтом и в холостой трубке (без грунта), залитой придонной водой, в конце экспозиции (t , часы).

Работы по измерению глубины проводили при помощи системы эхолот–GPS («Lowrance»). Глубину измеряли таким образом, чтобы расстояние между галсами не превышало 10–15 м. Точность измерения составила 10 см по глубине и 3 м в плане.

По результатам полевых исследований определен набор параметров, достаточно полно характеризующих гидроэкологическое состояние водных объектов, а также необходимые при таких исследованиях периодичность и состав наблюдений, выбраны репрезентативные рейдовые вертикали (рис. 1). При оценке состояния водных объектов наиболее эффективен метод маркерных показателей (уровень воды, температура, электропроводность, содержание растворенного кислорода, прозрачность, pH и цветность воды, содержание валового и минерального фосфора), по пространственно-временным колебаниям которых можно судить как о текущем состоянии, так и об изменениях, происходящих в озерных системах. Выбор показателей обусловлен информативностью и их взаимосвязью, а также относительно небольшой трудоемкостью при измерениях.

Результаты исследований и их обсуждение. От температурного и кислородного режима озер зависит функционирование всей экосистемы водного объекта. На них накладывают свой отпечаток морфометрические характеристики водоема, определяющие значительную часть процессов, происходящих в толще воды озер. Важнейший морфометрический показатель – соотношение площади озера и его водосбора. Влияние водосбора особенно велико для менее крупных озер. Изрезанность и длина береговой линии озер системы, наличие плесов, имеющих разные морфометрические характеристики, число притоков и водообмен влияют на режим температуры и кислорода. При одной и той же температуре воздуха и силе ветра в плоских и широких озерных котловинах в летнее время водные массы перемешиваются более интенсивно, в результате может возникнуть гомотермия (например, в озерах Пере-

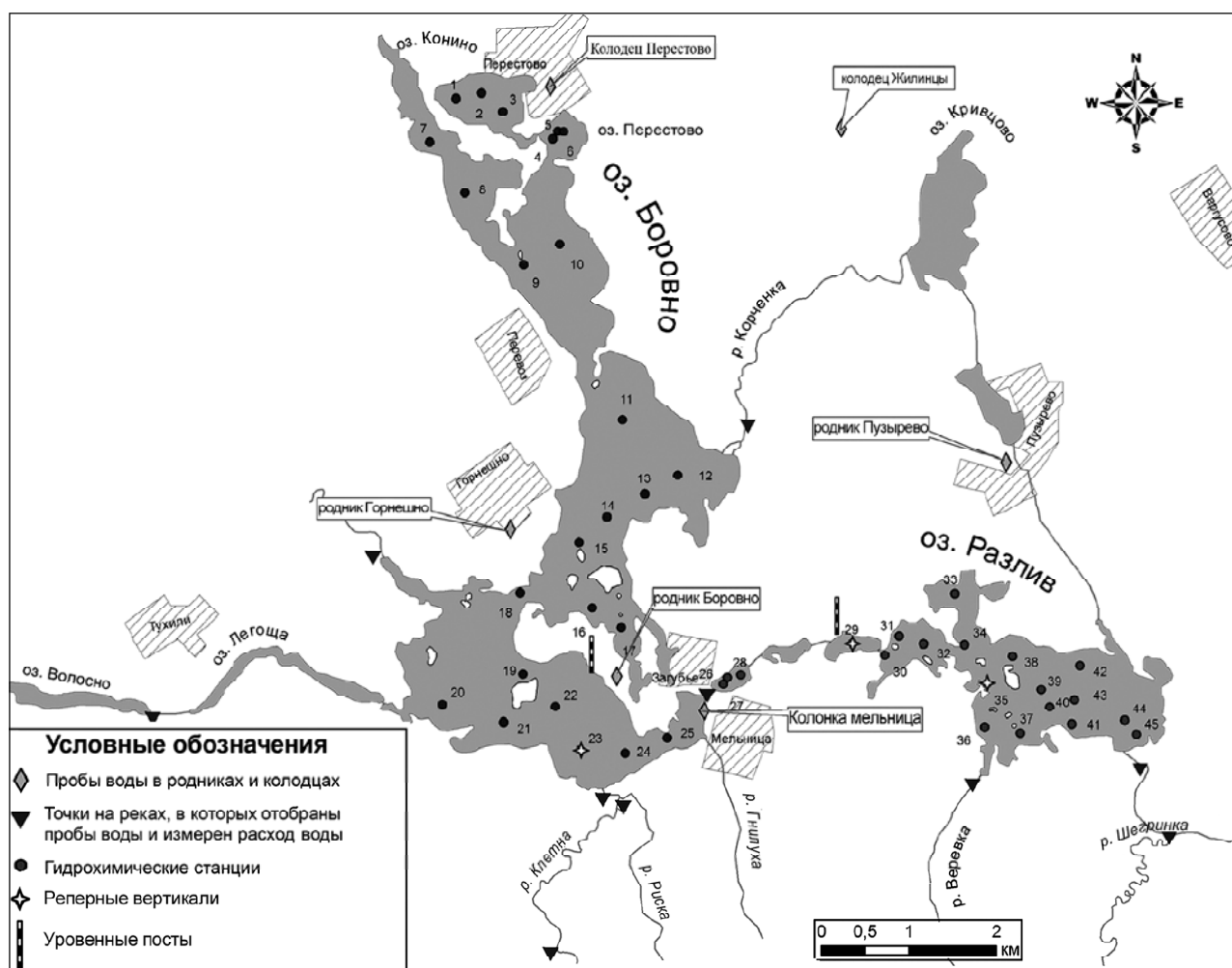


Рис. 1. Схема положения гидрологических постов, станций и реперных вертикалей при гидролого-гидрохимических съемках

Fig. 1. Diagram of hydrological sites and reference verticals of the hydrochemical surveys

стово и Конино), а в глубоких и «закрытых» озерах сохраняются устойчивая температурная стратификация и мощный слой гипolimниона (оз. Разлив, станция 29). В гипolimнионе идут процессы, отличающие одно озеро от другого. Так, в гипolimнионе оз. Белое (один из плесов оз. Разлив) наблюдаются низкая температура воды, дефицит кислорода, накопление диоксида углерода, увеличение минерализации, преобладание восстановительных реакций, образование определенного типа донных отложений и др.

Характер сезонного вертикального распределения температуры в озерах НП Валдайский в целом типичен для рассматриваемой территории. В период зимней стагнации распределение температуры воды по глубине в озерах системы Боровно–Разлив сходно. Температура воды поверхностных слоев составляет от 0 до 1,5 °С, причем пониженные значения поверхностной температуры (0–0,2 °С) наблюдаются в мелководных частях озер (с глубиной 1,5–5 м), а более высокие (0,2–0,6 °С) – в более глубоких частях (с глубиной 10–15 м). Значение придонной температуры также зависит от глубины: чем больше глубина, тем меньше выхолаживаются придонные горизонты, большее количество тепла сохраняется в

водной толще. Когда устанавливается ледяной покров, теплоотдача в атмосферу сокращается до минимума. Благодаря отдаче тепла ложем водоема придонные слои воды имеют большую температуру, чем вышележащие слои. Таким образом, температура придонных слоев воды в озерах в период ледостава находится в прямой зависимости от их глубины.

Конвективный перенос тепла, формирующий температуру водной массы, в южной части оз. Боровно ввиду большей проточности протекает интенсивнее, чем в его других плесах. В конце января 2012 г. температура придонных слоев воды (на глубине ≥ 20 м) южного плеса оз. Боровно не превышала 2 °С, в то время как на той же глубине в оз. Разлив была близка к температуре наибольшей плотности (рис. 2, а). Аналогичное вертикальное распределение температуры отмечено в этих плесах и в конце зимней стагнации 2013 г.

В период летней стагнации процессы, происходящие в озерах Боровно и Разлив, несколько различаются и зависят от морфометрических характеристик. Летом при относительно стабильном состоянии водных масс активный теплообмен в основном происходит в толще эпилимниона до слоя скачка, и его мощность зависит от динамических факторов.

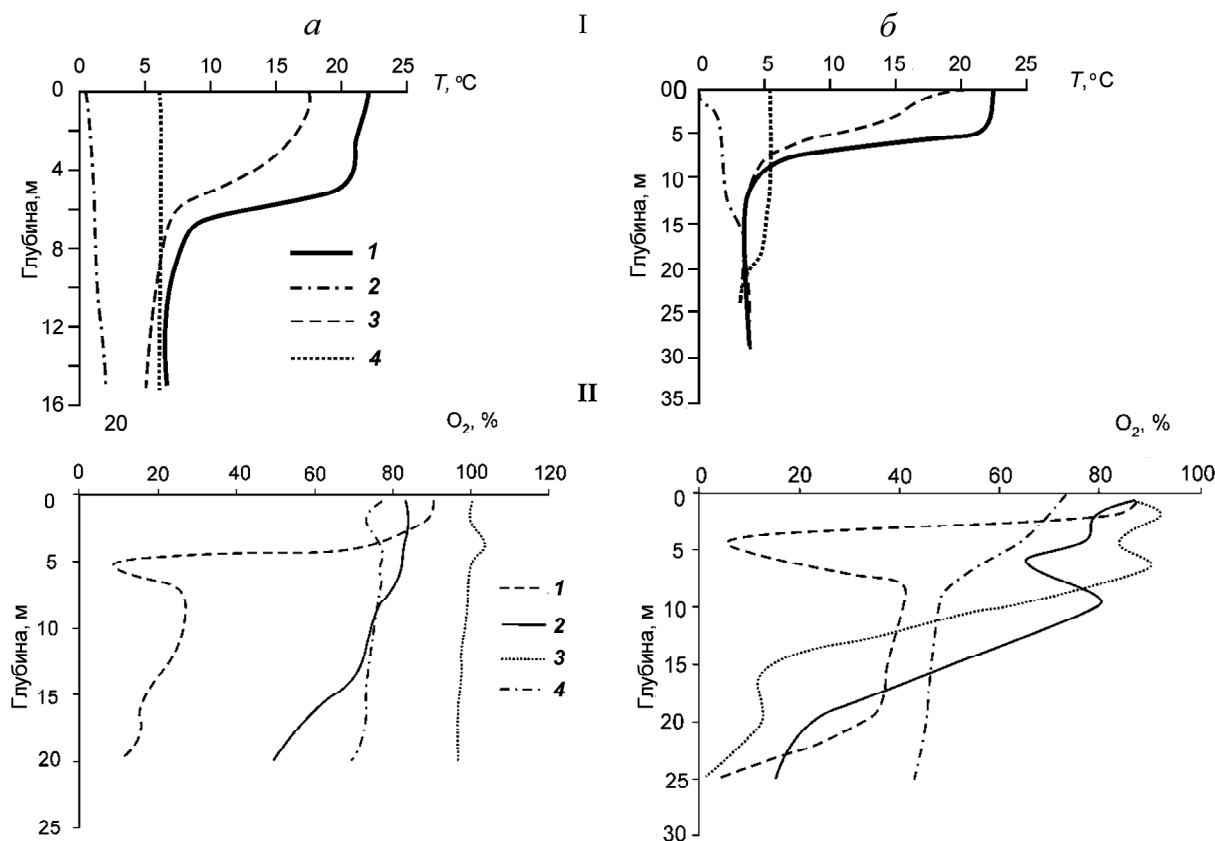


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды (I) и кислорода (II) в разные сезоны 2011 г. в озерах системы Боровно–Разлив: I: а – оз. Боровно (южный плес), б – оз. Разлив; II: а – оз. Боровно (южный плес); б – оз. Разлив (станция 29); 1 – лето, 2 – зима, 3 – весна, 4 – осень

Fig. 2. The vertical distribution of water temperature (I) and oxygen (II) during 2011 seasons in the Borovno–Razliv lakes system: I: а – Borovno Lake (south stretch), б – Razliv Lake, II: а – Borovno Lake (south stretch), б – Razliv Lake (site 29); 1 – summer, 2 – winter, 3 – spring, 4 – autumn

В глубоких озерах летом устанавливается прямая температурная стратификация, формируется устойчивый термоклин. Наибольшая разность температуры поверхностных и придонных слоев воды относится к периоду наиболее высокой температуры воздуха и составляет 10–17 °С, температурный градиент увеличивается в периоды жаркой безветренной погоды, стратификация становится более устойчивой. Например, в августе 2014 г. термоклин в озерах Боровно и Разлив находился на глубине 3,5–5,0 м, а термический градиент достигал на ряде станций 5,3 °С/м, что почти на 0,5 °С больше, чем летом 2011 и 2013 гг.

Положение термоклина в разных озерах неодинаково. Большая площадь зеркала озера (как, например, в южном плесе оз. Боровно) благоприятствует усилению влияния ветра и способствует перемешиванию в эпилимнионе. В мелководных озерах температурная стратификация летом практически отсутствует. В некоторых плесах озер вследствие затрудненного перемешивания их водных масс, обусловленного рельефом дна, температура нижних слоев гипolimниона практически не меняется в течение всего года. Воды в глубоководных частях оз. Разлив летом холоднее, а зимой, наоборот, теплее, чем в плесах оз. Боровно.

Содержание растворенного кислорода (РК) и степень насыщения им водной массы озер представ-

ляет собой результирующую характеристику протекающих в водоеме процессов продукции и деструкции ОВ, созданного в водоеме и поступившего извне. В кислородном режиме озер НП наименее благополучны периоды зимней и летней стагнации. Зимой прекращение газообмена с атмосферой, отсутствие ветрового перемешивания и фотосинтеза, деструкция растворенного органического вещества и окисление детрита, протекающие даже при низкой температуре, а также потребление кислорода грунтами, приводят к резкому уменьшению количества кислорода в придонных горизонтах. Эти закономерности типичны для водных объектов на европейской территории России, однако они могут нарушаться вследствие изменения гидрометеорологических условий.

Так, придонные слои южного плеса оз. Боровно в период зимних наблюдений в январе–феврале 2012 г. были более аэрированы, чем в январе–феврале 2010 и 2011 г. Это могло быть связано с хорошим перемешиванием водной толщи озера в период продолжительной гомотермии, обусловленной более поздним наступлением ледостава. Замерзание озер зимой 2011/12 гг. наступило на месяц позднее, чем в предшествующие годы вследствие повышенной температуры воздуха в этот период, не наблюдался и дефицит кислорода. В придонных сло-

ях воды глубоких плесов оз. Разлив зона аноксии на глубине ниже 20 м сформировалась менее чем через месяц после образования прочного ледяного покрова. Содержание растворенного кислорода на поверхности составляло около 90%, на глубине 20–25 м оно снизилось до аналитического нуля (рис. 2, б).

В период летней стагнации эпилимнион озер системы в среднем на 90–100% насыщен кислородом. В открытых плесах озер вследствие ветрового перемешивания насыщение кислородом поверхностных слоев воды снижается до 80%. При этом растворенный кислород проникает на большую глубину, чем в закрытых от ветра заливах. Заметное пересыщение кислородом (до 120%) поверхностных слоев воды характерно для мелководных озер и литоральной зоны в солнечную жаркую погоду. Однако на литоральных участках, закрытых от ветрового воздействия, могут формироваться очаги перегнивания отмершей органики, что приводит к резкому снижению содержания кислорода.

Во всех озерах системы на глубине 4–6 м летом формируется металимниальный минимум кислорода (рис. 2, б), который совпадает со слоем температурного скачка. Градиент относительного со-

[Ерина, 2013, 2014]. Поэтому наихудшие кислородные условия создаются в жаркие и маловодные годы в глубоких и узких плесах озер системы. Так, среднее содержание кислорода в эпилимнионе оз. Разлив (станция 29) по результатам съемок в августе (2011, 2013 и 2014) составило 4,8 мг/л, а в широком центральном плесе оз. Боровно – 7,0 мг/л. Снижению концентрации кислорода в глубоких плесах озер парка способствует наличие резких понижений в рельефе дна – следов деятельности ледника. Дефицит кислорода в таких впадинах может увеличиваться вследствие его поглощения залегающими здесь черными восстановленными илами.

В озерах системы Боровно–Разлив формируются водные массы, обладающие определенным набором характеристик, важная из которых – электропроводность воды. Электропроводность воды озер системы не превышает 200 мкСм/см (рис. 3), ее распределение характеризуется сезонной, межгодовой и пространственной изменчивостью. Воды, поступившие в озера в половодье, имеют заметно меньшую электропроводность, чем воды в меженный период: сезонная изменчивость электропроводности воды достигает 50–60 мкСм/см.

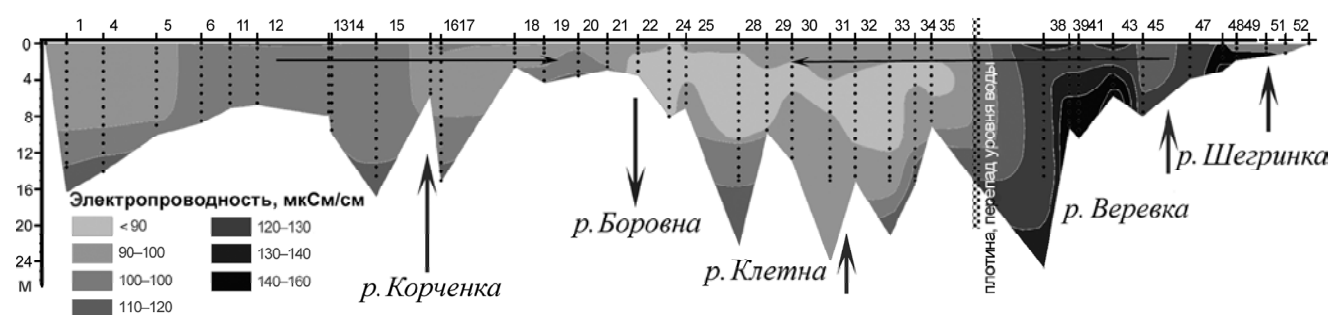


Рис. 3. Распределение электропроводности воды в озерно-речной системе Боровно–Разлив по данным наблюдений в феврале 2010 г.

Fig. 3. Water conductivity in the Bоровно–Razliv lake–river system in February 2010

держания кислорода достигает 50–60% на 1 м. В слое скачка при больших плотностных градиентах минимум концентрации кислорода достигает аналитического нуля. Образование металимниального минимума O_2 обычно связывают со скоплением органического вещества планктонного происхождения в слое резкого изменения плотности воды и с развитием на этом субстрате потребляющих кислород микроорганизмов. Такое явление, распространенное в озерах Валдайского поозерья, С.И. Кузнецов (1952) считает одним из типологических показателей трофического состояния озера. Однако наличие металимниального минимума определяется, скорее, температурной стратификацией, а не трофическим статусом водоема.

Замедленный водообмен и большая глубина озер могут приводить к формированию в придонных слоях зоны аноксии, которая, как правило, расположена ниже 20 м. При установившейся жаркой погоде увеличиваются продолжительность существования в водоемах условий кислородного дефицита и скорость потребления кислорода в гипolimнионе

Пространственная изменчивость электропроводности воды составляет в среднем ~30 мкСм/см, поскольку водная масса, сформировавшаяся в оз. Разлив, при прохождении через водосброс Боровновской ГЭС и озер Островёнок и Плотиченко трансформируется – уменьшается ее электропроводность, выравнивается температура по глубине. Как правило, электропроводность воды оз. Боровно в среднем ниже электропроводности, наблюдаемой в оз. Разлив (рис. 3). Характерная особенность распределения электропроводности воды в оз. Разлив – формирование в его придонных горизонтах (на глубине 20–25 м) линз более минерализованных вод. Градиент электропроводности на глубине свыше 20 м может достигать 10 мкСм/см на 1 м.

Вертикальное распределение электропроводности нарушается в местах впадения притоков, имеющих другие гидролого-гидрохимические характеристики. Зимой 2010 г. воды притоков оз. Разлив характеризовались большими (на 30–40 мкСм/см) по сравнению с зимами 2011–2013 гг. значениями электропроводности, что привело к увеличению элек-

тропроводности воды озера. Повышение электропроводности воды притоков в 2010 г. было, вероятно, обусловлено пониженной водностью и увеличением в воде притоков доли более минерализованных подземных вод. Это обстоятельство не оказало заметного влияния на электропроводность воды нижежащих озер системы. Масштаб межгодовых изменений электропроводности воды озерной системы в период зимней межени в среднем не превысил 15%.

Ландшафтные особенности водосбора обуславливают повышенное содержание ОВ в воде озер системы Боровно–Разлив; на 80–85% ОВ представлено трудноокисляемыми ОВ аллохтонного происхождения [Фролова и др., 2012]. Заболоченность водосборов озер, входящих в каскадную группировку оз. Разлив, более чем в 5 раз превышает заболоченность водосбора оз. Боровно. Содержание ОВ увеличивается на спаде половодья и в период летней стагнации, а осенью и зимой несколько уменьшается. По данным наблюдений в водах озер системы величина перманганатной окисляемости (ПО) в зимний период составляла в среднем 7,8–9,8, ХПК – 22–29,1 мг О/л, уменьшаясь от поверхности ко дну. Летом показатели ПО и СПК были больше и изменялись в воде оз. Разлив в диапазоне 12,1–15,0 и 39,5–49,7 мг О/л; в воде оз. Боровно – в диапазоне 9,5–12,5 и 36,2–47,5 мг О/л соответственно, незначительно снижаясь от поверхности к дну.

Содержание фосфора и соотношение между его формами – важные интегральные показатели, характеризующие реакцию водоема на изменение антропогенной нагрузки. Концентрация валового фосфора ($P_{\text{вал}}$) в водах озерно-речной системы Боровно–Разлив на спаде половодья составила 50–100 мкг/л и была обусловлена в первую очередь ростом во всей водной толще озер доли взвешенного минерального фосфора ($P_{\text{мин}}$), поступающего с водосбора. На спаде весеннего половодья концентрация $P_{\text{мин}}$ в воде озер возрастала от поверхности к дну от 15 до 30 мкг/л. Летом в поверхностных горизонтах исследованных водоемов содержание $P_{\text{мин}}$ снижалось до 0–10 мкг/л, составляя не более 15% от его валового содержания. По данным съемки в августе 2013 г. минимальная концентрация $P_{\text{мин}}$ отмечена в поверхностном слое центральной части оз. Разлив, где она достигала аналитического нуля. Чуть выше было содержание $P_{\text{мин}}$ (4 мкг/л) в оз. Белое и в южном плесе оз. Боровно (8–10 мкг/л).

При уменьшении в эпилимнионе запасов $P_{\text{мин}}$ заметно снижалась и концентрация хлорофилла (от 3 мкг/л в оз. Разлив до 15–16 мкг/л в южном плесе оз. Боровно). С глубиной доля неорганического фосфора в содержании валового фосфора увеличивалась до 50–65%, особенно значительно ниже металимниального минимума кислорода, и в придонных слоях воды достигала 80% (25 мкг/л). В период осенней гомотермии концентрация фосфора выравнивалась по глубине. Зимой отмечено увеличение $P_{\text{мин}}$ до 25–45 мкг/л, $P_{\text{вал}}$ – до 50–65 мкг/л. При этом $P_{\text{мин}}$ преобладал, как правило, лишь в глубоких

центральных частях озер, а в мелководных плесах зимой, как и в течение всего года, основной формой оставался органический фосфор.

Обмен фосфором между донными отложениями и водой гипolimниона – часть круговорота, регулирующего фосфорную нагрузку на водоем и процесс эвтрофирования в целом. Величина диффузионного потока фосфора из грунтов в воду и в обратном направлении определяется его разной концентрацией в поровом растворе и придонной воде, количеством фосфатов, высвобождающихся при деструкции ОВ, десорбции фосфатов с гидроксидов железа, происходящей в условиях кислородного дефицита. Потоки фосфора на границе вода–дно подвержены сезонной изменчивости [Савенко, Савенко, 2007]. В озерах системы во все сезоны 2013 г. наблюдалось поступление фосфора из донных отложений в воду. В мелководных водоемах Перестово и Разлив величины потока фосфора из грунта в воду практически не менялись в течение года (4,5–6,3 и 4–5 мг Р/м²·сут летом и зимой соответственно). В глубоких плесах летом поступление фосфора на границе вода–дно также составляло от 3 до 6 мг Р/м²·сут, в то время как зимой оно увеличивалось в 2–3 раза, достигая 14 мг Р/м²·сут в оз. Белое (глубокий плес оз. Разлив), что обусловило повышенную (45 мкг/л) по сравнению с водами других озер концентрацию $P_{\text{мин}}$ в придонной воде (25–30 мкг/л).

Содержание ОВ в верхнем (0–2 см) слое донных отложений колебалось от 16–25% (озера Боровно и Перестово) до 50% (оз. Разлив). Относительная мелководность оз. Разлив способствовала разрушению температурной стратификации вследствие ветрового перемешивания, что увеличивало седиментацию и накопление ОВ в грунтах. При этом сезонные колебания количества ОВ в грунтах всех исследуемых озер вне зависимости от их глубины были незначительны (0–10%). Незначительны также сезонные изменения гигроскопической влажности верхнего слоя донных отложений в изучаемых озерах ($d \approx 4\%$), что характеризует свежесть исследуемого осадка. Наибольшая гигроскопическая влажность осадка характерна летом для мелководной части оз. Разлив, в котором при периодическом разрушении температурной стратификации происходит оседание на дно свежего детрита.

В зависимости от сезона в озерах менялась скорость потребления кислорода (СПК) донными отложениями. Зимой СПК во всех исследуемых водоемах была минимальна и составляла от 10 до 40 мг/м²·сут. Наибольшие величины СПК в мелководных озерах отмечены летом (до 200 мг/м²·сут в озерах Перестово и Разлив), а в глубоких (озерах Боровно и Белое) – в период осенней гомотермии (до 100–150 мг/м²·сут).

Общая деструкция ОВ в верхнем слое донных отложений ($D_{\text{общ}}$) в глубоких озерах в течение всего года не превышала 100 мгС/м²·сут (сказывалось лимитирующее влияние таких факторов, как отсутствие кислорода у дна и низкая температура при-

донного слоя воды). В то же время в относительно мелко-водных озерах Перестово и Разлив $D_{\text{общ}}$ в летний период достигала 300 мгС/м²·сут. Соотношение аэробной и общей деструкции в периоды устойчивой температурной стратификации в озерах не превышало 30%. В период гомотермии, когда вследствие процессов перемешивания и аэрации водной толщи возрастала аэробная деструкция, это отношение достигало 80%.

Геохимическая особенность исследованных озер – поступление с водосборной территории значительного количества растворенных и валовых форм железа и марганца, оседающих на дне и формирующих химический состав донных отложений. Основной причиной высокого содержания подвижных форм Mn в ландшафтах водосбора и дальнейшего поступления в водоем Е.М. Никифорова [1980] считала минерализацию древесных остатков и опада растительности, поглощающей значительное количество этого элемента. Максимальное содержание железа и марганца обнаружено в грунте (слой 0–5 см) оз. Белое (таблица). Полученные результаты хорошо согласуются с данными о содержании Fe и Mn в верхнем слое донных отложений Валдайских озер [Недогарко, 2007]. В условиях аноксии происходит восстановление труднорастворимых гидроксидов железа и марганца до относительно хорошо растворимых соединений ^{2+}Fe и ^{2+}Mn , часть которых свободно переходит в поровый раствор, откуда диффундирует в воду [Мартынова, 2010]. Концентрация Fe и Mn в поровом растворе образца из оз. Белое значительно больше, чем в других озерах (53 и 16 мг/л соответственно), здесь же фиксируется и максимальное содержание марганца в придонной воде, что во многом определяется глубиной в точке отбора образца. На глубине аномально высокие значения концентрации являются признаком процесса, сходного с образованием железомарганцевых конкреций или озерной руды [Недогарко, 2007].

Установлены корреляционные связи между маркерными показателями и рядом других параметров качества воды: между электропроводностью и жесткостью воды ($R = 0,78$); между цветностью воды и перманганатной окисляемостью ($R = 0,81$). Получены статистические оценки взаимосвязи между содержанием кислорода и другими гидрохимическими и гидробиологическими параметрами. Концентрация O_2 имеет обратную корреляцию с содержанием марганца ($R = -0,83$) и содержанием минерального фосфора ($R = -0,67$), а прямую – в лет-

Содержание железа и марганца в воде и грунтах озер Белое и Перестово (2013 г.)

Показатель	Содержание Fe		Содержание Mn	
	оз. Белое	оз. Перестово	оз. Белое	оз. Перестово
Грунт, %	2,88	0,79	0,33	0,053
Поровая вода, мг/л	53	12,3	16	1,56
Придонная вода, мг/л	3,6	0,47	4,4	0,15
Величина потока (зима), мг/м ² ·сут	300	28	210	48
Величина потока (лето), мг/м ² ·сут	395	11	250	10,5

ний период с величиной pH ($R = 0,81$) и содержанием хлорофилла-*a* ($R = 0,80$).

Выводы:

– современное гидроэкологическое состояние водных объектов озерно-речной системы Боровно–Разлив можно оценить как условно-фоновое; оно определяет нормальное существование водной экосистемы. Для исследованных параметров характерна внутригодовая и межгодовая изменчивость. Изменение большинства показателей (электропроводность и pH воды, ПО, цветность и СПК, содержание марганца и железа) обусловлены ландшафтными особенностями водосбора и морфометрическими характеристиками озер. Они незначительно реагируют на изменения гидрометеорологических условий в исследованный временной период. Количество растворенного кислорода и соединений фосфора, напротив, весьма чувствительно к этим изменениям;

– особенность озер на территории НП Валдайский – существование в летний период металимниального минимума кислорода, расположенного на глубине 4–6 м и усиливающегося при жаркой безветренной погоде. Металимниальный минимум определяется температурной стратификацией в водоеме и приводит к увеличению скорости истощения запасов кислорода в гипolimнионе и продолжительному существованию аноксидных условий;

– сезонные изменения, обусловленные особенностями гидрологической структуры водоема в конкретный период, характерны для таких показателей донных отложений, как скорость потребления кислорода, соотношение общей и аэробной деструкции, величина диффузионных потоков железа, марганца и фосфора из грунтов в придонные слои воды;

– полученные связи между маркерными показателями и рядом других параметров качества воды могут быть полезны при разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты и региональных нормативов качества воды.

Благодарности. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-17-00155).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Баянов Н.Г. К вопросу о проведении лимнологических наблюдений в заповедниках // Проблемы сохранения и оценки состояния природных комплексов и объектов: Мат-лы науч. конф. Воронеж, 1997. С. 30–31.

Баянов Н.Г., Кораблева О.В. Характеристика гидрологического года в Керженском заповеднике: методические подходы // Тр. Гос. природного биосферного заповедника «Керженский». Т. 6. Нижний Новгород, 2014. С. 55–64.

Гордеева Т.А., Розуленко А.В., Телеганова В.В. Обзор научных исследований по изучению природного наследия национального парка «Угра» // Природа и история Погуля. Калуга, ИЦ «Постскриптум». 2006. С. 20–36.

Ерина О.Н. Диагностические расчеты кислородного режима стратифицированного водохранилища в условиях малой водности // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: Тр. Междунар. науч.-практ. конф. Т. 2. Пермь, 2013. С. 73–78.

Ерина О.Н. Прогностические оценки изменения кислородного режима и качества воды в Можайском водохранилище в экстремально жаркую погоду // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 6. С. 10–15.

Ермаченко Л.А., Ермаченко В.М. Атомно-абсорбционный анализ с графитовой печью. М.: ПАИМС, 1999. 219 с.

Ефимова Л.Е., Фролова Н.Л. Гидрологический мониторинг в пределах особо охраняемых природных территорий // Вода: химия и экология. 2013. № 5. С. 20–28.

Комаров Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». СПб.: Веда, 2006. 212 с.

Мартынова М.В. Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М.: Наука. 2010. 256 с.

Муравьев А.Г. Руководство по определению качества воды полевыми методами. СПб.: Кримас+, 1999. 204 с.

Недогарко И.В. Химический состав донных отложений Валдайских озер // Вестн. Твер. гос. ун-та. Сер. География и геоэкология. Тверь: Изд-во ТГУ, 2007. Вып. 19 (47). С. 74–85.

Никифорова Е.М. Микроэлементы в южно-таежных ландшафтах Валдайской возвышенности // Геохимия ландшафта и практика народного хозяйства. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1980.

Повалишников Е.С., Ефимова Л.Е., Головлева В.О. Применение методов дистанционного зондирования для мониторинга водных объектов в пределах ООПТ // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. Вып. 11(58), Т. 2. М.: Научно-информационный издательский центр и редакция журнала «Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук», 2013. С. 99–107.

Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. Л.: Наука, 1985. 294 с.

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

Савенко В.С., Савенко А.В. Геохимия фосфора в глобальном гидрологическом цикле. М.: ГЕОС, 2007. 248 с.

Фролова Н.Л., Ефимова Л.Е., Повалишников Е.С. и др. Особенности природопользования и гидроэкологическое состояние озерно-речной системы Боровно-Разлив (национальный парк «Валдайский») // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 1. С. 81–90.

Шварева И.С., Трифонов К.И., Никифоров А.Ф. Гидрохимический мониторинг водных экосистем национального парка «Мещера» // Водное хоз-во России. 2014. № 1. С. 58–74.

Поступила в редакцию 27.07.2015

Принята к публикации 11.12.2015

L.E. Efimova¹, E.S. Povalishnikova², E.V. Terskaya³,
N.L. Frolova⁴, D.V. Lomova⁵

HYDROCHEMICAL STATE OF WATER BODIES IN THE VALDAI NATIONAL PARK

Specific features of the regime of the Bоровно-Razliv lake-river system are investigated, as well as the mechanism of the flow of dissolved mineral and organic substances and exchange processes between bottom waters and soil during different seasons within the territory of Valdai national park. The actual hydroecological state of water objects is considered taking into account specific conditions of nature and water management in the region. The results of investigations made it possible to suggest the optimum terms of further observations on the lakes of the Bоровно-Razliv system and other lakes of the national park.

Key words: monitoring, hydroecological conditions, nature protection areas.

Acknowledgements. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project No 14-17-00155).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Hydrology, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: ef_river@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Hydrology, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: almond_a@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Hydrology, Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: elena_terskaya@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Hydrology, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: frolova_nl@mail.ru

⁵ Water Problems Institute RAS, Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: florainter@mail.ru

REFERENCES

- Bajanov N.G.* K voprosu o provedenii limnologicheskikh nabljudenij v zapovednikah [On the question of carrying out limnological observation in nature reserves], Problemy sohraneniya i ocenki sostojaniya prirodnykh kompleksov i ob'ektov, Materialy nauch. konf., Voronezh, 1997, pp. 30–31 (in Russian).
- Bajanov N.G., Korableva O.V.* Harakteristika gidrologicheskogo goda v kerzhenskom zapovednike: metodicheskie podhody [Hydrological year characteristics in the Kerzhensky reserve: methodological approaches], Trudy Gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika «Kerzhenskij», Vol. 6, Nizhnij Novgorod, 2014, pp. 55–64 (in Russian).
- Efimova L.E., Frolova N.L.* Gidrologicheskij monitoring v predelah osobo ohranjaemykh prirodnykh territorij [Hydrological monitoring within specially protected areas], Voda: himija i jekologija, 2013, no 5, pp. 20–28 (in Russian).
- Erina O.N.* Diagnosticheskie raschety kislorodnogo rezhima stratificirovannogo vodohranilishha v uslovijah maloj vodnosti [Diagnostic calculations of stratified reservoir oxygen regime in low flow conditions], Sovremennye problemy vodohranilishh i ih vodosborov. Trudy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Perm, 2013, Vol. 2, pp. 73–78 (in Russian).
- Erina O.N.* Prognosticheskie ocenki izmeneniya kislorodnogo rezhima i kachestva vody v Mozhaiskom vodohranilishhe v jekstremal'no zharkuju pogodu [Prognostic assessment of changes in oxygen conditions and quality of water in the Mozhaisk reservoir in extremely hot weather], Vestnik Moskovskogo universiteta, Seriya 5, Geografija, 2014, no 6, pp. 10–15 (in Russian).
- Ermachenko L.A., Ermachenko V.M.* Atomno-absorbicijnyj analiz s grafitovoj pech'ju [Atomic absorption analysis with graphite furnace], Moscow: PAIMS, 1999. 219 p. (in Russian).
- Frolova N.L., Efimova L.E., Povalishnikova E.S. et al.* Osobennosti prirodopol'zovanija i gidrojekologicheskoe sostojanie ozerno-rečnoj sistemy Borovno–Razliv (nacional'nyj park «Valdajskij») [Features of the state of natural resources and lake-river system Borovno–Razliv (National Park «Valdai»)], Izvestija RAN. Ser. geogr., 2012, no 1, pp. 81–90 (in Russian).
- Gordeeva T.A., Rogulenko A.V., Teleganova V.V.* Obzor nauchnykh issledovanij po izucheniju prirodnogo nasledija nacional'nogo parka «Ugra» [Review of the scientific research in the natural park «Ugra»], Priroda i istorija Pougor'ja. Vyp. 4. Kaluga: IC «Postskriptum», 2006, pp. 20–36 (in Russian).
- Komarov N.V., Kamencev Ja.S.* Prakticheskoe rukovodstvo po ispol'zovaniju sistem kapillarnogo jelektroforeza «Kapel'» [YS practical guide to the use of capillary electrophoresis systems «drops»], SPb., Veda, 2006, 212 p. (in Russian).
- Martynova M.V.* Donnye otlozhenija kak sostavljajushhaja limnicheskij jekosistem [Sediments as a part of the limnetic ecosystems], Moscow, Nauka, 2010, 256 p. (in Russian).
- Murav'ev A.G.* Rukovodstvo po opredeleniju kachestva vody polevymi metodami. [Guidelines for the determination of water quality field methods], SPb., Krismas+, 1999, 204 p. (in Russian).
- Nedogarko I.V.* Himicheskij sostav donnykh otlozhenij Valdajskih ozer [The chemical composition of the bottom sediments in the Valdai Lakes], Vestnik Tver. gos. un-ta. Ser. geogr. i geojekol, Tver': Izd-vo TGU, 2007, no 19 (47), pp. 74–85 (in Russian).
- Nikiforova E.M.* Mikrojelementy v juzhno-taezhnykh landshaftah Valdajskoj vozvysheennosti [Trace elements in the southern taiga landscapes of Valdai Hills], Geohimija landshafta i praktika narodnogo hozjajstva, Moscow: Izd-vo MGU, 1980 (in Russian).
- Povalishnikova E.S., Efimova L.E., Golovleva V.O.* Primenenie metodov distancionnogo zondirovanija dlja monitoringa vodnykh ob'ektov v predelah OOPT [The use of remote sensing techniques for the monitoring of water bodies within protected areas], Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk, no 11(58), Vol. 2, Moscow, Nauchno-informacionnyj izdatel'skij centr i redakcija zhurnala «Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk», 2013, pp. 99–107 (in Russian).
- Romanenko V.I.* Mikrobiologicheskie processy produkcii i destrukcii or-ganicheskogo veshhestva vo vnutrennih vodoemah. [Microbiological processes of production and destruction of organic matter in inland waters], Leningrad, Nauka, 1985, 294 p. (in Russian).
- Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri jekologicheskom monitoringe rybohozjajstvennykh vodoemov i perspektivnykh dlja promysla rajonov Mirovogo Okeana* [Guidance on chemical analysis of marine and fresh water in the ecological-sky monitoring of fishery ponds for fishing and promising areas of the World Ocean], Moscow, izd-vo VNIRO, 2003, 202 p. (in Russian).
- Savenko V.S., Savenko A.V.* Geohimija fosfora v global'nom gidrologicheskom cikle. [Geochemistry of phosphorus in the global hydrological cycle], Moscow, GEOS, 2007, 248 p. (in Russian).
- Shvareva I.S., Trifonov K.I., Nikiforov A.F.* Gidrohimicheskij monitoring vodnykh jekosistem nacional'nogo parka «Meshhera» [Hydrochemical monitoring of aquatic ecosystems of the National Park «Meschera»], Vodnoe h-vo Rossii, 2014, no 1, pp. 58–74 (in Russian).

Received 27.07.2015

Accepted 11.12.2015

УДК 911 + 332

Н.В. Залесский¹, П.В. Зюзин², Е.О. Кончева³

РЕОРГАНИЗАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ КОМПЛЕКСА РЕГИОНАЛЬНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА НА ПРИМЕРЕ ПЕРМСКОГО КРАЯ

Дерегулирование рынка общественного пассажирского транспорта в РФ привело к нарастанию негативных дисбалансов в сфере транспортного обслуживания населения. В связи с этим в некоторых регионах предприняты шаги для более эффективного использования имеющихся перевозочных мощностей. В основном они затрагивают вопросы потенциальной доступности населенных пунктов и проблемы регулирования рынка предоставляемых транспортных услуг. Представлен опыт подобных исследований для Пермского края. С использованием методики пространственного анализа исследованы особенности сложившейся системы транспортного обслуживания населения этого региона и предложены конкретные организационные и управленческие решения по ее оптимизации. Предложены поэтапные мероприятия по взаимоувязке разных видов транспорта в направлении перехода к интермодальному типу функционирования транспортного комплекса.

Ключевые слова: пассажирский транспорт, транспортные услуги, оптимизация, Пермский край.

Введение. Проблема оптимизации пространственной структуры комплекса общественного транспорта широко освещена в работах о городских транспортных системах [Вучик, 2011; Nielsen, 2005; Vuchic, 2005], в то время как проблемы пространственной структуры регионального комплекса общественного транспорта рассматриваются в научной литературе сравнительно редко. При этом даже в тех странах, где управление городскими транспортными системами достигло крайне высокого уровня, проблемы регионального транспорта остаются актуальны. К основным проблемам регионального общественного транспорта относятся недостаток интермодальных узлов, отсутствие единых билетов, недостаточное информационное сопровождение, дисбаланс спроса и предложения. [International..., 2013]. Проблема особенно актуальна из-за роста рынка услуг регионального общественного транспорта [Yai et al., 2014]. Опережающий рост интенсивности межселенных связей по сравнению со внутригородскими наблюдался еще в XX в.: за 1950–1970 гг. внутригородская подвижность населения возросла в 4 раза, а подвижность в пригородных сообщениях – в 7 раз [Каплан, Каган, 1976].

Цели и функции комплексов общественного транспорта города и региона в целом схожи. Основные отличительные черты регионального комплекса общественного транспорта – большие расстояния и, следовательно, меньшая доля трудовых поездок в общем числе совершаемых перемещений, меньший объем пассажиропотоков [Гольц, 1981; Frick, Grimm, 2014]. В общем случае это создает определенные проблемы, так как при меньшем спросе, соответственно, снижается качество предо-

ставляемых услуг. Дополнительные проблемы при перевозках на дальние расстояния возникают у операторов рельсовых видов транспорта. Результаты исследований показывают, что наличие конкуренции даже на одном участке сети железнодорожного транспорта с автобусными перевозчиками существенно негативно влияет на эффективность работы всей системы [Bataille, 2013].

Тем не менее за рубежом не сложился единый подход к роли разных видов транспорта в пространственной структуре региональных комплексов [Sippel, Mayer, 2012; The European..., 2006]. В США, Великобритании, Швеции региональный общественный транспорт полностью дерегулирован, приоритет рельсового транспорта как каркаса транспортной системы никак не закреплён законодательно, автобусные перевозки на междугородних маршрутах не субсидируются. В Норвегии и Испании междугородние автобусные перевозки субсидируются, проводятся конкурсы на маршруты. В Германии недавние изменения в законодательстве снизили степень государственного регулирования комплекса регионального общественного транспорта, однако к автобусным перевозчикам на междугородних маршрутах до сих пор предъявляются сравнительно жесткие требования: расстояние между остановками междугородних автобусов не должно превышать 50 км; недопускается организация автобусного сообщения в общем коридоре с линиями железнодорожного транспорта, если по ним можно преодолеть расстояние между двумя остановками автобусного транспорта менее чем за 1 час [Augustin et al., 2014]. Подобные ограничения необходимы для поддержания субсидируемого местного транспорта и железнодорожного транспорта.

¹ Институт экономики транспорта и транспортной политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», мл. науч. с.; e-mail: nvzalesskiy@gmail.com

² Институт экономики транспорта и транспортной политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: pzyuzin@hse.ru, тел. 8(965)385-06-31

³ Институт экономики транспорта и транспортной политики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», мл. науч. с.; e-mail: ekoncheva@hse.com

В работах отечественных ученых, посвященных развитию региональных транспортных систем, большой акцент делается на взаимосвязи транспорта и расселения. В работе [Каплан, Каган, 1976] сделан акцент на развитие подцентров, образующих свои зоны влияния, наряду с областными центрами, формирующими и возглавляющими складывающиеся системы расселения. Между тем исследование пассажирских связей Хабаровского края на базе социологических опросов [Литуненко, 1980] позволило установить, что один из ведущих факторов формирования межпоселенных связей – размещение объектов социально-бытовой инфраструктуры и торговли, развитие которых характеризуется как недостаточное. Этот факт приводит к формированию пассажирских потоков в крупнейшие центры с целью посещения предприятий традиционных форм обслуживания населения. Таким образом, недостаточное развитие подцентров с развитой социально-бытовой инфраструктурой формирует дополнительную нагрузку на транспортную систему региона. Исследование Московского региона [Тратынов, 1978] также показало наличие в пределах района, возглавляемого Москвой, 50 локальных групп, однако установлено, что в зоне устойчивых повседневных контактов с Москвой сила трудового тяготения к ней намного превосходит силу тяготения к другим городам, даже самым значительным. Исследовались также области применения автобусного и железнодорожного транспорта на малоделятельных участках в пригородном сообщении [Беленький, 1968]. Установлено, что в зонах до 50 км более эффективна эксплуатация автобусов в условиях пассажиро-потоков до 500 человек в одном направлении.

Отечественные работы в этой области за последние 25 лет посвящены главным образом трансформациям комплекса регионального общественного транспорта (и взаимосвязанных с ним систем расселения) в условиях перехода к рыночной экономике. Анализ деформации межселенных связей и факторов их формирования в Свердловской области

[Сабитов, 1993] позволил выявить процессы усиления неравномерности размещения населения и стягивания его к центру и югу области, а также сокращение числа сельских поселений. Также установлено, что близость районных центров положительно влияет на демографические процессы. Так, сокращение численности населения внутри 30-километровой зоны от райцентров происходило более чем в 2 раза менее стремительно, чем на остальной территории области. Изучались, кроме того, особенности использования подвижного состава на малоделятельных железнодорожных линиях [Гарбузова, 2012].

В исследованиях городского транспорта выделяются два подхода к организации комплекса общественного транспорта в городах [Nielsen, Lange, 2005]: 1) подход, ориентированный на спрос; 2) подход, ориентированный на предложение.

Подход, ориентированный на спрос, предполагает наличие нерегулируемого рынка транспортных услуг, в котором транспортные операторы сами определяют маршруты, по которым осуществляется движение, ориентируясь на объем спроса в разных районах города. Подход, ориентированный на предложение, предполагает наличие утвержденной маршрутной сети, по которой может осуществляться движение общественного транспорта. Такие подходы имеют ряд существенных различий по экономическим параметрам. Подход, ориентированный на спрос, пользовался определенной популярностью в развитых странах [Вучик, 2011], однако позднее был признан несостоятельным главным образом по причине низкого качества предоставляемых услуг, что привело к стремительному росту автомобилепользования.

С точки зрения пространственной структуры комплекса общественного транспорта (табл. 1) подход, ориентированный на спрос, имеет два основных недостатка. Во-первых, так как организация транспортного обслуживания отдельных районов из-за недостаточного объема спроса не представляет

Таблица 1

Особенности пространственной структуры комплекса городского общественного транспорта при разных подходах к его организации

Параметры	Подход, ориентированный на спрос	Подход, ориентированный на предложение
Зона обслуживания	Наличие необслуживаемых зон неизбежно	Обслуживается вся территория города в соответствии с утвержденной маршрутной сетью
Наличие параллельных маршрутов	Наличие конкуренции между маршрутами; между автобусным и рельсовым транспортом	Отсутствие конкуренции между маршрутами. Определение доли автобусного и рельсового транспорта, отсутствие конкуренции между ними
Пересадки	Незначительное число крупных пересадочных узлов	Большое число удобных пересадочных узлов
Вместимость транспортных средств	Транспортные средства преимущественно малой вместимости	Транспортные средства большой вместимости на ключевых маршрутах
Наличие экспрессных маршрутов	Организация экспрессных маршрутов затруднена	Экспрессные маршруты организуются на востребованных участках

экономического интереса для операторов, возникают необслуживаемые зоны, жители которых не имеют доступа к общественному транспорту и возможностям саморазвития [Devon et al., 2013]. Во-вторых, из-за наличия конкуренции между маршрутами и видами транспорта сокращается спрос на услуги каждого транспортного оператора, что сокращает его доходы и, соответственно, способность поддерживать уровень качества предоставляемых услуг. В частности, операторы, как правило, используют подвижной состав малой вместимости. В случае подхода, ориентированного на предложение, эта проблема решается путем организации большого числа удобных пересадочных узлов, что позволяет существенно повысить качество обслуживания на наиболее загруженных направлениях, а подвижной состав малой вместимости используется только на подвозящих маршрутах. Кроме того, при недостаточном числе пересадочных узлов невозможно организовать экспрессное сообщение, так как спрос на такое сообщение между пунктом отправления и пунктом назначения в большинстве случаев оказывается незначительным, в то время как на отдельном участке маршрута он может быть достаточно большим.

Поскольку комплекс регионального общественного транспорта в Российской Федерации с 1990-х гг. фактически не регулируется государством, есть основания полагать, что ему присущи те же проблемы, что и комплексу городского транспорта, организованного в рамках подхода, ориентированного на спрос. В таком случае возможна оптимизация комплекса регионального транспорта путем адаптации инструментов, разработанных для города, в рамках подхода, который ориентирован на предложение. Эта проблема рассматривается в статье на примере Пермского края.

Материалы и методы исследований. Основным материалом для анализа пространственной структуры регионального комплекса послужили расписания движения автобусов и поездов в пригородном (межмуниципальном) сообщении в 2013 г., по которым в геоинформационной системе восстановлен каркас транспортного комплекса. В геоинформационной системе собраны также данные о численности населения по населенным пунктам по данным переписи 2010 г.

Авторы статьи выбрали географический подход к решению задачи, который позволяет наилучшим образом учесть взаимосвязь транспорта и расселения при формировании предложений по оптимизации пространственной структуры комплекса регионального общественного транспорта. Тем не менее в рамках такого подхода не рассматриваются организационная и финансовая составляющие оптимизационного процесса.

Результаты исследований и их обсуждение.
Пространственная структура регионального комплекса общественного транспорта в Пермском крае. В настоящее время основные виды пригородного общественного транспорта в Пермском крае, как и в большинстве регионов России, пред-

ставлены автобусным и железнодорожным. Автобусный транспорт доминирует, его маршрутная сеть охватывает все муниципальные районы (рис. 1). Каркас сети железнодорожного транспорта представляет собой остов [Тархов, 2005] с вершинами в городах Пермь, Чусовой и Кизел с ответвлениями на города Верещагино, Кунгур, Лысьва и к границам края, а также на север от г. Кизел (рис. 1). Кроме того, в южной части региона пролегает не связанная с остовом линия Янаул–Красноуфимск.

Наибольшая интенсивность движения общественного транспорта характерна для участков сети в пределах Пермской агломерации, которые обслуживают маятниковые миграции [Меркушев и др., 2005], а также для участков, обеспечивающих связи между г. Пермь и локальными центрами. Для участков сети, обслуживающих сообщение населения между малыми населенными пунктами и локальными центрами и между локальными центрами края в обход г. Пермь, характерны существенно меньшие показатели интенсивности.

Можно предположить, что на участках сети, характеризующихся большим объемом пассажиропотока, используются более комфортные транспортные средства большой вместимости, в то время как на участках с малым объемом пассажиропотока – подвижной состав малой вместимости. Анализ расписаний операторов автобусного транспорта, однако, показывает, что средняя вместимость транспортного средства на участке сети никак не зависит от суммарного транспортного предложения на этом участке, определяющегося как суммарная вместимость всех транспортных средств, проезжающих по участку в неделю (рис. 1). При этом в отсутствие регулирования рынка суммарное предложение на участке достаточно хорошо отражает реальный пассажиропоток.

Эта ситуация во многом объясняется тем фактом, что в большом количестве случаев маршруты, начинающиеся в отдаленных малых населенных пунктах, направлены в г. Пермь. При этом из-за низкого спроса в пунктах отправления, обусловленного малой численностью населения, транспортные операторы на всем маршруте от пункта отправления до г. Пермь осуществляют перевозки автобусами малой вместимости. Среди рейсов продолжительностью от 2 до 4 ч между Пермью и населенными пунктами края доля тех, которые осуществляются автобусами вместимостью до 30 человек, составляет 49,7% (рис. 2). При этом на многих участках общий объем пассажиропотока позволяет осуществлять перевозки более комфортными большими автобусами или пригородным железнодорожным транспортом. Таким образом, пониженный уровень комфорта обусловлен отсутствием регулирования маршрутной сети.

Анализ доступности услуг общественного транспорта для населения Пермского края показал, что около 6% жителей региона проживают в населенных пунктах, в пешеходной доступности (30 мин или 2,5 км) от которых нет остановок ни одного из видов общественного транспорта (табл. 2).

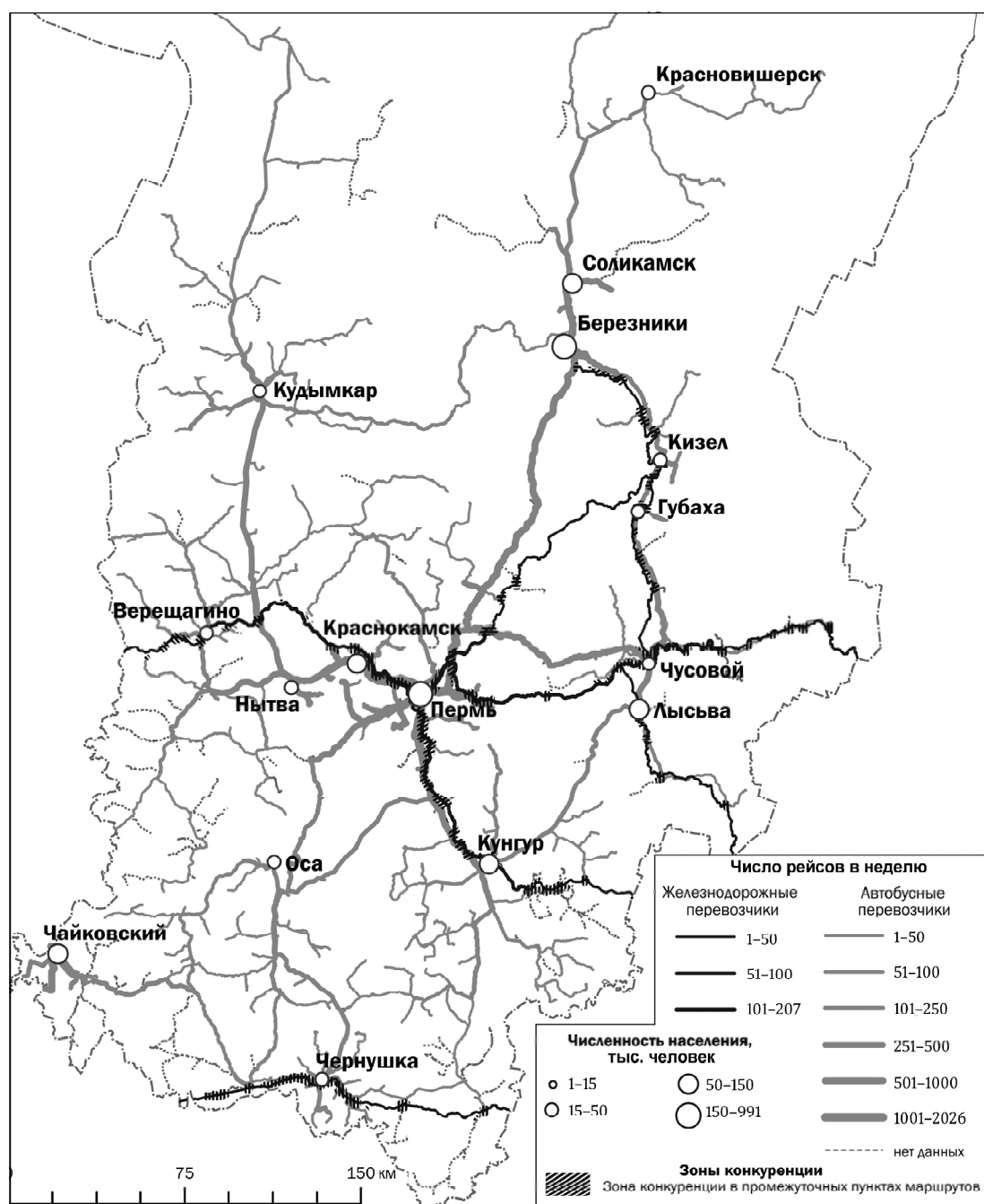


Рис. 1. Маршрутная сеть и объем пассажирских перевозок пригородным пассажирским транспортом (по числу посадочных мест)

Fig. 1. Regional public transport of Perm Krai: route network and transport supply (by vehicles' capacity)

В Пермском крае никак не регулируется конкуренция между автобусным и железнодорожным транспортом. Анализ сложившейся маршрутной сети позволяет выделить два типа конкуренции: при передвижении между крупнейшими центрами региона («магистральная конкуренция») и в зонах параллельного прохождения автомобильных и железных дорог («местная конкуренция»). Местная конкуренция наблюдается на перегоне Пермь–Кукуштан–Кунгур, на перегоне Пермь–Краснокамск на запад от краевого центра, а также в районе Чернушки и Кизела. Магистральная конкуренция присутствует в треугольнике Пермь–Березники–Чусовой/Лысьва–Пермь, а также в направлениях Пермь–Кунгур, Пермь–Верещагино и Чернушка–Октябрьский в

южной части края. Конкуренция с автобусным транспортом пагубно сказывается на деятельности оператора железнодорожного транспорта, поскольку значительная часть пассажиропотока на обслуживаемых направлениях перераспределяется в пользу конкурентов.

На большей части автобусных и железнодорожных маршрутов традиционный компромисс между частотой остановочных пунктов и скоростью сообщения решается в пользу первого фактора. Соответственно, число остановочных пунктов нерационально велико, а скорость сообщения низкая, что также отрицательно сказывается на качестве транспортного обслуживания. Экспрессное автобусное пригородное и междугороднее сообщение в Пермс-

ком крае на данный момент фактически отсутствует. К категории полуэкспрессных можно отнести автобусный маршрут Пермь–Краснокамск с сокращенным числом остановок. Экспрессное железнодорожное пригородное сообщение в Пермском крае осуществляется только на участке Пермь–Верецагино (один поезд в день)⁴.

Таким образом, анализ пространственной структуры комплекса регионального общественного транспорта Пер-

Таблица 2

**Доступность услуг общественного транспорта для населения
Пермского края**

Тип обслуживания	Численность населения, человек	Доля в населении края, %
Не обслуживается	93 309	5,7
Обслуживается только автобусом	1 080 894	65,9
Обслуживается только железнодорожным транспортом	16 628	1,0
Обслуживается двумя видами транспорта	449 071	27,4

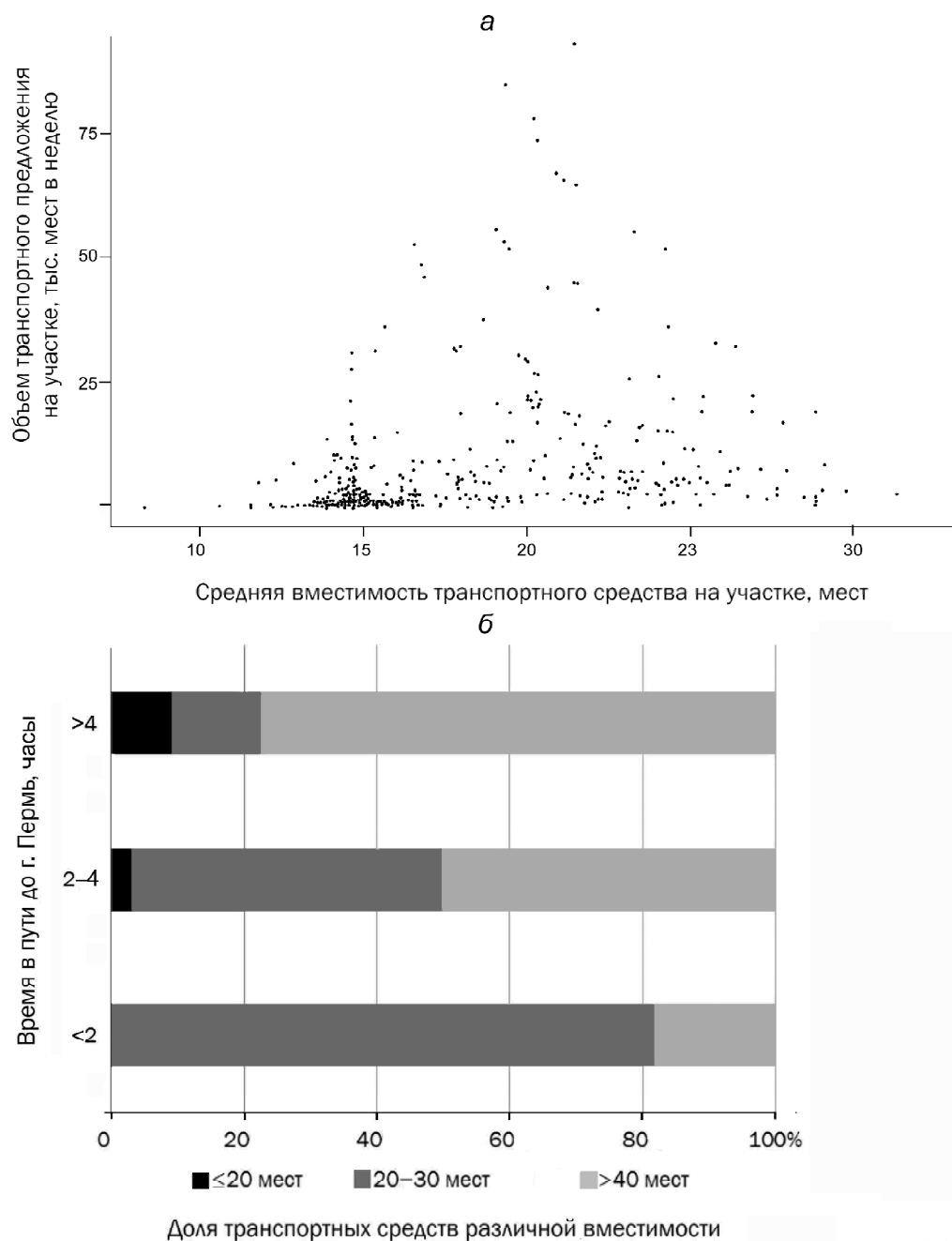


Рис. 2. Отсутствие зависимости вместимости транспортных средств на участке сети автобусного транспорта от суммарного объема транспортного предложения на нем

Fig. 2. The lack of interdependence between the average vehicle capacity and the total transport demand at a bus network section

⁴ По состоянию на 2012 г. на данный момент запущены ускоренные поезда в Лысьву и Кунгур.

мского края подтвердил гипотезу о том, что для современного российского региона характерны те же проблемы, что и для города, в котором транспортное обслуживание организовано в рамках подхода, ориентированного на спрос, а именно: 1) наличие необслуживаемых территорий; 2) конкуренция между маршрутами и видами транспорта; 3) использование подвижного состава малой вместимости и малое число пересадочных узлов, что позволяет использовать подвижной состав большой вместимости на наиболее загруженных направлениях; 4) практически полное отсутствие экспрессных маршрутов.

При этом в российских регионах продолжают действовать отдельные транспортные операторы, выполняющие социальную функцию, однако их доля на рынке сокращается и формирование стратегий их дальнейшего развития составляет отдельную проблему.

В соответствии с выявленными проблемами для повышения качества транспортных услуг, предоставляемых населению, предлагаются меры оптимизации пространственной структуры комплекса регионального общественного транспорта Пермского края. Эти меры основаны на опыте городов, организующих транспортное обслуживание населения в рамках подхода, ориентированного на предложение.

Предложения по оптимизации пространственной структуры регионального комплекса общественного транспорта Пермского края. Подход, ориентированный на предложение, предусматривает так называемую транк-фидерную схему (ТФ-схему) пространственной структуры комплекса общественного транспорта. Для этого необходимо выделить каркас транковых (магистральных), фидерных (подвозящих) и комбинированных маршрутов, пересадки между которыми осуществляются в пересадочных узлах. Подобная схема позволяет использовать на транковых маршрутах транспортные средства большой вместимости за счет concentra-

ции спроса в пересадочных узлах. На транковом маршруте возможна организация экспрессного сообщения за счет сокращения числа остановок, которые организуются только в обоснованно выделенных крупнейших населенных или узловых пунктах. На фидерных маршрутах допускаются остановки в любых точках маршрута. В ТФ-схеме также возможен комбинированный тип маршрутов – транковый на наиболее загруженных участках, а на участках с меньшей концентрацией транспортного спроса – фидерный. В рамках ТФ-схемы исключается контрпродуктивная конкуренция между видами транспорта общего пользования, создаются предпосылки для задействования каждого вида транспорта с разным подвижным составом исходя из параметров спроса на территории и других факторов. Централизованное перераспределение доходов операторов позволяет обеспечить все территории общественным транспортом.

ТФ-схема организации маршрутной сети и взаимодействия автобусного и железнодорожного транспорта предполагает выделение узловых пунктов с 5-ю уровнями иерархии: центр агломерации, хаб, подцентр, низовой пункт и узел подвозки. Центр агломерации в рассматриваемом случае – краевой центр г. Пермь. Хабы представляют собой ключевые пересадочные узлы, корреспонденции между которыми (транковые связи) наиболее интенсивны. Одновременно эти узлы представляют собой конечные точки фидерных маршрутов. Подцентры – организационные центры территории (райцентры), не отнесенные к хамам. Низовые пункты определяются как конечные точки низовой сети (сельские населенные пункты). Узел подвозки – узел стыкования автобусного и железнодорожного транспорта.

На наиболее пассажиронапряженных участках, связывающих хабы между собой и с центром агломерации, реализуется принцип экспрессных маршрутов в случае значительного пассажиропотока или отдельных экспрессных рейсов в пиковые часы. Экспрессные маршруты применимы как на желез-

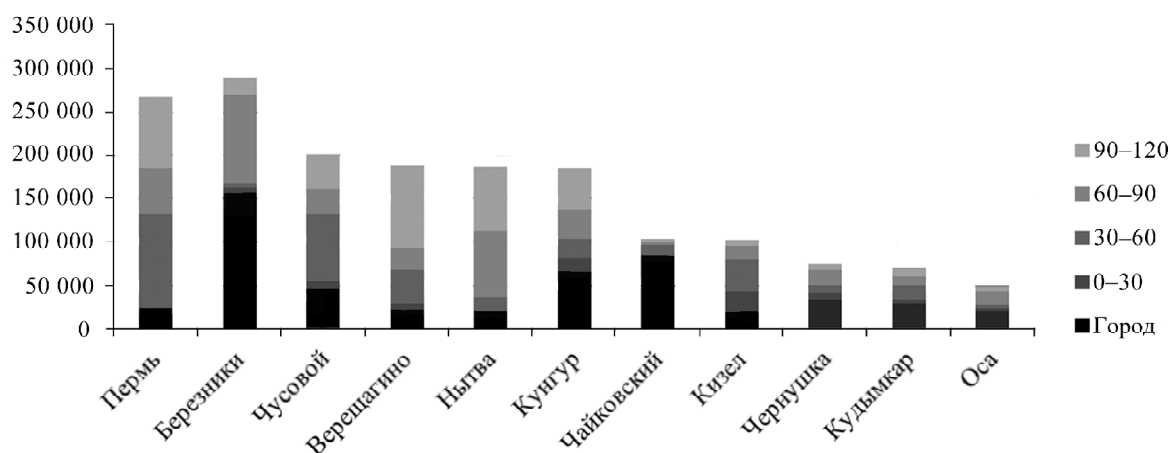


Рис. 3. Суммарная численность населения в зоне тяготения пунктов в зависимости от удаленности (в минутах). Собственное население Перми не отображено

Fig. 3. Total numbers of population within the potential accessibility zones of nodes depending on travel time (minutes). The Perm city population is not considered

нодорожных линиях, так и на автобусных маршрутах. Для транспортного обеспечения небольших населенных пунктов (до 20 жителей) в рамках предлагаемой ТФ-схемы предлагается обоснованная корректировка и поддержание сети местных фидерных (подвозящих) маршрутов в сообщении с подцентрами и хабами.

Необходимое условие функционирования системы – согласование маршрутных расписаний для фидерных и транковых маршрутов, т.е. минимизация времени ожидания пересадки. За счет этого достигается сокращение времени в пути и оптимизируется загрузка пригородных железнодорожных линий и экспрессных автобусных маршрутов. В настоящее время ряд фрагментов на каркасе маршрутной сети Пермского края имеет признаки стихийной организации бимодальной структуры перевозок – автобусный маршрут подвозит пассажиров к железнодорожной станции, но это, скорее, исключительные случаи, а не синхронизированная схема перевозок наподобие предлагаемой.

Отдельную проблему в рамках организации ТФ-схемы представляет выделение узловых пунктов. Узловые элементы в системе взаимосвязей маршрутной системы должны быть определены с учетом сложившейся системы расселения и размещения рабочих мест, а также перспективных схем территориального планирования, социально-экономического и инфраструктурного развития⁵. На территории Пермского края выделяются:

1) 12 важнейших транспортных узлов (Пермь, Березники/Соликамск, Губаха, Гайны, Кудымкар, Кунгур, Нытва, Чусовой, Чайковский, Чердынь, Чернушка);

2) 11 центров системы расселения (Пермь, Березники/Соликамск, Кудымкар, Кунгур, Верещагино, Октябрьский, Барда, Кизел, Чайковский, Чусовой, Красновишерск);

3) 9 центров межселенного обслуживания (Пермь, Березники/Соликамск, Кунгур, Нытва, Чайковский, Чусовой, Губаха, Кудымкар, Чернушка).

В настоящее время среди перечисленных центров выделяются 13 населенных пунктов, объем транспортного предложения в которых составляет 20 тыс. посадочных мест в неделю и более: Пермь, Чайковский, Березники/Соликамск, Краснокамск, Кудымкар, Лысьва, Нытва, Кизел, Губаха, Верещагино, Чернушка, Кунгур и Чусовой. Вокруг этих населенных пунктов определены потенциальные зоны пространственного охвата пригородного пассажир-

ского транспорта, ограниченные по изохроне 3-часовой доступности⁶ (рис. 3).

Для Краснокамска, Соликамска и Лысьвы зоны охвата не строились, поскольку они в значительной степени перекрываются зонами Перми, Березников и Чусового и могут обслуживаться из этих центров. Зоны охвата других населенных пунктов также имеют перекрывания, однако не столь значительной площади.

Путем сопоставления указанных групп на территории Пермского края можно выделить 9 хабов регионального общественного транспорта: Пермь, Кудымкар, Чусовой, Березники/Соликамск (Верхнекамский), Кунгур, Чернушка, Чайковский, Кизел и Верещагино. К этим узлам тяготеет от 87 (Кудымкар) до 340 тыс. жителей Пермского края и окружающих территорий. Осу, Барду, Лысьву, Губаху, Краснокамск и Нытву по совокупности приобщенных к анализу данных отнесли к подцентрам этой системы наряду с аналогичными подцентрами, выделенными на основе районных центров Добрянка, Ильинский, Красновишерск, Куеда, Гайны, Сива, Очёр, Оханск, Октябрьский, Частые, Уинское, Орда, Суксун, Березовка, Сива (рис. 4).

Выводы:

– в российских регионах вообще и в Пермском крае в частности в условиях отсутствия государственного регулирования транспорта общего пользования сформировались проблемы, схожие с наблюдающимися в городах: а) наличие обширных необслуживаемых территорий при наличии автодорожной и железнодорожной инфраструктуры; б) непродуктивная конкуренция между маршрутами и видами транспорта, которая становится причиной снижения комфорта пассажиров; в) неразвитость экспрессного сообщения, когда тип подвижного состава и скорость сообщения не зависят от типа маршрута;

– возможна оптимизация пространственной структуры в преодолении выявленных проблем, включающая в себя организацию транк-фидерной схемы перевозок с разделением маршрутов на транковые (магистральные) и фидерные (подвозящие), выявление предпосылок для создания крупных пересадочных узлов в локальных центрах и г. Пермь;

– оптимизация пространственной структуры повысит качество обслуживания населения; дополнительное применение финансовых инструментов также позволит шире внедрять элементы перекрестного субсидирования и эффективнее решать проблему необслуживаемых территорий.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках разработки «Концепции развития пригородных пассажирских перевозок на территории Пермского края на период с 2013 года до 2030 года».

⁵ Постановление Правительства Пермского края от 27.10.2009 №780-п «Об утверждении Схемы территориального планирования Пермского края», Закон Пермского края от 20.12.2012 № 140-ПК «О Программе социально-экономического развития Пермского края на 2012–2016 годы», Постановление Правительства Пермского края от 16.11.2012 №1302-п «Об утверждении краевой инвестиционной Программы автодорожного строительства Пермского края на 2013 год и плановый период 2014 и 2015 годов», Транспортная стратегия Пермского края на период 2010–2030 гг.

⁶ Средняя маршрутная скорость движения автобусов принята равной 30 км/ч.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Беленький М.Н. О координации различных видов транспорта для лучшего обслуживания пассажиров // Тр. ТашиИТА. Вып. 28. Ташкент, 1968.
- Гарбузова В.В. Пригородные железнодорожные перевозки на участках с небольшим пассажиропотоком // Власть и управление. 2012. № 2. С. 47–54.
- Гольц Г.А. Транспорт и расселение. М.: Наука, 1981. 248 с.
- Вучик В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / Пер. с англ. под ред. М.Я. Блинкин. М.: Территория будущего, 2011. 576 с.
- Каплан Г.Л., Каган М.И. Роль транспорта в развитии групповых систем населенных мест. М.: ГОСИНТИ, 1976. 30 с.
- Литуненко В.Т. Межпоселенные пассажирские связи южной зоны Хабаровского края: Автореф. канд. дисс. Л., 1980.
- Меркушев С.А., Погодин А.В., Пьянкова А.В. Пассажирские перевозки в Пермской агломерации: современное состояние, проблемы, перспективы // Геогр. вестн. ПГУ. 2005. № 1–2. С. 44–51.
- Сабитов Р.К. Факторы и тенденции развития межселенных связей старопромышленного региона (на примере Свердловской области): Автореф. канд. дисс. Екатеринбург, 1993.
- Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск; Москва: Универсум, 2005. 384 с.
- Трапезников В.А. Экономико-географическое исследование трудовых межселенных связей в зоне влияния крупнейшего города (на примере Московского района): Автореф. канд. дисс. М., 1978.
- Augustin K., Gerikeb R., Sanchez M.J.M., Ayalac C. Analysis of intercity bus markets on long distances in an established and a young market: The example of the U.S. and Germany // Res. in Transportation Econ. 2014. Vol. 48. December. P. 245–254.
- Bataille M., Steinmetz A. Intermodal competition on some routes in transportation networks: The case of inter urban buses and railways // Discussion Pap. N 84. Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Department of Economics, Düsseldorf Institute for Competition Economics (DICE), 2013. URL: www.dice.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Wirtschaftswissenschaftliche_Fakultaet/DICE/Discussion_Paper/084_Bataille_Steinmetz.pdf (дата обращения: 16.04.2015).
- Devon R.D., Bancheva A.I., Freitag A. Local initiatives for sustainable development in rural Hokkaido: a case study of Samani // Geography, Environment, Sustainability. 2013. N 2 (06). P. 71–79.
- Frick R., Grimm B. Long-distance mobility // Current Trends and Future Perspectives, 2014. URL: www.ifmo.de/tl_files/publications_content/2014/ifmo_2014_Long_Distance_Mobility_en.pdf (дата обращения: 16.04.2015).
- International Transport forum. Seamless public transport for All. 2013. URL: www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/13KOTISeamless.pdf (дата обращения: 16.04.2015).
- Nielsen G., Lange T., Mulley C. et al. HiTrans best practice guide no 2. Public transport – Planning the networks Stavanger (NO), HiTrans, c/o Rogaland county council. 2005. URL: <http://www.civitas.no/assets/hitrans2publictransportplanningthe-networks.pdf> (дата обращения: 16.04.2015).
- Sippel L., Mayer T. Regional passenger rail transport in Europe. An overview and comparison of organisation and Responsibilities. 2012. URL: www.interregionrail.eu/Regional%20Passenger%20Rail%20Transport%20in%20Europe-file=137dextmDi5Xw.pdf&name=Regional+Passenger+Rail+Transport+in+Europe.pdf (дата обращения: 16.04.2015).
- The European rail research advisory council. Suburban and regional railways landscape in Europe. 2006. October. URL: www.uitp.org/suburban-and-regional-railways-landscape-europe (дата обращения: 16.04.2015).
- Vuchic V. Urban Transit: Operations, Planning and Economics. N.Y.: Wiley, 2005. 664 p.
- Yai T., Fujisaki K., Itoh R. et al. Intercity transport policy and planning system: International Comparison Between the EU, USA, China and Japan // Intercity Transport and Climate Change: Strategies for Reducing the Carbon Footprint. Springer, 2014.

Поступила в редакцию 24.04.2015
Принята к публикации 11.12.2015

N.V. Zalessky¹, P.V. Zyuzin², E.O. Koncheva³

REORGANIZATION OF THE SPATIAL STRUCTURE
OF A REGIONAL PUBLIC TRANSPORTATION COMPLEX
(CASE STUDY OF THE PERMSKY KRAI)

Deregulation of the public passenger transport market in the Russian Federation has led to the increase of negative imbalances in the sphere of transport servicing of the population. Therefore steps for more effective use of available transportation capacities are taken in certain regions. The basic problems of such concepts are the potential accessibility of settlements and the regulation of the market of provided transport services. The experience of such studies in the Perm Krai is presented. Basing on the spatial analysis technique, the specific features of already available transport servicing of the population of the region are considered, and particular organizational and administrative solutions aimed at its optimization are suggested. Step-by-step measures for the integration of different transportation means towards the transition to the intermodal type of the transport complex functioning are proposed.

Key words: passenger transport, transport services, optimization, the Perm Krai.

Acknowledgements. The research was carried out under the elaboration of the Concept of commuter services development within the Perm Krai territory for the period of 2013–2030.

¹ National Research University Higher School of Economics, Institute of Transport Economics and Transport Policy Studies, Junior Research Scientist; e-mail: nvzalesskiy@gmail.com

² National Research University Higher School of Economics, Institute of Transport Economics and Transport Policy Studies, Senior Research Scientist, PhD. in Geography; e-mail: pzyuzin@hse.ru, Tel. 8(965)385-06-31

³ National Research University Higher School of Economics, Institute of Transport Economics and Transport Policy Studies, Junior Research Scientist; e-mail: ekoncheva@hse.com

REFERENCES

- Augustin K., Gerikeb R., Sanchez M.J.M., Ayala C.* Analysis of intercity bus markets on long distances in an established and a young market: The example of the U.S. and Germany // Res. in Transportation Ec., 2014. Vol. 48, December. P. 245–254.
- Bataille M., Steinmetz A.* Intermodal competition on some routes in transportation networks: The case of inter urban buses and railways // Discussion Pap. N 84. Heinrich Heine Universität Düsseldorf, Department of Economics, Düsseldorf Institute for Competition Economics (DICE), 2013. URL: www.dice.hhu.de/fileadmin/redaktion/Fakultaeten/Wirtschaftswissenschaftliche_Fakultaet/DICE/Discussion_Paper/084_Bataille_Steinmetz.pdf (дата обращения: 16.04.2015).
- Belen'kiy M.N.* O koordinatsii razlichnykh vidov transporta dlya luchshego obsluzhivaniya passazhirov [The coordination of different transport modes to better serve passengers], Trudy TashIITA, no 28, Tashkent, 1968 (in Russian).
- Devon R.D., Bancheva A.I., Freitag A.* Local Initiatives for sustainable development in rural Hokkaido: a case study of Samani // Geography, Environment, Sustainability. 2013. N 2 (06). P. 71–79.
- Frick R., Grimm B.* Long-distance mobility // Current trends and future perspectives, 2014. URL: www.ifmo.de/tl_files/publications_content/2014/ifmo_2014_Long_Distance_Mobility_en.pdf (дата обращения: 16.04.2015).
- Garbuzova V.V.* Prigorodnye zheleznodorozhnye perevozki na uchastkakh s nebol'shim passazhiropotokom [Suburban rail transportation in the sectors with the small volume of passenger traffic], Khabarovsk, 2012, pp. 47–54 (in Russian).
- Gol'z G.A.* Transport i rasselenie [Transport and spatial distribution of population], Moscow, Nauka, 1981, 248 p. (in Russian).
- International transport forum. Seamless public transport for All. 2013. URL: www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/13KOTISeamless.pdf (дата обращения: 16.04.2015)
- Kaplan G.L., Kagan M.I.* Rol transporta v razvitii gruppovykh sistem naselennykh mest [Transport role in the formation of group systems of settlements], Moscow, GOSINTI, 1976, 30 p. (in Russian).
- Litunen V.T.* Mezhpоселенные пассажирские связи южной зоны Хабаровского края. [Rural and intercity links in the southern part of Khabarovsk Krai], Leningrad, 1980 (in Russian).
- Merkushev S.A., Pogodin A.V., P'jankova A.V.* Passazhirskie perevozki v Permskoj aglomeracii: sovremennoe sostojanie, problemy, perspektivy. [Mobility in Perm Agglomeration: current situation, problems and prospects], Geograficheskij vestnik PGU, 2005, no 1–2, pp. 44–51 (in Russian).
- Nielsen G., Lange T., Mulley C.* et al. HiTrans best practice guide no 2. Public transport – Planning the networks Stavanger (NO), HiTrans, c/o Rogaland county council. 2005. URL: <http://www.civitas.no/assets/hitrans2publictransportplanningthe-networks.pdf> (дата обращения: 16.04.2015).
- Sabitov R.K.* Faktory i tendencii razvitiya mezhselennykh svyazey staropromyshlennogo regiona na primere Sverdlovskoj oblasti [Factors and tendencies of rural and intercity links development in industrial region (the case of Sverdlovsk Oblast)], Yekaterinburg, 1993 (in Russian).
- Sippel L., Mayer T.* Regional passenger rail transport in Europe. An overview and comparison of organisation and responsibilities. 2012. URL: www.interregiorail.eu/Regional%20Passenger%20Rail%20Transport%20in%20Europe-file=137dextmDi5Xw.pdf&name=Regional+Passenger+Rail+Transport+in+Europe.pdf (дата обращения: 16.04.2015).
- Tarkhov S.A.* [Evolutionary morphology of transport network], Smolensk, Moscow: Universum publishing company, 2005. 384 p. (in Russian).
- The European rail research advisory council. Suburban and regional railways landscape in Europe. 2006. October. URL: www.uirp.org/suburban-and-regional-railways-landscape-europe (дата обращения: 16.04.2015).
- Tratynov V.A.* Ekonomiko-geograficheskoe issledovanie trudovykh mezhselennykh svyazey v zone vliyaniya krupneshogo goroda (na primere Moskovskogo rajona) [Economic and geographical study of commuting in large agglomeration (the case of Moscow region)], Moscow, 1978.
- Vuchik V.R.* Transport v gorodakh, udobnykh dlya zhizni [Transport in Livable Cities], Moscow, Territorija budushhego, 2011, 576 p. (in Russian).
- Vuchic V.R.* Urban Transit: Operations, Planning and Economics. N.Y.: Wiley, 2005. 664 p.
- Yai T., Fujisaki K., Itoh R.* et al. Intercity transport policy and planning system: International comparison between the EU, USA, China and Japan // Intercity Transport and Climate Change: Strategies for Reducing the Carbon Footprint. Springer, 2014.

Received 24.04.2015

Accepted 11.12.2015

ЮБИЛЕИ

70-ЛЕТИЕ ВЯЧЕСЛАВА АЛЕКСАНДРОВИЧА БОЛЬШАКОВА

12 января 2016 г. исполнилось 70 лет Вячеславу Александровичу Большакову, доктору физико-математических наук, ведущему научному сотруднику научно-исследовательской лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

В.А. Большаков окончил физический факультет МГУ в 1970 г., тогда же он связал свою научную жизнь с географическим факультетом и лабораторией новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, где прошел путь от младшего до ведущего научного сотрудника. Основным направлением его научных исследований стали различные аспекты изучения магнетизма горных пород, палеомагнетизма, применения палеомагнитных и магнитных методов к разрешению стратиграфических и палеогеографических проблем плейстоцена. Им посвящены его ежегодные полевые работы в разных природных областях России и мира: на Сахалине, Северной Земле, Иссык-Куле, Кавказе, в Северном Прикаспии, на Восточно-Европейской равнине, в Карпатах, на побережье Болгарии, в Йемене, а также морские исследования в Охотском и Черном морях и даже кругосветное плавание на НИС «Академик Курчатов». По результатам этих работ им написаны многочисленные статьи, сделаны доклады на российских и международных научных форумах, всегда находившие живой отклик у слушателей. Обобщением этих исследований стала монография «Использование методов магнетизма горных пород

при изучении новейших отложений» (1996), получившая премию ученого совета географического факультета, а также докторская диссертация на близкую тему, успешно защищенная В.А. Большаковым в 2003 г.

С конца 1990-х гг. другим важным направлением научных исследований юбиляра стала орбитальная теория палеоклимата и связанные с ней вопросы палеогеографии плейстоцена. К настоящему времени по этой дискуссионной проблеме им опубликовано более 20 статей в ведущих российских и зарубежных журналах, издана монография «Новая концепция орбитальной теории палеоклимата» (2003), отмеченная первой премией ученого совета факультета. Преданность науке, исследовательский талант, трудолюбие, свойственные В.А. Большакову, снискали ему авторитет и высокую научную репутацию среди коллег. Свои знания он щедро передает молодому поколению.

Занимая активную жизненную позицию, научную работу Вячеслав Александрович всегда совмещал с общественной деятельностью, неизменно выступая в роли инициатора и организатора. Присущие ему оптимизм, живой интерес к людям, отзывчивость и душевная щедрость вызывают заслуженную любовь и уважение коллег.

От всей души поздравляем Вячеслава Александровича с юбилеем и желаем ему на долгие годы крепкого здоровья и неиссякаемого творческого потенциала!

70-ЛЕТИЕ АЛЕКСАНДРА ВАСИЛЬЕВИЧА ЕВСЕЕВА

В феврале 2016 г. отметил юбилей доктор географических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры рационального природопользования Александр Васильевич Евсеев.

Александр Васильевич окончил кафедру геохимии ландшафтов и географии почв, на которой среди его основных наставников была М.А. Глазовская. А.В. Евсеев успешно защитил на географическом факультете под руководством академика К.К. Маркова кандидатскую, а затем и докторскую диссертации. Особый отпечаток на всю дальнейшую научную и педагогическую деятельность Александра Васильевича наложило сотрудничество и совместная работа с К.К. Марковым, который первым положил начало развитию на географическом факультете нового научного направления природопользования и предложившего создать кафедру рационального природопользования, с которой связана большая часть творческой жизни

А.В. Евсеева. Благодаря таким выдающимся наставникам, А.В. Евсеев приобрел широкий научный кругозор, что позволяет ему успешно работать в самых разных областях географических исследований: физической географии и палеогеографии, геохимии ландшафтов, геоэкологии, природопользовании. В настоящее время в сфере его научных интересов – общие вопросы теории и методологии природопользования, проблемы развития природопользования в Арктическом регионе, эколого-экономическая оценка территорий, экогеохимия урбанизированных территорий и другие актуальные направления географических исследований.

Значительную роль в становлении А.В. Евсеева как ученого сыграли его экспедиционные исследования в Арктике, на Дальнем Востоке, на Алтае, в Атлантике и других районах, как в России, так и за ее пределами, в составе экспедиций МГУ, РАН. Научные результаты работы А.В. Евсеева обобще-

ны в научных статьях, монографиях, докладах на симпозиумах, конференциях. Основные научные достижения А.В. Евсеева связаны с изучением эволюции почвенного покрова в разных районах России, с разработкой методики мониторинга загрязнения природной среды в Арктике, которая положена в основу создания сети фонового мониторинга этой территории России и используется в Международной программе мониторинга природной среды (АМАР) Арктического совета и т.д. Значителен вклад А.В. Евсеева в разработку теоретических основ рационального природопользования, в изучение региональных проблем природопользования. В последнее время он уделяет значительное внимание разработке методики комплексного анализа природопользования в целях устойчивого развития регионов.

А.В. Евсеев передает теоретические знания и практические навыки подрастающему поколению географов, успешно совмещая научную деятельность с педагогической. На протяжении многих лет он руководит учебными и производственными прак-

тиками, курсовыми и дипломными работами студентов, является научным руководителем аспирантов, которые успешно развивают его идеи на кафедре рационального природопользования. А.В. Евсеев читает авторские учебные курсы, по которым им написаны учебные пособия, и цикл лекций в Севастопольском филиале МГУ, на протяжении многих лет возглавляет ГАК по географической специальности в Тверском ГУ, он член Специализированного физико-географического совета при МГУ, консультант Международного консультативного комитета по защите арктических морей от загрязнения, эксперт Научного совета по Арктике Минэкономразвития РФ, Российского научного фонда, РФФИ и др.

Значительный научный и экспедиционный опыт, широкая эрудиция, готовность делиться своими знаниями, коммуникабельность, отзывчивость, оптимизм притягивают к Александру Васильевичу людей. Сердечно поздравляем его с юбилеем, желаем многих лет активной творческой деятельности, крепкого здоровья, новых талантливых учеников!

Редколлегия журнала

ХРОНИКА

РЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МЕЖДУНАРОДНОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО СОЮЗА «ГЕОГРАФИЯ, КУЛЬТУРА И ОБЩЕСТВО ДЛЯ БУДУЩЕГО НАШЕЙ ЗЕМЛИ»

В августе 2015 г. Россия принимала Региональную конференцию Международного географического союза «География, культура и общество для будущего нашей Земли» («Geography, Culture and Society for our Future Earth», International Geographical Union conference, IGU-2015). Международный географический союз (МГС) – одна из старейших международных научных организаций, формально основанная в 1922 г. Однако фактически главная международная организация географов старше, поскольку может отсчитывать свою историю с 1871 г., когда был проведен первый Международный географический конгресс. Основные задачи МГС – координация исследований и развитие теории географической науки, укрепление географического образования и распространение географических знаний.

В настоящее время Международный географический союз объединяет 90 стран, в том числе практически все наиболее крупные и развитые государства мира. Россия, представленная Национальным комитетом российских (советских) географов (НКРГ), действующим при Российской академии наук, – полноправный член МГС с 1956 г. Отечественные географы активно участвуют в деятельности МГС, руководят или входят в состав ряда комиссий, а также не раз являлись членами исполкома – вице-президентами МГС (академики И.П. Герасимов и В.М. Котляков, член-корреспондент РАН Н.Ф. Глазовский, профессор Ф.Ф. Давитая и др.). В настоящее время президент МГС – заведующий лаборатории геополитических исследований Института географии РАН, заведующий кафедрой географии мирового хозяйства географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова профессор В.А. Колосов.

Главное географическое мероприятие 2015 г. – Региональная конференция МГС прошла с 17

по 21 августа на базе Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (в Фундаментальной библиотеке, Шуваловском и Ломоносовском корпусах университета). Подобная встреча состоялась на территории России уже в четвертый раз. В 1976 г. в Москве прошел Географический конгресс Международного географического союза (МГС), а региональные конференции наша страна принимала в 1995 г. (Москва) и 2003 г. (Барнаул). Конференции IGU-2015 предшествовали региональные конференции МГС, которые прошли в Тель-Авиве (2010), Сантьяго (2011), Киото (2013), Кракове (2014), а также Международный географический конгресс в Кельне (2012).

Организаторами конференции IGU-2015 выступили НКРГ, Русское географическое общество, МГУ имени М.В. Ломоносова, Российская академия наук. В работе конференции приняли участие 1658 человек из 73 стран, включая организаторов, волонтеров, почетных гостей, представителей СМИ. Непосредственно участниками научной программы стали около 1400 человек. Самой большой была российская делегация – свыше 750 человек (46% всех участников), следующие по представительности – делегации Китая (173 человека, 10%), Индии (90 человек, 5%), Японии (59 человек, 4%) и США (57 человек) (таблица).

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова на конференции представляли 237 специалистов. Среди них сотрудники, студенты и аспиранты кафедр гидрологии суши (25 участников), картографии и геоинформатики (21), метеорологии и климатологии (19), экономического и социальной географии России (19), геохимии ландшафтов и географии почв (16), физической географии и ландшафтоведения (17). Наибольшее число представителей среди научно-исследовательских лабораторий фа-

Распределение участников по странам*

Страна	Число	Страна	Число	Страна	Число	Страна	Число
Россия	764	ЮАР	22	Финляндия	10	Саудовская Аравия	8
Китай	173	Италия	21	Австралия	9	Чехия	7
Индия	90	Мексика	20	Иран	9	Египет	7
Япония	59	Турция	20	Нидерланды	9	Сингапур	7
США	57	Южная Корея	17	Бельгия	8	Венгрия	6
Германия	38	Великобритания	17	Индонезия	8	Казахстан	6
Испания	28	Израиль	15	Нигерия	8	Норвегия	6
Бразилия	27	Румыния	12	Австралия	9	Швеция	6
Франция	24	Швейцария	11	Польша	8	Португалия	5
Канада	22						

*Указаны страны с числом участников более 5 человек.

культета делегировала научно-исследовательская лаборатория лавин и селей (11 участников).

Научная программа конференции включала пленарные заседания и тематические междисциплинарные лекции, серию параллельных сессий и семинаров, организованных как комиссиями Международного географического союза, так и сообществами ученых (тематические сессии), а также постерную экспозицию. В рамках работы разных секций в день заслушивалось от 253 до 94 докладов (рисунок). Всего за время конференции было заслушано 1084 устных и 451 стендовый доклад.

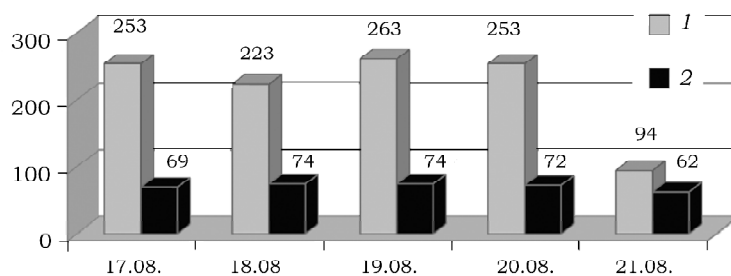
Ключевыми темами конференции стали полярные исследования, изменение климата и прогнозирование природных катаклизмов, глобальные конфликты, проблемы городской среды и географического образования. Каждому из этих направлений был посвящен отдельный блок мероприятий. Так, вопросы изучения Арктики обсуждались в ходе круглого стола «Международное научное сотрудничество в Арктике – основа устойчивого развития региона» и в рамках тематических секций. Дискуссии об изменении климата велись и на других площадках. Например, с лекцией о колебаниях уровня Каспийского моря выступил профессор Технологического университета Дельфт (Нидерланды) С. Крооненберг. Проблемы климата затронул в пленарном докладе и президент Международного совета по науке (ICSU) профессор Университета Западного Онтарио Г. МакБин.

Более 20 секций было посвящено глобальным конфликтам. Организатором секций выступила комиссия МГС по политической географии. Москву посетил один из крупнейших мировых специалистов в области геополитики и политической географии – профессор Университета Колорадо Дж. О'Локлин. Он представил пленарную лекцию «Климатические изменения и конфликты в Африке к югу от Сахары». Директор Института этнологии и антропологии имени Н.Н. Миклухо-Маклая РАН академик В.А. Тишков в пленарной лекции осветил проблемы малых народов и их культурное разнообразие. Доклад действующего президента МГС В.А. Колосова был посвящен различным направлениям развития географической науки в России.

На пленарных сессиях выступили также бывший президент Ассоциации американских географов профессор А. Мерфи; президент Международной картографической ассоциации Г. Гартнер (Австрия), рассказавший о важности карт в современном обществе; председатель комиссии МГС по культурной географии профессор Б. Верлен (Германия); Ш. Янг (Сингапур), которая представила тематику исследований и достижения комиссии МГС по гендерным вопросам в географии; эта комиссия признана самой активной в 2014 г.

В рамках конференции было организовано множество тематических сессий, посвященных отдельным проектам, исследованиям и разработкам в об-

ласти физической и социально-экономической географии. Так, большое внимание вызвала сессия, посвященная результатам так называемого паневразийского эксперимента (РЕЕХ) – междисциплинарной программе исследований окружающей среды и климата арктических и таежных районов Северной Евразии с точки зрения баланса углерода. Проект, рассчитанный на 2013–2033 гг., инициирован Университетом Хельсинки, Финским метеорологическим институтом, МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ аэрокосмического мониторинга «Аэрокосмос» и рядом институтов РАН. Сейчас его



Распределение устных (1) и постерных (2) докладов на конференции IGU-2015 с 17 по 21 августа 2015 г.

участниками стали уже свыше ста организаций по всей Европе, а также из России и Китая.

В рамках IGU-2015 состоялась третья рабочая встреча исследователей бассейна р. Селенга – оз. Байкал «Bringing together Selenga-Baikal research 2015», собравшая представителей России, Монголии, Швеции, Германии, Швейцарии и США. Сессия продолжила серию конференций, прошедших в 2012 и 2014 гг. в Швейцарии и Германии. Другой пример централизации международного сотрудничества в географии на площадке IGU-2015 – сессия, прошедшая в рамках проекта 7-й Рамочной программы ЕС (подпрограмма Marie Curie International Research Staff Exchange Scheme, «Fluvial processes and sediment dynamics of slope channel systems: Impacts of socio economic and climate change on river system characteristics and related services»). В этом проекте наряду с университетами Германии, Италии, Швеции, Польши, Румынии, Молдавии и Украины участвует географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова.

Специальные сессии были посвящены итогам реализации главных проектов МГС. Детально обсуждались идеи проекта Международного года глобального взаимопонимания ЮНЕСКО (2016, www.global-understanding.info). Фактически проект рассчитан на 3 года и призван добиться большего соответствия всех сфер человеческой деятельности «на местах» глобальным целям устойчивого развития, осознания гражданами влияния их повседневных действий на глобальные изменения природной среды, большей интеграции естественных и общественных наук. Проект МГС «Устойчивое развитие городов» (Our Sustainable Cities, OurSus), осуществляемый по инициативе голландских и китайских ученых, ставит своей целью создать глобальную вир-

туальную площадку для обмена опытом и разработки конкретных мер для достижения устойчивого развития городов разных людности и специализации с учетом комплексных и частных факторов (особенности обеспечения энергией, водопользования, озеленения, переработки твердых бытовых и промышленных отходов, развития транспортной сферы и т.д.).

В рамках IGU-2015 Комиссия по географическому образованию МГС совместно с российской Ассоциацией учителей географии организовала «День учителя географии», на котором преподаватели московских школ поделились опытом и размышлениями о путях улучшения преподавания географии.

Наряду с ведущими экспертами активное участие в дискуссиях на региональной конференции МГС принимали и молодые специалисты. Для начинающих ученых был организован отдельный цикл мероприятий. Они представили результаты своих исследований в формате трехминутного доклада (Speed presenting) с последующей дискуссией, а также посетили мастер-классы и круглые столы, посвященные в основном организационным вопросам, с которыми сталкивается большинство специалистов на старте карьеры. К конференции IGU-2015 была приурочена 12-я Международная географическая олимпиада. Она прошла с 11 по 17 августа в Тверской области и завершилась в Москве. В олимпиаде участвовали команды более чем из 40 стран. Трое участников российской команды были удостоены медалей: Егор Шевчук (золотая), Артур Петросян (серебряная), Александр Варецов (бронзовая).

Международный географический союз выделил 28 грантов для поддержки участников из развивающихся стран (IGU travel grants) на покрытие проезда в Москву. Оргкомитет конференции выдал 50 грантов молодым ученым на оплату регистрационного взноса. Молодые специалисты из России получили 15 грантов, из Индии – 4, из Бангладеш, Белоруссии и Индонезии – по 2. Значительная часть грантов присвоена молодым ученым из стран Африки и Латинской Америки. В оргкомитет конференции поступило 450 заявок на получение гранта, больше всего обращений было подано представителями

Индии (144 заявки). Чуть менее активными оказались наши соотечественники, которые отправили 108 запросов, заявки были присланы также из Китая, Бразилии, Румынии и других стран.

В дни работы конференции для участников была организована серия научно-образовательных туров, посвященных, в частности, территориальному развитию и факторам, ограничивающим рост российской столицы, типам и способам организации рекреационных зон в современной урбанистике, ландшафтным достопримечательностям и их эволюции от железного века до современности (на примере музея-заповедника Коломенское). Ежедневные экскурсии в музей землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова позволили участникам не только познакомиться с экспозицией музея, но и увидеть Главное здание Московского университета. По специально разработанной программе для участников конференции демонстрировалась серия документальных географо-экологических фильмов, в фойе Фундаментальной библиотеки и Шуваловского корпуса были организованы тематические фотовыставки и выставка профильных организаций. На ней на совместном стенде НКРГ, географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и Института географии РАН были представлены литература, карты, атласы и разработки в самых разнообразных областях географической науки. На стенде РГО были продемонстрированы материалы из фондов Русского географического общества, а также научная и научно-популярная литература. Кроме того, собственные технологии и разработки на выставке представили компания «Роснефть», Ассоциация американских географов, Географическое общество Китая (которому в 2016 г. предстоит принимать Всемирный географический конгресс), ГК «СКАНЭКС», Институт экологического проектирования и изысканий, Фонд содействия сохранению озера Байкал, Центр развития Русского географического общества в Женеве.

Оргкомитет благодарит всех, кто поддержал конференцию, – участников, журналистов СМИ, волонтеров – студентов и аспирантов географического факультета и Московского педагогического государственного университета.

*С.Р. Чалов, С.А. Добролюбов,
Н.В. Путьшева*

НОВЫЕ КНИГИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ О НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЭКОЛОГИИ

Основы нефтегазовой геоэкологии / Ю.И. Пиковский, Н.М. Исмаилов, М.Ф. Дорохова. – М.: ИНФРА-М, 2015. – 400 с. – Тираж 500 экз.

Издательство ИНФРА-М в 2015 г. опубликовало учебное пособие «Основы нефтегазовой геоэкологии», подготовленное на географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова авторским коллективом, в состав которого вошли Ю.И. Пиковский, Н.М. Исмаилов и М.Ф. Дорохова под редакцией проф. А.Н. Геннадиева. В пособии изложены основы нефтегазовой геоэкологии. В настоящее время существует множество публикаций об углеводородных веществах, но необходимо отметить, что нет единого учебника или учебного пособия, в котором бы подробно рассматривались вопросы геохимии и геоэкологии углеводородных соединений. В связи с этим появление рецензируемого учебного пособия весьма своевременно и актуально. В настоящее время при подготовке специалистов в области геохимии, геоэкологии, географии большое внимание уделяется различным вопросам распространения и поведения углеводородных соединений в компонентах природной среды. Учебное пособие призвано оказать помощь в изучении ряда дисциплин при подготовке студентов по направлению «экология и природопользование», а также специалистов в области геологии и географии. Авторы, которые имеют многолетний опыт изучения углеводородных веществ, обобщили и внедрили полученный материал в учебный процесс.

В первой части пособия подробно рассмотрены особенности природных и техногенных углеводородных веществ в биосфере. Подробно охарактеризованы отдельные группы техногенных соединений углеводородов, химический состав, свойства и токсикология нефти, нефтепродуктов и углеводородного газа. Отдельная глава посвящена природным и техногенным источникам нефти и газа в биосфере, формированию и разрушению скоплений нефти и газа в литосфере.

Во второй части приведены сведения о воздействии нефтегазового комплекса на окружающую природную среду, включая загрязнение нефтью и нефтепродуктами почв, растительности, поверхностных и грунтовых вод. Обращает на себя внимание раздел об изменении морской среды при техногенном воздействии. Он особенно важен в связи с активным развитием добычи нефти и газа, загрязнением нефтяными углеводородами больших участков Мирового океана, с использованием населением биологических ресурсов океана.

Третий раздел посвящен актуальным проблемам устойчивости природной среды к нефтегазовому техногенезу, восстановления нарушенных ландшафтов. Детально рассмотрены вопросы рекультивации загрязненных земель, занимающих значительные площади в разных природных зонах России.

В заключительном четвертом разделе уделено внимание одному из ключевых вопросов нефтегазовой геоэкологии – диагностике загрязнения и другим нарушениям окружающей среды. Здесь же показаны особенности экологического мониторинга в нефтегазовой отрасли, включая прогнозирование изменения окружающей среды. Авторы пособия считают, что нефтегазовой геоэкологии еще предстоит выработать свою методологию и оптимальный инструментарий, она будет развиваться, пополняться новыми фактами, решать проблемы, которые ставит перед обществом человеческая цивилизация.

В рецензируемое учебное пособие включены контрольные вопросы по рассмотренным темам, рекомендуемая литература и справочный материал, который может быть использован студентами при самостоятельной работе, приведены иллюстративные и справочные материалы, которые позволяют лучше уяснить отдельные аспекты нефтегазовой геоэкологии. Можно не согласиться с авторами, что в пособии сознательно опущены справочные данные, касающиеся экологических нормативов и инструкций. Подобные данные важны для студентов, которые слабо ориентируются в специализированных изданиях.

Рецензируемое учебное пособие будет способствовать подготовке студентами курсовых и выпускных работ, где рассматриваются вопросы, связанные с поведением углеводородных соединений в компонентах природной среды и ее загрязнением, с рекультивацией нарушенных земель, экологическим мониторингом и т.д. Пособие позволит улучшить подготовку специалистов различных направлений экологического профиля. В целом рецензируемое пособие соответствует учебным программам по направлению «экология и природопользование» и может быть использовано при подготовке студентов по специальностям «геоэкология и природопользование», «география», «экология» и «геохимия».

С.В. Горячкин, А.В. Евсеев

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-х 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 сносок для каждого автора указываются место работы, должность, ученая степень, адрес электронной почты; информация о выполнении работы в рамках программы (проекта), о ее финансовой поддержке указывается в конце статьи. Изложение должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Текст набирается шрифтом Times New Roman 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, номер страницы. 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 подрисуточных 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, контрастным.

Подрисуточные 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:

vestnik_geography@mail.ru

Плата за публикацию не взимается.