

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

Бакланов П. Я. Поселение как целостный объект интегральных географических исследований	3
Наумов А. С., Рубанов И. Н., Аблязина Н. Х. Новые подходы к типологии сельских территорий России	12
Пилясов А. Н., Поляченко А. Е. Районный эффект: проблемные вопросы теории и практики	25

География и экология

Битюкова В. Р., Дехнич В. С., Петухова Н. В. Влияние ГРЭС на загрязнение воздуха городов России	38
---	----

Методы географических исследований

Тузов Ф. К. Разработка и применение алгоритма определения каскадинга у побережья архипелага Северная Земля	52
Мартыненко А. В. Связь между функциональными свойствами транспортной сети и морфологической иерархией ее элементов (на примере автодорог Свердловской области)	62

Динамика природных процессов

Суркова Г. В., Романенко В. А. Сезонные и многолетние изменения турбулентных потоков тепла между морем и атмосферой в западном секторе Российской Арктики	74
Абдрахимов Р. Г., Амиргалиева А. С., Даулетияров К. Б., Зияров А. М. Современные тенденции изменения годового стока реки Или и ее крупных притоков в условиях потепления климата	83
Чалов С. Р., Ефимов В. А. Гранулометрический состав взвешенных наносов: характеристики, классификации, пространственная изменчивость	91

Региональные исследования

Махрова А. Г., Нефедова Т. Г. Сможет ли пандемия Covid-19 стимулировать субурбанизацию в Центральной России?	104
Агибалов А. О., Зайцев В. А., Сенцов А. А., Полещук А. В., Мануилова Е. А. Морфометрические параметры рельефа и локализация месторождений углеводородов Волго-Уральской антеклизы	116
Микляева И. М., Каримова Т. Ю., Бочарников М. В., Огуреева Г. Н., Жаргалсайхан Л. Динамика структурной организации степных сообществ Восточной Монголии в связи с изменением климатических параметров	129
Иванов А. Н., Моисеев А. И., Хисматуллин Т. И., Шныпарков А. Л. Полиструктурная организация вулканического ландшафта острова Матуа (Центральные Курилы)	140

CONTENTS

Theory and methodology

Baklanov P. Ya. Settlement as a holistic object for integrated geographical research	3
Naumov A.S., Rubanov I.N., Ablyazina N.H. New approaches to the typology of rural areas of Russia	12
Pilyasov A.N., Polyachenko A.E. Regionary effect: problematic issues of the theory and practice	25

Geography and ecology

Bitukova V.R., Dehnich V.S., Petuhova N.V. Impact of regional power plants on air pollution in Russian cities	38
---	----

Methods of geographical research

Tuzov F. K. Elaboration and application of an algorithm to detect the cascading near the Severnaya Zemlya Archipelago coast	52
Martynenko A. V. Correlation between functional properties of the transportation network and the morphological hierarchy of its elements (case study of the Sverdlovsk Oblast)	62

Dynamics of natural processes

Surkova G.V., Romanenko V.A. Seasonal and long-term changes of turbulent heat fluxes between sea and atmosphere in western sector of the Russian Arctic	74
Abdrahimov R.G., Amirgaliyeva A.S., Dauletiyarov K.B., Ziyarov A.M. Current trends in the annual flow of the Ile (Ili) River and its large tributaries under climate warming	83
Chalov S.R., Efimov V.A. Particulate composition of suspended sediments: characteristics, classifications and spatial variability	91

Regional studies

Makhrova A.G., Nefedova T.G. Can the COVID-19 pandemic inspire suburbanization in Central Russia?	104
Agibalov A.O., Zaitsev V.A., Sentsov A.A., Poleshchuk A.V., Manuilova E.A. Morphometric parameters of relief and localization of hydrocarbon deposits within the Volga-Ural anticline	116
Miklyaeva I.M., Karimova T.Yu., Bocharnikov M.V., Ogureeva G.N., Jargalsaikhan L. Dynamics of the structural organization of steppe communities in Eastern Mongolia under changing climatic parameters	129
Ivanov A.N., Moiseev A.I., Khismatullin T.I., Shnyarkov A.L. Polystructural organization of volcanic landscapes on the Matua Island (Central Kurils)	140

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 911.375:910

П.Я. Бакланов¹ПОСЕЛЕНИЕ КАК ЦЕЛОСТНЫЙ ОБЪЕКТ ИНТЕГРАЛЬНЫХ
ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Поселение рассматривается как географическое образование, состоящее из сочетания постоянных и переменных компонентов. К первым относятся группы населения, инфраструктура, предприятия и организации сферы социального обслуживания; ко вторым – предприятия, обеспечивающие участие поселения в территориальном разделении труда, его специализацию, а также природно-ресурсные и природные компоненты геосистемы, вмещающей поселение. Выделяются прямые и обратные, непосредственные и опосредованные связи между социальными компонентами и хозяйственными (экономическими), а также между ними, природно-ресурсными и природными компонентами. Делается вывод о том, что в географическом пространстве поселения интегрируется узел наиболее тесных межкомпонентных связей. Приводится структурно-функциональная модель поселения, включающая блоки постоянных и переменных компонентов. Для группы городских поселений Приморского края выполнены оценки сочетания различных блоков по доле занятых.

Выявлено, что доля постоянных компонентов незначительно отличается в разных городах и не зависит от их людности, а доля переменных сильно меняется.

Рассматривается структуризация территории вне поселений – между двумя поселениями, связанными непосредственно транспортным звеном. Выделяются части территорий, тяготеющих к каждому поселению. В конечном итоге в качестве объекта интегральных географических исследований выделяется территориальная социально-экономическая система со структурными звеньями первого порядка и с детальной структуризацией центрального поселения.

Ключевые слова: блок компонентов, население, предприятие, природные ресурсы, связи, сопряжения, функциональная структура, территория

Введение. В географических исследованиях можно выделить два типа объектов изучения.

Множества относительно однородных природных, социальных или хозяйственных образований (компонентов) и их размещение в стране или в определенном регионе. Например, виды растительности, почв, виды деятельности и отрасли хозяйства, группы населения [Преображенский, 1969; Экономическая и социальная..., 1997; Скопин, 2005].

Территориальные сочетания разнородных компонентов, в той или иной форме взаимосвязанных в пределах определенной территории. Такие сочетания также выделяются как в природной сфере (различные природно-территориальные комплексы, ландшафты, природные геосистемы [Географические исследования..., 2007а; Геосистемы..., 2008; География, общество..., 2004]), так и в социально-экономической (территориальные промышленные и агропромышленные комплексы, территориально-производственные комплексы и системы, кластеры [Географические исследования..., 2007б; Социально-экономическая география..., 2016]). Пространственные уровни таких территориальных сочетаний могут изменяться от страны в целом, крупных и мелких районов до локальных, в том числе отдельных поселений различных типов.

Многие компоненты территориальных социально-экономических сочетаний тесно взаимосвязаны прямыми и обратными, непосредственными и опосредованными связями с природно-ресурсными и природными компонентами [Социально-экономическая география..., 2016; Теория и методология..., 2019; Геосистемы..., 2010]. Особый тип связанности формируется при непосредственном пространственном соседстве, контакте отдельных компонентов. Такой тип связанности обычно характеризуется как сопряжение компонентов. Пространственные уровни и механизмы подобных взаимодействий и сопряжений изучены недостаточно. Представляется, что это наиболее продуктивно в рамках геосистемного подхода [Сочава, 1978; Бабуринов, 2012; Бакланов, 2020].

Природные компоненты, как по отдельности, так и в территориальных сочетаниях, могут быть не связанными с социально-экономическими, например в ареалах дикой природы, в границах особо охраняемых природных территорий. Однако практически все социальные и экономические компоненты всегда взаимосвязаны с природными. Такие связи, в первую очередь, осуществляются через природные ресурсы, их добычу и использование. Формирующиеся при этом пространственные структуры природопользо-

¹ Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, научный руководитель института, академик РАН, докт. геогр. н., профессор; e-mail: pbaklanov@tig.dvo.ru

вания состоят из ресурсосодержащих природных компонентов, из которых добываются полезные вещества (лесосека, пласты угля, нефти, месторождения руд и т. п.), а также из собственно добывающих предприятий (лесозаготовительное, шахта, рудник, разрез, нефтедобывающая установка) [Бакланов, 2019]. При этом природный ресурсосодержащий компонент зачастую настолько тесно сопряжен с добывающим предприятием, что он какой-то своей частью включается в это предприятие (часть лесосеки, пространство месторождения и т. п.). Во-вторых, любой социально-экономический компонент (группа населения, инфраструктурный или производственный объект, учреждение сферы обслуживания) всегда размещен в пределах определенного участка территории и в этой связи он пространственно сопряжен с некоторыми природными компонентами этой территории.

Наиболее разнообразные связи между природными и социально-экономическими компонентами устанавливаются в местах пространственной концентрации последних – в поселениях. Если поселение территориально совмещено, пространственно сопряжено с добывающим предприятием, то взаимосвязи природных и социально-экономических компонентов усложняются и усиливаются. В целом же географическое пространство поселения с его природно-ресурсным окружением является узлом концентрации самых разнообразных межкомпонентных связей и сопряжений.

Во многих географических исследованиях из «всего содержимого» поселений страны или региона как бы «изымаются отдельные части» и изучаются в рамках географии населения, географии промышленности, сферы обслуживания и т. п. При этом реально существующие межкомпонентные связи внутри поселений разрываются и не учитываются. В отдельных работах охватывались и изучались сельские поселения и города в целом [Алексеев, 1990; Лаппо, 2012; Хорев, 1971; Лазаренко, 2018]. Поселения в таких исследованиях были представлены в обобщенных характеристиках и типологических построениях по величине, специализации, генезису, каким-то другим общим признакам. Реальные межкомпонентные связи, особенно важные при выявлении аспектов динамики поселений и прогнозных оценок, остаются недостаточно изученными. В то же время это составляет предмет комплексного географического подхода [Социально-экономическая география..., 2016; Теория и методология..., 2019; Геосистемы..., 2010].

Основные результаты и их обсуждение. Функциональная структура поселений, ее общность. Основной характеристикой поселений является численность постоянного населения. По этому признаку выделяются поселения малые, небольшие, средние, крупные и крупнейшие, в которых проживают от нескольких человек до десятков миллионов [География населения..., 2013; Лаппо, 2012; Лазаренко, 2018]. В таких поселениях полный цикл жизнедеятельности человека (больших групп населения) обес-

печивают как разнообразная инфраструктура (жилье, инженерные сети, включая транспорт, связь, энергообеспечение и водоснабжение), так и организации социального обеспечения (медицинские, образовательные, продовольственные, торговые). Все подобные компоненты в их различных организационных формах обязательны для любого поселения, начиная с небольших и средних. Такие компоненты, рассматриваемые в их реальных пространственных формах, являются базисными, составляющими основу практически любого поселения. Например, как показывает исторический опыт, для создания даже минимального уровня жизнеобеспечения населения в самом небольшом поселении необходимы медицинский пункт, школа и магазин, а также энергообеспечение, дорога, транспорт, связь. Это исходные, необходимые и достаточные элементы, составляющие базовое условие как существования поселения на первых этапах, так и его развития в последующем.

Однако даже самое малое поселение, как правило, создается для проживания группы населения, выполняющего определенный экономический вид деятельности: от добычи природных ресурсов и землепользования до функционирования какого-либо обрабатывающего предприятия, транспортного узла и т. п. Подобные виды деятельности, которые, как правило, являются основной причиной (фактором) формирования населенного пункта, в отдельных поселениях могут быть различными, но именно они задают их экономическую причину и функциональную основу – производство товара или услуг, необходимых и востребованных за пределами поселения. Через подобные виды деятельности населенные пункты включаются в территориальное разделение труда и, благодаря этому, приобретают экономическую специализацию и основные предпосылки своего развития. Такие виды деятельности следует рассматривать как основные и в то же время переменные, так как они существенно изменяются от поселения к поселению. В поселении может быть от одного до многих десятков основных переменных компонентов – предприятий, организаций, компаний, выполняющих функции экономической специализации.

Особый функциональный тип поселений составляют сельские поселения. Основой экономической деятельности проживающего в них населения является сельское хозяйство. При этом животноводческие предприятия, как правило, размещаются на окраинах сельских поселений. Выращивание многих сельскохозяйственных культур происходит на обширных территориях, значительно удаленных от них. Подобные сельскохозяйственные предприятия в функциональной структуре сельских поселений следует рассматривать как основные, но переменные с точки зрения их различия по отдельным поселениям. При этом базисные компоненты (медицинские, образовательные, торговые, инфраструктурные) необходимы и для сельских поселений. В ряде случаев несколько малых близлежащих сельских поселений организационно объединяются в одно муниципаль-

ное образование, для того чтобы в целом иметь необходимое сочетание базисных компонентов [География населения..., 2013].

В крупных поселениях базисные компоненты представлены сочетаниями ряда многих учреждений здравоохранения, предприятий тепловой и электроэнергетики, транспорта, школ, детских садов, предприятий по производству продовольствия, торговой сети. Тем не менее в функциональной структуре поселения они остаются базисными постоянными компонентами. Начиная со средних по величине поселений, в них появляются другие (в функциональном отношении также постоянные) компоненты: строительные предприятия, учреждения среднего специального и высшего образования (колледжи, институты и университеты), учреждения культуры (музеи, кинотеатры, библиотеки), а также сферы обслуживания населения (парикмахерские, салоны красоты, мастерские по ремонту бытовой техники). В средних и более крупных поселениях появляются банки и их филиалы, страховые компании, многофункциональные центры обслуживания населения.

В каждом поселении создаются органы управления муниципальным образованием. Сложность органов управления и численность занятых в них возрастают с ростом величины поселения. Органы управления также должны рассматриваться как постоянные базисные компоненты функциональной структуры. Во многих крупных поселениях появляются органы управления регионом с выходящими за пределы поселения функциями управления. Это – центры субъектов Российской Федерации: республик, краев, областей и т. п. Такие органы управления правомерно относить к основным переменным компонентам, так как их функции выходят за пределы поселения и реализуются в регионе.

Таким образом, основу функциональной структуры любого обобщенного типичного поселения образуют следующие группы и блоки компонентов:

1. Население следует рассматривать как центральный компонент, на обеспечение которого направлено функционирование всех других блоков.

2. Базисная инфраструктура – жилье, энерго- и водообеспечение, связь, транспортные звенья.

3. Базисные постоянные компоненты функционирования поселения и социального обслуживания – медицинское обслуживание, энергетика, транспорт, школьное образование, пищевая промышленность, торговля, строительство. Органы собственного управления поселением также следует рассматривать как его постоянные компоненты.

4. Основные условно переменные компоненты, производящие товары и услуги, большей частью на внешний спрос и внешние рынки.

5. Другие условно постоянные компоненты сферы обслуживания населения, которые появляются, как правило, в более крупных поселениях, например банки, страховые компании, учреждения среднего специального и высшего образования, связи, охраны правопорядка и др. Многие из таких учреждений выходят на обслуживание других поселений.

Органы регионального управления можно отнести и к условно переменным компонентам функциональной структуры поселения.

В процессе функционирования практически все компоненты поселения взаимосвязаны между собой непосредственно или опосредованно. Это прежде всего социально-экономическая связанность, первый тип которой устанавливается через население. Члены даже одной семьи могут работать, учиться, обслуживаться в разных предприятиях, учреждениях и организациях.

Обслуживающие компоненты инфраструктуры – энергетика, водоснабжения, инженерных сетей – связывают непосредственно и опосредованно также практически все компоненты поселения. Это можно рассматривать как второй тип связанности.

Опосредованные связи между многими компонентами устанавливаются через общность медицинских, образовательных и торговых учреждений для больших групп населения. Это третий тип внутренней связанности.

Наконец, отдельные предприятия основного блока переменной структуры могут быть связаны между собой непосредственно через производственно-экономические процессы, например деревообрабатывающее предприятие с мебельным или рыбодобывающее с рыбоперерабатывающим. Опосредованные связи переменных компонентов устанавливаются через компоненты постоянных блоков. Это четвертый тип связанности.

Проявление непосредственной и опосредованной связи можно оценить, например, через расчетные (или модельные) оценки передачи определенных задаваемых изменений одних компонентов другим. Например, сокращение численности населения или мощностей энергетики в поселении может повлечь снижение объемов производства или сокращение функций многих компонентов поселения как в постоянном блоке, так и в переменном.

Одновременно в поселениях всегда имеется определенная, зачастую значительная, эластичность, когда изменения даже непосредственно связанных между собой компонентов не являются пропорциональными. В отдельных случаях существенные изменения одних компонентов могут вызвать лишь незначительные изменения других. Подобная структурная эластичность связана, во-первых, с наличием некоторых резервов в энергообеспечении и водоснабжении, транспорте, мощностях других связанных предприятий и объектах инфраструктуры, в наличии в поселении определенного числа безработных и т. п. Кроме того, возможны перетоки энергии, воды и других услуг от одного предприятия в другое в связи с изменением, например, рыночных условий – эффект опосредованной связи. В целом проявляется следующая закономерность: более значительные изменения переменных компонентов могут вызывать меньшие изменения постоянных компонентов. Последние при прочих равных условиях более устойчивы.

Например, в 1990-е гг. и в начале 2000-х гг. в ходе рыночных реформ в РФ во многих городских поселениях были остановлены по несколько крупных предприятий – как переменных компонентов. При этом часто происходили снижение общей численности населения, сокращения в сферах образования и медицинского обслуживания, в пищевой промышленности. Тем не менее в торговой сфере росло число предприятий розничной торговли. В меньшей мере сокращения затронули предприятия транспорта и энергетики. Однако во многих небольших поселениях, где прекратившие работу градообразующие предприятия были единственными в основном блоке, происходила полная стагнация последних вплоть до их ликвидации. В целом же во многих средних и крупных поселениях в этот период проявилась высокая структурная межкомпонентная эластичность, особенно по отношению к изменениям переменных компонентов.

Кроме разнообразной связанности в социально-экономической сфере, все компоненты поселения одновременно связаны с компонентами природной сферы, прежде всего природно-ресурсными. Население, как и практически все компоненты постоянного блока (инфраструктура, сфера услуг и др.), непосредственно использует их отдельные виды: водные, некоторые биологические, воздушные, территории, выводят отходы жизнедеятельности в окружающую среду. Практически все компоненты переменного блока также используют то или иное сочетание природных ресурсов: водных, территориальных (пространственных), воздушных и, в ряде случаев, лесных, земельных, минеральных, биологических и др. Каждый компонент этого блока выводит в окружающую среду различные отходы производства и функционирования, в том числе достаточно опасные – водные, воздушные, твердые. Например, по суммарным воздействиям на окружающую среду разработаны индексы экологической ситуации в городах [Битюкова, 2019], подходы к ее балансовым оценкам [Sustainable..., 2015].

Таким образом, все компоненты поселения оказываются опосредованно связанными между собой через компоненты природных ресурсов и природной среды, вмещающей и окружающей поселение. Например, все компоненты поселения могут использовать один источник водных ресурсов (водоем, водохранилище, подземный источник). Все компоненты поселения размещены в пределах одной, как правило компактной, территории. Благодаря их пространственному сопряжению, изменение одного компонента, например расширение занимаемой им территории, может затрагивать другие. Наконец, отходы функционирования компонентов, выводимые в окружающую среду, могут собираться, очищаться и утилизироваться в одних зонах окружающей среды или в очистных сооружениях. Так осуществляется связанность компонентов поселения через природно-ресурсную среду в целом. Последняя должна выделяться в относительно целостной, структурированной форме – в виде определен-

ной географической системы, вмещающей все компоненты поселения и его окружение, в том числе и морское. Это связано с тем, что природные ресурсы, используемые в поселении, и окружающая среда, куда выводятся отходы компонентов, почти всегда выходят за формальные границы поселения.

Таким образом, под функциональной структурой поселения следует понимать сочетание блоков компонентов – объектов, сооружений, предприятий и организаций, выполняющих однородные виды деятельности, необходимые и достаточные для реализации всех стадий полного цикла жизнедеятельности человека (проживания, питания, медицинского и торгового обслуживания, образования, работы с целью получения доходов на оплату различных товаров и услуг, возможностей перевозок и переездов в другие районы) с различными уровнями и типами их связанности.

Подобное понимание функциональной структуры поселения следует рассматривать как функциональную структуру в широком смысле. Последняя, несмотря на огромное разнообразие поселений, обладает большой общностью, инвариантностью. К функциональной структуре в узком смысле часто относят лишь основные промышленные или транспортные функции поселения. С этим связано, например, выделение монопрофильных или монофункциональных городов. Однако и в них всегда имеется целый ряд различных функций [Кузнецова, 2004; География..., 2013, с. 160–175]. Многие подобные поселения даже с одним крупным и эффективным переменным компонентом (предприятием) могут быть вполне устойчивы, а в перспективе – получить новые импульсы развития. Однако в случае, когда эти предприятия прекращают свою деятельность, многие из городских поселений превращаются в сельские [Чучкалов, Алексеев, 2019].

Обобщенную структурно-функциональную схему поселения можно представить в следующем виде (рис. 1).

Блоки 1–3, 6 и 7 – базовые, они представлены в любом поселении, даже самом малом. Если на расчетном, модельном уровне исключить хотя бы один из базовых блоков, то поселение не сможет нормально функционировать либо оно должно прекратить свое существование. Отдельные крупные предприятия пищевой промышленности, строительной индустрии, тепловой и электроэнергетики могут производить определенную часть продукции или услуг для рыночной реализации в других поселениях. В этом случае они составят часть блока 3а. На стадии развития поселения появляются компоненты пятого блока – объекты культуры, среднего и высшего образования, научные учреждения, банки и другие – из сферы обслуживания в широком смысле. Какие-то из них, например вузы и банки, могут выходить на обслуживание других поселений, при этом они перейдут в часть блока 5а.

В таблице приводятся рассчитанные нами оценки соотношения блоков компонентов ряда городских поселений Приморского края. Для этих посе-

лений предприятия и организации были сгруппированы в соответствующие функциональные блоки компонентов. Для каждого блока были рассчитаны доли среднесписочной численности работников предприятий и организаций, включаемых в блоки, от общей численности занятого в них населения.

Как следует из подобных оценок, в каждом отдельном блоке доля занятых в соответствующих компонентах сохраняется достаточно устойчивой. Например, во втором блоке – 7,5–7,9%; в третьем – 27,5–30,3%; в пятом – 13,8–15,6%. При этом из пятого блока ряд транспортных функций и функций регионального управления выходят в блок 5а. Во Владивостоке, Уссурийске, Находке и Артеме имеются вузы и колледжи, также выходящие на районный уровень. Поэтому доля занятых в образовании здесь выше, чем в других поселениях. В целом можно обобщить соотношение блоков 2:3:5 как 8,5:28,5:14,5 (по доле занятых). Таким образом, подтверждается высокая структурно-функциональная общность различных поселений.

Практически все компоненты 1–5-го блоков образуют отношения, связи с природно-ресурсными (блок 6) и природными (блок 7) компонентами в границах поселения и его окружения. Это и есть использование природных ресурсов – земельных, строительных материалов, водных, воздушных и др., а также выведение отходов – жидких, твердых, газообразных (в том числе после определенной очистки) в окружающую среду, в том числе в морскую. Это характерно для приморских поселений, например, Владивостока и Находки.

Пространственные аспекты структурно-функциональной модели поселения. Пространство поселения, дополненное пространством вмещающей его природной геосистемы (или их сочетания), образует пространство интегральной геосистемы. В последней реализуются разнообразные непосредственные и опосредованные связи как между компонентами социальных и экономических блоков, так и между ними и компонентами природно-ресурсных блоков. Например, в крупнейших поселениях – мегаполисах – выделяется в обобщенном виде многомерное социальное пространство и оцениваются его дифференцированные связи с пространством

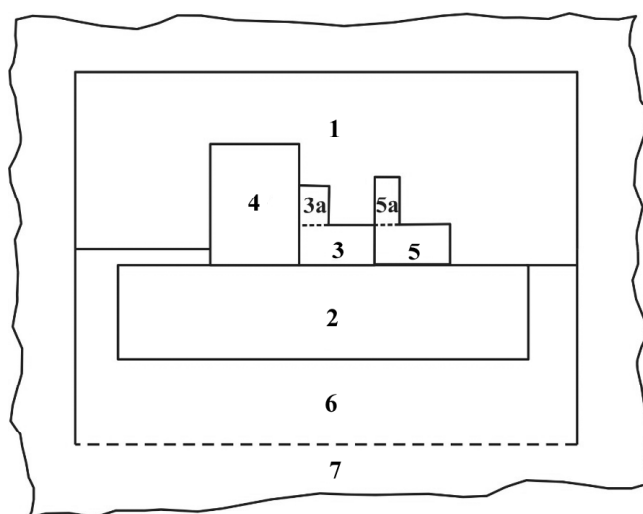


Рис. 1. Структурно-функциональная схема поселения. Блоки компонентов: 1 – группы населения; 2 – инфраструктура; 3, 5 – постоянные; 4 – переменный; 3а и 5а – функции, выходящие за пределы поселений; 6 – природно-ресурсный; 7 – вмещающая природная геосистема

Fig. 1. Structural and functional scheme of a settlement. Series of components: 1 – population groups; 2 – infrastructure; 3, 5 – permanent; 4 – variable; 3a and 5a – functions outreaching the settlement boundaries; 6 – natural resource; 7 – enclosing natural geosystem

среды, в том числе парковыми и лесопарковыми зонами [Вендина, Панин, Тикунов, 2019], проводится оценка изменений в землепользовании в среде города [Ioffe, Nefedova, 2001], соотношений использования населенных пространств [Gehl, 2011].

Интегральная геосистема, вмещающая поселение, является минимальной, где реализуется весь набор наиболее тесных связей и сопряжений между социальными, экономическими и природно-ресурсными компонентами географического пространства (рис. 2).

Следует подчеркнуть, что любое поселение в целом не является замкнутой системой. Так, с момента формирования поселения в него происходит перемещение определенного населения, стройматериалов, энергетических ресурсов, потребительских товаров, определенных конструкций, машин, оборудования и т. д. Следовательно, с поселением уста-

Таблица

Соотношение структурно-функциональных блоков городских поселений (Приморский край)

Городские поселения	Численность населения, тыс. чел.		Доля занятых в блоках поселения (по среднесписочной численности работников организаций), %				
	Всего	Занятых	Блок 2	Блок 3	Блок 4	Блок 5	Блок 5а
Владивосток	634,7	169,5	7,9	30,3	7,7	15,4	18,0
Находка	145,2	38,3	7,6	28,3	13,7	14,2	20,1
Уссурийск	199,3	36,7	9,6	30,0	16,8	15,6	8,2
Артем	115,1	18,9	8,0	28,6	8,1	15,0	15,6
Арсеньев	52,2	12,6	7,5	27,5	49,8	13,8	–
Лесозаводск	42,2	7,5	7,7	27,6	15,5	14,3	10,4
Дальнегорск	41,8	8,5	9,6	27,3	24,1	14,2	–
Спасск-Дальний	39,8	7,3	9,0	28,3	5,5	14,6	10,1

Источник: [База..., 2020].

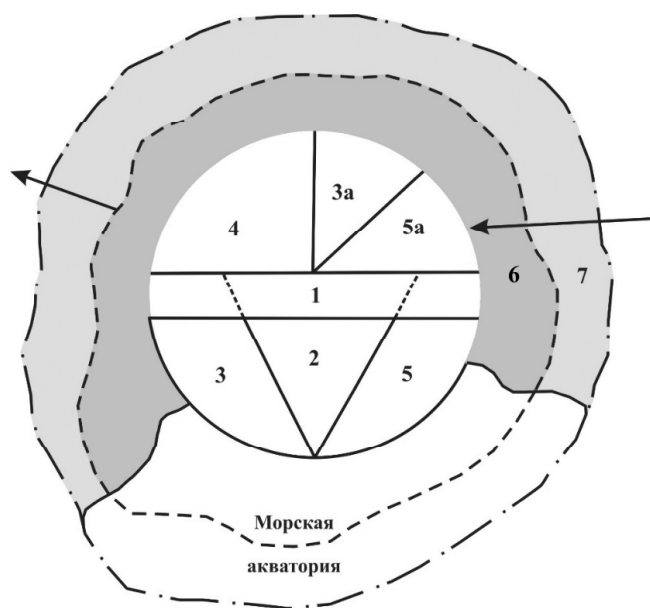


Рис. 2. Обобщенная схема географического пространства поселения с окружением, в том числе морским. 1–7 – структурно-функциональные блоки; стрелки – внешние связи

Fig. 2. Generalized scheme of geographical space of a settlement and its surroundings, including the marine one. 1–7 – structural and functional series; arrows – external links

навливаются транспортная связь. Со временем структура подобных «входных» связей изменяется, но многие связи остаются. По мере формирования блока переменных компонентов появляются связи по ввозу производственных ресурсов для них и по вывозу из поселения их товаров и услуг на внешние рынки, в том числе производимых в отдельных компонентах социальной сферы. Сохраняются некоторые трудовые и миграционные связи населения.

Таким образом, другой тип связанности реализуется в рамках территории за пределами поселения. Это – ареалы использования определенных природных ресурсов (земельных, лесных, минеральных, водных и др.). Пространственные структуры природопользования, формирующиеся за пределами поселения, как правило, замыкаются на соседние поселения. Здесь проживают и обслуживаются занятые на добывающих предприятиях и связанные с ними группы населения. В сельских поселениях проживают группы населения, работающие в растениеводстве. В этой связи ареалы сельскохозяйственных полей можно рассматривать и как пространственные звенья структур землепользования, тяготеющие к близлежащему поселению.

В целом любая территория с точки зрения ее освоения природопользования или охраны всегда тяготеет к ближайшим поселениям – одному или нескольким. Более строго структуризацию тяготения территории можно установить между двумя соседними поселениями, связанными транспортным звеном (рис. 3).

В целом предлагается следующий алгоритм выделения и структуризации территории района.

Как «точка отсчета» территориальной структуры выбирается некоторое центральное достаточно крупное поселение. Выделяются базисные, постоянные и переменные компоненты всех блоков в этом поселении.

По наличию достаточно тесных связей и взаимодействий в природно-ресурсной сфере выделяется территория (акватория) его окружения.

Определяются все соседние поселения, с которыми имеются непосредственные транспортные связи (звенья железнодорожной или автодорожной сети) у поселения, выбранного в качестве центрального. Устанавливаются переменные компоненты в соответствующих блоках соседних поселений.

Выделяются территории (акватории) окружения соседних поселений.

В пределах остальной части территории между поселениями вычленяются пространственные структуры природопользования, тяготеющие к отдельным поселениям. Остальная часть территории может рассматриваться как резервная.

В результате фактически выделяется территориальная социально-экономическая система (ТСЭС) со структурой первого порядка [Бакланов, 2013]. Если границы ТСЭС скорректированы по рубежам одной или нескольких вмещающих ее геосистем, то это образование можно рассматривать как интегральную географическую систему. Последняя является наиболее полным объектом интегральных географических исследований, в том числе и с целью определения вариантов ее структурной динамики.

Выводы:

– в любом поселении формируются сочетания различных компонентов, образующих одинаковые наборы функциональных блоков, которые вместе с разнообразными уровнями и формами связанности можно рассматривать в виде устойчивой инвариантной структуры поселений. Они различаются полнотой и величиной отдельных блоков, в целом задаваемой численностью насе-

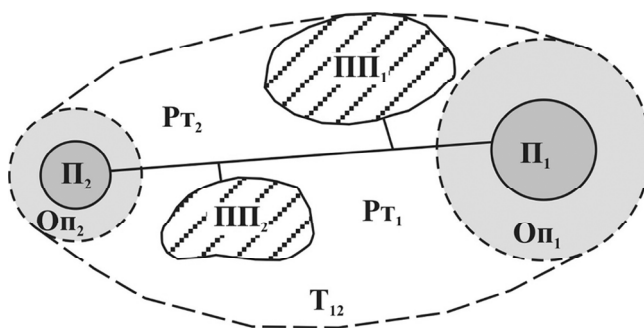


Рис. 3. Структуризация территории (T_{12}) между двумя соседними поселениями P_1 и P_2 . Op_1 и Op_2 – окружения поселений 1 и 2; $ПП_1$ и $ПП_2$ – ареалы природопользования; $Рт_1$ и $Рт_2$ – резервные территории, тяготеющие к P_1 и P_2

Fig. 3. Structurization of territory (T_{12}) between two neighboring settlements P_1 and P_2 . Op_1 and Op_2 – surroundings of settlements 1 and 2; $ПП_1$ and $ПП_2$ – areas of nature management; $Рт_1$ and $Рт_2$ – reserve areas (hinterlands of P_1 and P_2)

ния в поселении, а также разнообразием переменных компонентов и связями. Однако в структурно-функциональном отношении самые разнообразные поселения имеют высокое сходство, большую общность. Представляется, что структурированное поселение с его природно-ресурсным окружением необходимо рассматривать как объект моделирования, расчетов и оценок более эффективных вариантов его развития;

– исходным структурно целостным интегральным географическим образованием является поселение с его территориальным и акваториальным окружением. Если для него выделить внешние наиболее существенные связи и зоны влияния, то практически получим ТСЭС со структурой первого порядка. С другой стороны, структурно целостным территориальным образованием, где могут сохраняться минимальные обобщения пространственных

характеристик различных компонентов и межкомпонентных связей, является территориальная социально-экономическая система и вмещающая ее природная геосистема или их сочетание;

– при детальной строгой структуризации таких геосистем возможны расчеты и оценки вариантов динамики как отдельных поселений при реальных или задаваемых изменениях их компонентов, прежде всего переменных, так и пространственных структур природопользования, отдельных звеньев ТСЭС и геосистем в целом. При этом возможна более строгая оценка взаимозависимостей в изменениях отдельных пар непосредственно связанных поселений и структур природопользования при тех или иных вариантах регионального развития. Современная цифровая модель ТСЭС, включая ее центральное структурированное поселение, может стать эффективным инструментом территориального управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А.И. Многоликая деревня: население и территория. М.: Мысль, 1990. 266 с.

Бабурин В.Л. Развитие территориальных природно-хозяйственных систем как основы экономики // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2012. № 5. С. 5–13.

Бакланов П.Я. Территориальные социально-экономические системы в региональном развитии // Известия РАН. Сер. геогр. 2017. № 4. С. 7–16. DOI: 10.7868/S0373244417040016.

Бакланов П.Я. Пространственные структуры природопользования в региональном развитии // География и природные ресурсы. 2019. № 1. С. 5–13.

Бакланов П.Я. Геосистемный подход в географических исследованиях // Тихоокеанская география. 2020. № 1. С. 7–12.

Битюкова В.Р. Методы оценки экологической ситуации в городах: полимасштабность подходов / Теоретические и методические подходы в экономической и социальной географии. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2019. С. 221–244.

Вендина О.И., Панин А.Н., Тикунов В.С. Социальное пространство Москвы: особенности и структура // Известия РАН. Сер. геогр. 2019. № 6. С. 3–17.

Географические исследования Сибири. Т. 1: Структура и динамика геосистем / Ю.М. Семенов, А.В. Белов, Е.Г. Суворов и др. Новосибирск: Гео, 2007а. 413 с.

Географические исследования Сибири. Т. 5: Общественная география / Ю.П. Михайлов, И.Л. Савельева, К.Н. Мисевич и др. Новосибирск: Гео, 2007б. 374 с.

География населения и социальная география // Вопросы географии. Сб. 135: География населения и социальная география / под ред. А.И. Алексеева, А.А. Ткаченко. М.: Кодекс, 2013. 552 с.

География, общество, окружающая среда. Т. II: Функционирование и современное состояние ландшафтов / под ред. Н.С. Касимова, К.Н. Дьяконова, Э.П. Романовой. М.: Городец, 2004. 606 с.

Геосистемы Дальнего Востока на рубеже XX и XXI веков. Т. I: Природные геосистемы / под ред. С.С. Ганзеля. Владивосток: Дальнаука, 2008. 428 с.

Геосистемы Дальнего Востока на рубеже XX и XXI веков. Т. II: Природные ресурсы и региональное природопользование / под ред. П.Я. Бакланова и В.П. Каракина. Владивосток: Дальнаука, 2010. 560 с.

Кузнецова Г.Ю. Социально-экономические трансформации монопрофильных поселений в переходной экономике // Региональные исследования. 2004. № 1. С. 33–44.

Лазаренко В.А. Подходы к изучению города в отечественной социально-экономической географии / Теоретические и методические подходы в экономической и социальной географии. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2019. С. 80–95.

Ланно Г.М. Города России: Взгляд географа. М.: Новый хронограф, 2012. 504 с.

Преображенский В.С. О системе методов общей физической географии / Методы ландшафтных исследований. М.: Наука, 1969. С. 7–34.

Скопин А.Ю. Экономическая география России. М.: Проспект, 2005. 368 с.

Социально-экономическая география в России / под ред. П.Я. Бакланова, В.Е. Шувалова. Русское географическое общество. Владивосток: Дальнаука, 2016. 326 с.

Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.

Теория и методология ландшафтного планирования / А.В. Хорошев, И.А. Авессаломова, К.Н. Дьяконов и др. М.: Товарищество КНК, 2019. 444 с.

Хорев Б.С. Проблемы городов. Экономико-географическое исследование городского расселения в СССР. М.: Мысль, 1971. 428 с.

Чучкалов А.С., Алексеев А.И. «Новые» сельские населенные пункты – бывшие поселки городского типа // Известия РАН. Сер. геогр. 2019. № 6. С. 18–34.

Экономическая и социальная география России / под ред. проф. А.Т. Хрущева. М.: Крон-пресс, 1997. 352 с.

Gehl J. *Life Between Buildings: Using Public Space*, Washington, Island Press, 2011, 216 p.

Ioffe G., Nefedova T. Land Use Changes in the Environs of Moscow, *Area*, 2001, vol. 33, iss. 3, p. 273–286, DOI: 10.1111/1475-4762.00031.

Sustainable Cities Index. Balancing the economic, social and environmental needs of the world's leading cities, Arcadis, 2015, 38 p.

Электронный ресурс

База данных показателей муниципальных образований. URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения 15.07.2020).

Поступила в редакцию 19.10.2020

После доработки 25.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

P.Ya. Baklanov¹

SETTLEMENT AS A HOLISTIC OBJECT FOR INTEGRATED GEOGRAPHICAL RESEARCH

Settlement is considered as a geographical entity, consisting of a combination of permanent and variable components. The former are population groups, infrastructure, enterprises and organization of social services, while the latter include enterprises that provide the participation of a settlement in the territorial division of labour and its specialization, as well as the natural resource and natural components of an enclosing geosystem. Forward and reverse, direct and indirect links between social and economic components, as well as between them and natural resource and natural components, are identified. The conclusion is that the node of the closest inter-component links is integrated in the geographical space of a settlement. A structural and functional model of a settlement is proposed, which includes series of permanent and variable components. The combination of various series was evaluated in terms of the share of employed for a group of urban settlements in the Primorsky Krai.

It is revealed that the share of permanent components varies slightly in different cities with no relation to their population numbers, while the share of variables differs greatly.

The structuring of territory outside the settlements is considered, i. e. between two settlements interconnected by a transport link. The territory partly gravitates towards one settlement and partly to another one. Ultimately, a territorial socio-economic system with structural links of the first order and a detailed structuring of the central settlement is considered to be an object of integrated geographical research.

Key words: block of components, population, enterprise, natural resources, links, conjunctions, functional structure, territory

REFERENCES

- Alekseev A.I. *Mnogolikaya derevnya: naselenie i territoriya* [The Many-Faced Village: Population and Territory], Moscow, Mysl' Publ., 1990, 266 p. (In Russian)
- Baburin V.L. Razvitie territorialnykh prirodno-hozyajstvennykh sistem kak osnovy ekonomiki [Development of territorial natural and economic systems as a basis of economy], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2012, no. 5, p. 5–13. (In Russian)
- Baklanov P.Ya. Territorial'nye sotsial'no-ekonomicheskie sistemy v regional'nom razvitii [Territorial socioeconomic systems in regional development], *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*, 2017, no. 4, p. 7–16, DOI: 10.7868/S0373244417040016. (In Russian)
- Baklanov P.Ya. Prostranstvennye struktury prirodopolzovaniya v regionalnom razvitii [Spatial structures of nature management in regional development], *Geography and Natural Resources*, 2019, no. 1, p. 5–13. (In Russian)
- Baklanov P.Ya. Geosistemnyj podhod v geograficheskikh issledovaniyakh [The geosystem approach in geographical researches], *Tihookeanskaya Geografiya*, 2020, no. 1, p. 7–12. (In Russian)
- Bityukova V.R. [Urban environmental conditions estimation methods: polyscale approaches], *Teoreticheskie i metodicheskie podhody v ekonomicheskoy i sotsialnoy geografii: sbornik statej* [Theoretical and methodological approaches in economic and social geography: collection of papers], Moscow: MSU, Faculty of Geography, p. 221–244. (In Russian)
- Chuchkalov A.S., Alekseev A.I. Novye selskie naselennyye punkty – byvshie poselki gorodskogo tipa ["New" rural settlements – former urban-type settlements], *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya*, 2019, no. 6, p. 18–34. (In Russian)
- Ekonomicheskaya i sotsialnaya geografiya Rossii* [Economic and social geography of Russia], edited by prof. A.T. Khrushchev, Moscow, Kron-press Publ., 1997, 352 p. (In Russian)
- Gehl J. *Life Between Buildings: Using Public Space*, Washington, Island Press, 2011, 216 p.
- Geograficheskie issledovaniya Sibiri. T. 1. Struktura i dinamika geosystem* [Geographical research of Siberia, vol. 1, Structure and dynamics of geosystems], Y.M. Semyonov, A.V. Belov, E.G. Suvorov et al., Novosibirsk, Geo Publ., 2007, 413 p. (In Russian)
- Geograficheskie issledovaniya Sibiri. T. 5. Sotsialnaya geografiya* [Geographical research of Siberia, vol. 5, Social geography], Yu.P. Mikhailov, I.L. Savelyeva, K.N. Misevich et al., Novosibirsk, Geo Publ., 2007, 374 p. (In Russian)
- Geografiya naseleniya i sotsialnaya geografiya* [Geography of population and social geography], *Voprosy geografii*, no. 135, A.I. Alekseev, A.A. Tkachenko (eds.), Moscow, Codex Publ., 2013, 552 p. (In Russian)
- Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. T. II. Funktsionirovaniye i sovremennoe sostoyaniye landshaftov* [Geography, society, environment, vol. II, Contemporary landscape processes], N.S. Kasimov, K.N. Dyakonov, E.P. Romanova (eds.), Moscow, Gorodets Publ., 2004, 606 p. (In Russian)
- Geosistemy Dalnego Vostoka na rubezhe XX i XXI vekov. T. I. Prirodnye geosistemy* [Geosystems of the Far East at the turn of the 20th and 21st centuries, vol. I, Natural geosystems], S.S. Ganzey (ed.), Vladivostok, Dalnauka Publ., 2008, 428 p. (In Russian)
- Geosistemy Dalnego Vostoka na rubezhe XX i XXI vekov. T. II. Prirodnye resursy i regionalnoe prirodopolzovanie* [Geosystems of the Far East at the turn of the XX and XXI centuries, vol. II, Natural resources and regional nature management], P.Ya. Baklanov and V.P. Karakin (eds.), Vladivostok, Dalnauka Publ., 2010, 560 p. (In Russian)
- Ioffe G., Nefedova T. Land Use Changes in the Environs of Moscow, *Area*, 2001, vol. 33, iss. 3, p. 273–286, DOI: 10.1111/1475-4762.00031.
- Khorev B.S. *Problemy gorodov. Ekonomiko-geograficheskoe issledovanie gorodskogo rasseleniya v SSSR* [Problems of cities. Economic-geographical study of urban settlement in the USSR], Moscow, Mysl' Publ., 1971, 428 p. (In Russian)

¹ Pacific Geographical Institute, Far-Eastern Branch of RAS, Scientific Director of the Institute, Academician of the RAS, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: pbaklanov@tig.dvo.ru

Kuznetsova G.Yu. Sotsialno-ekonomicheskie transformatsii monopofilnykh poselenij v perehodnoj ekonomike [Socio-economic transformations of monopofile settlements in transitional economy], *Regionalnye issledovaniya*, no. 1, 2004, p. 33–44. (In Russian)

Lappo G.M. *Goroda Rossii: vzglyad geografa* [Cities of Russia: A Geographer's View], Moscow, New Chronograph Publ., 2012, 504 p. (In Russian)

Lazarenko V.A. [Approaches to urban research in domestic socio-economic geography], *Teoreticheskie i metodicheskie podhody v ekonomicheskoy i sotsialnoj geografii: sbornik statej* [Theoretical and methodological approaches in economic and social geography: collection of papers], Moscow, MSU, Faculty of Geography, p. 80–95. (In Russian)

Preobrazhensky V.S. [On the system of methods in general physical geography] *Metody landshaftnykh issledovaniy*, [Methods of landscape studies], Moscow, Nauka Publ., 1969, p. 7–34. (In Russian)

Skopin A.Yu. *Ekonomicheskaya geografiya Rossii* [Economic geography of Russia], Moscow, Publishing House Prospect, 2005, 368 p. (In Russian)

Sochava V.B. *Vvedenie v uchenie o geosistemah* [Introduction to the geosystem science], Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 320 p. (In Russian)

Sotsialno-ekonomicheskaya geografiya v Rossii [Socio-economic geography in Russia], P.Ya. Baklanov, V.E. Shuvalov (eds.), Russian Geographical Society, Vladivostok, Dalnauka Publ., 2016, 326 p. (In Russian)

Sustainable Cities Index, Balancing the economic, social and environmental needs of the world's leading cities, Arcadis, 2015, 38 p.

Teoriya i metodologiya landshaftnogo planirovaniya [Theory and methodology of landscape planning], A.V. Khoroshev, I.A. Absolomova, K.N. Dyakonov et al., Moscow, Tovarischestvo KNK Publ., 2019, 444 p. (In Russian)

Vendina O.I., Panin A.N., Tikunov V.S. *Sotsialnoe prostranstvo Moskvy: osobennosti i struktura* [Social space of Moscow: peculiarities and patterns], *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2019, no. 6, p. 3–17. (In Russian)

Web source

Database of indicators of municipalities, URL: <https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/> (date access 15.07.2020). (In Russian)

Received 19.10.2020

Revised 25.12.2020

Accepted 21.01.2021

УДК 911.37 (470.1/.6)

А.С. Наумов^{1,2}, И.Н. Рубанов³, Н.Х. Аблязина⁴

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ТИПОЛОГИИ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИИ

Во многих странах изменились подходы к оценке потенциала развития сельских территорий, что нашло отражение в государственной политике. Для России, где в 2019 г. была впервые принята государственная программа комплексного развития сельских территорий, данное направление исследований имеет огромное значение, прежде всего в силу географических контрастов огромной территории. Важным инструментом для выявления различий в сельском развитии является типология сельских территорий. В статье рассмотрены проблемы типологизации сельских территорий с учетом российской специфики и приведены результаты выделения их типов на различных масштабных уровнях. Определены различия в проявлении факторов пространственной дифференциации сельского развития на двух уровнях – между субъектами Российской Федерации и между муниципалитетами Брянской области. На макроуровне проведен анализ различных показателей. Некоторые из них характеризуют особенности «сельских» черт регионов. В размещении полученных с помощью кластеризации типов четко выражена поясность в направлении север – юг и зональность в направлении запад – восток. К разным типам относятся южные аграрные и северные нечерноземные регионы. Демографической особенностью большинства регионов Европейской России является высокая доля пожилого населения среди селян. Специфику других регионов определяют степень вовлеченности в миграционные процессы и этнический состав. Сельские территории центра Европейской части лучше обеспечены транспортной, коммунальной и социальной инфраструктурами. Однако даже в самых благополучных регионах на сельские территории, оборудованные системами водопровода, канализации и отопления, приходится чуть более трети всей площади. На периферии и особенно на Севере обеспеченность инфраструктурой катастрофически низкая. Индикаторами для типологии сельских территорий Брянской области на микроуровне стали естественный прирост населения и миграционный баланс. Выявлено четыре типа муниципалитетов: депрессивные периферийные, устойчиво развивающиеся, стабильные пригородные и аграрные лидеры.

Ключевые слова: региональное развитие, типы сельских территорий, полимасштабные исследования

Введение. Сельское развитие (англ. *rural development*), или развитие сельских территорий, – одно из основных направлений Общей сельскохозяйственной политики Европейского союза и аналогичных программ в США, Канаде, Китае и других странах. До недавнего прошлого сельское развитие в основном увязывалось с ростом сельскохозяйственного производства, однако ныне оно рассматривается более широко в контексте проблематики устойчивого развития и рационального природопользования. Новыми объектами политики сельского развития стали территории, где аграрная экономика не играет важной доходообразующей роли, в том числе районы с экстремальными климатическими условиями, ближняя периферия городских агломераций, рекреационные и иные районы.

Согласно принятой в 2006 г. Организацией экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) декларации «Новая сельская парадигма», акцент в политике развития сельских территорий смещается

от субсидирования сельхозпроизводителей в сторону комплексного социально-экономического развития, поддержки «зеленой экономики» и альтернативных аграрных видов хозяйственной деятельности, в первую очередь сельского туризма и экосистемных услуг [OECD..., 2019]. Меры реализуемой ныне странами-членами ОЭСР «Сельской политики 3.0» разработаны с учетом реалий демографической ситуации, возросшей доли третичного сектора в структуре сельской экономики и занятости, увеличения спроса на постоянные и сезонные загородные жилье, а также изменившегося отношения к природным ресурсам, которые уже не считаются исключительно фактором материального производства [OECD..., 2016].

Принципиально изменились и научные подходы к оценке потенциала развития сельских территорий. Они рассматриваются как «места новых возможностей», реализовать которые поможет так называемая умная специализация, обращающая недостат-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, зав. кафедрой, канд. геогр. н., e-mail: anaumov@geogr.msu.ru

² Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт аграрных исследований, отдел изучения сельского развития, зав. отделом; e-mail: asnaumov@hse.ru

³ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт аграрных исследований, отдел изучения проблем сельского развития, эксперт, канд. геогр. н.; e-mail: rubanovin@yandex.ru

⁴ Государственное автономное учреждение «Научно-исследовательский и проектный институт Градостроительного планирования города Москвы», научно-методический отдел, специалист; e-mail: nellykluchkovskaya@gmail.com

ки территории в ее преимущества [Torre, Wallet, 2016]. Примером может служить успешное развитие малонаселенных районов, например норвежского Нордланда, за счет специализации на биоэкономике – развития производств, использующих возобновляемое биологическое сырье. Наряду с отходом от традиционной сельскохозяйственной специализации, ключевыми факторами сельского развития на современном этапе становятся локальные факторы: инициативность местного предпринимательства и опора на социальный капитал [Li et al., 2019].

Ввиду дифференцированного подхода к сельскому развитию ключевым элементом научного обоснования соответствующих мер государственной политики становится комплексная социально-экономическая типология сельских территорий. Цель такой типологии – выявить разнообразие внегородских пространств, определяющееся географическим положением, природными ресурсами, уровнем заселенности и степенью освоенности, уровнем благосостояния населения, качеством человеческого капитала, наличием объектов культурного наследия и текущими характеристиками социально-экономического развития. Современные программы развития сельских территорий разрабатываются с учетом этих различий. Например, не существует единых моделей для пригородных и удаленных от города территорий. Развитая транспортная сеть позволяет жителям пригородов включаться в городскую экономику через челночные трудовые поездки и в то же время обслуживать городских жителей, предоставляя им рекреационные услуги и производя сельскохозяйственную продукцию. Преимуществом удаленных территорий является наличие уникальных ресурсов, как правило природных, либо историко-культурных достопримечательностей (в идеале – сочетание таковых), что делает их привлекательными для развития туризма. Удаленность также способствует производству экологически чистого продовольствия, включая нишевые продукты, например «дары леса».

В Российской Федерации переход к новой стратегии сельского развития обозначился с принятием в мае 2019 г. Государственной программы комплексного развития сельских территорий с общим объемом финансирования на 2020–2025 гг. 1,5 трлн руб. [Об утверждении государственной программы..., 2019]. Ранее сельское развитие рассматривалось как второстепенная задача отраслевой стратегии развития аграрно-промышленного комплекса. Так, по Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг. на поддержку агропроизводства ежегодно выделялось более 200 млрд руб. [Приказ об утверждении..., 2017], в то время как объем финансирования Федеральной целевой программы «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014–2017 годы и на период до 2020 года» на весь срок ее действия должен был составить 51,2 млрд руб. [О ходе реализации..., 2018].

Новая государственная программа имеет комплексный характер и выходит за рамки развития АПК. Она учитывает лучшие зарубежные практики и, по замыслу разработчиков, должна отвечать вызовам времени. В то же время эта программа призвана содействовать решению специфических российских проблем: удержанию контроля над обширным малонаселенным внегородским пространством, сдерживанию гипертрофированного роста городских агломераций, «вторичному освоению» фактически обезлюдевших территорий, построению равновесного каркаса расселения с опорой на полноценные низовые звенья, обеспечению транспортной доступности сельской глубинки как в основной полосе расселения, так и в Арктике, Сибири, на Дальнем Востоке.

Реализация новой стратегии сельского развития в России нуждается в научном обосновании, прежде всего в инвентаризации многообразия сельских территорий. Ключевую роль в этом призваны сыграть их комплексные типологические исследования. Для российской науки это новая задача, хотя за рубежом комплексный подход к изучению сельской местности распространен давно: достаточно вспомнить переведенную на русский язык в 1959 г. книгу французского географа П. Жоржа [Жорж, 1959]. А.Н. Ракитников и его последователи занимались в основном типологией сельскохозяйственного производства [Крючков, 1987; Проблемы природного и сельскохозяйственного районирования..., 1989; Ракитников, 2003]. Для представителей научного направления, основоположником которого был С.А. Ковалев [Ковалев, 2003], главный интерес представляет изучение взаимосвязи социально-экономического развития и сельского расселения [Алексеев, Сафронов, 2017; Алексеев и др., 2019; Зубаревич, 2013]. Социологи исследуют различия в пассионарности и экономической деятельности населения в зависимости от его общей динамики и миграционных процессов [Эфендиев, Болотина, 2002]. На комплексном географическом подходе к изучению проблем сельского развития основаны работы Т.Г. Нефедовой, в которых оно увязано с центр-периферийным положением сельских территорий, их демографической структурой и этническим составом населения, характеристикам агропроизводства [Нефедова, 2003; Нефедова, 2012; Нефедова, Медведев, 2020].

В целом приходится констатировать, что проведение типологии сельских территорий в России – это весьма сложная и трудоемкая научно-исследовательская задача, что объясняется как размером и географическим многообразием нашей страны, так и несовершенством исходных данных.

Материалы и методы исследования. Пространственный анализ данных о сельских территориях в России осложняется рядом проблем, важнейшей из которых является неопределенность административного статуса сельских территорий. Таковыми считаются «сельские поселения или сельские поселения и межселенные территории, объединенные об-

шей территорией в границах муниципального района, сельские населенные пункты, рабочие поселки, входящие в состав городских округов (за исключением городских округов, на территории которых находятся административные центры субъектов Российской Федерации), городских поселений и внутригородских муниципальных образований г. Севастополя» [Об утверждении государственной программы..., 2019]. Таким образом, к сельским территориям – полностью или частично – относятся разные виды территориально-административных единиц: муниципальные районы (на 01.01.2020 г. их было 1673), которые по умолчанию считаются преимущественно сельскими территориями, а также значительная часть 632 городских округов, где есть порой весьма многочисленное сельское население [База данных показателей..., 2019]. В состав городских округов и отдельных городских поселений зачастую входят межселенные территории и сельские населенные пункты, что затрудняет разграничение городской и сельской местности по официальному статусу этих муниципалитетов.

Приведем пример в Брянской области, где из 13 городов, являющихся районными центрами, три – Клинцы, Новозыбков и Стародуб – городские округа, а остальные вместе с окружающими сельскими территориями входят в муниципальные районы. Единого порогового значения численности жителей для выделения городского округа не существует, «городской» статус зачастую достается по наследству или присваивается по иным основаниям. Так, Рамасухское городское поселение на юго-востоке Почепского района Брянской области с 402 жителями (данные 2019 г.) ранее выполняло городские функции – было центром лесопереработки и деревообрабатывающей промышленности, хотя теперь его жители получают доход в основном от сельскохозяйственной деятельности или заняты личным подсобным хозяйством. В то же время гораздо более крупные поселения со статусом районных центров – поселки Жирятино и Гордеевка (около 4 тыс. и 3 тыс. человек соответственно) с более широкой хозяйственной специализацией и развитыми «центральными» функциями все еще считаются сельскими поселениями.

Статус низовых административных единиц и их границы часто меняются, что затрудняет анализ развития сельских территорий. Так, в ходе муниципальной реформы 2003–2009 гг. множество поселков городского типа получили статус сельских поселений, и сельское население России увеличилось приблизительно на 1 млн человек [Глезер и др., 2008]. Позже возобладала обратная тенденция. Так, по нашим расчетам в 2018 г. вследствие преобразования в городские округа 26 муниципальных районов, а также объединения сельских поселений и включения их в состав существующих и вновь созданных городских округов общее число сельских жителей в России, наоборот, уменьшилось на 44,8 тыс. человек [О состоянии..., 2020]. Одной из причин подобных изменений является оптимизация местных бюджетов. Так, элитные загородные по-

селки упраздненного в 2019 г. Барвихинского сельского поселения (знаменитой подмосковной Рублевки) были отнесены к Одинцовскому городскому округу Московской области.

Изменения в сетке субъектов Российской Федерации учесть проще, по этим регионам доступны гораздо более полные статистические данные. Однако из-за большой площади и географической неоднородности российских регионов, а также в силу особенностей статистики, зачастую агрегированной без разделения данных по городским и сельским территориям, мелкомасштабная типология может дать слишком обобщенные результаты. В то же время они важны для оценки межрегиональных различий в сельском развитии федеральными органами власти.

Значительно более детальный типологический анализ возможен на более низком таксономическом уровне. К нему относятся 17,5 тыс. сельских и около 1,5 тыс. городских поселений [База данных показателей..., 2019]. Сельские поселения в данном случае – это низовые территориальные единицы в составе муниципальных районов или городских округов, которые включают один или несколько объединенных общей территорией сельских населенных пунктов [Об утверждении государственной программы..., 2019]. На этом уровне также много «сложных случаев»: в европейской части России в границы многих городских поселений, выполняющих функции районных центров, включены не только собственно городские территории, но и сельская местность на удалении до нескольких километров. Так, в Брянской области районный центр – город Карачев (площадь 15 км², население 17,7 тыс. человек) – объединен с 33 окружающими сельскими населенными пунктами в Карачевское городское поселение (площадь 280 км², население 24,4 тыс. человек), в то время как другой районный центр с близкой людностью – город Стародуб – является городским округом без сельских территорий [База данных показателей..., 2019; Публичная карта Росреестра, 2019].

Более точно разграничить сельские и городские территории можно при использовании данных по отдельным населенным пунктам. Таковых в России на 2010 г. насчитывалось 153,1 тыс. и 2,4 тыс. соответственно [Всероссийская перепись..., 2010]. Однако сведения о количестве населенных пунктов публикуются только на переписные даты, а многие показатели на столь дробном уровне недоступны.

Недостаточная полнота, иррегулярность и редкая периодичность сбора статистики – основные проблемы комплексной типологии сельских территорий. Главным источником статистических данных являются ежегодники Росстата и сайт этого ведомства в сети Интернет [Регионы России..., 2018; Статистическая информация..., 2019]. База данных этого ведомства по муниципальным образованиям включает весьма ограниченный набор характеристик, и даже сведения о численности населения не всегда точны [База данных показателей..., 2019].

Как отмечали опрошенные авторами статьи в 2019 г. эксперты Высшей школы экономики и Всероссийского института аграрных проблем, возможной причиной являются различия между регионами в методах сбора и обработки данных. Детальная информация в разрезе муниципальных образований собирается в рамках переписей населения и сельскохозяйственных переписей. Однако и она не всегда достоверна, поскольку основана на добровольных ответах респондентов. К тому же переписи проводятся не чаще раза в десять лет, и состав собираемых данных может меняться. Несмотря на это, приходится использовать явно устаревшие результаты Всероссийской переписи населения 2010 г. Крайне важны для характеристики агропроизводства результаты второй Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г. [Всероссийская сельскохозяйственная перепись..., 2016]. Но и они не отражают в полной мере результаты экономической деятельности сельскохозяйственных организаций [Yanbykh et al., 2019]. Отраслевая статистика относит к «сельскохозяйственным организациям» как коммерческие предприятия, так и личные подсобные хозяйства населения. Под «сельскохозяйственными землями» понимаются все земли сельскохозяйственного назначения, значительная часть которых давно не используется в агропроизводстве. В одну категорию объединены территории, занятые в рыболовстве, сельском и лесном хозяйствах. Юридическая регистрация предприятий часто не совпадает с местом их деятельности, из-за чего нельзя соотнести валовые и стоимостные показатели производства с территорией. К сожалению, официальная статистика не отражает такие крайне важные для сельской экономики явления, как отходничество и сельский туризм.

Текущую информацию о сельских территориях собирают федеральные органы исполнительной власти. Но, судя по нашему опыту взаимодействия с Министерством сельского хозяйства, научно обоснованной методики сбора и обработки такой информации нет. Зачастую на места рассылаются требования предоставить множество данных, получить которые можно лишь путем специальных социологических и иных исследований (например, количество сезонных трудовых мигрантов, источники и величина дохода сельских жителей). Собранные российскими официальными ведомствами данные не всегда размещаются в открытом доступе, хотя за рубежом они обычно общедоступны и широко используются в исследовательских целях. Примером могут служить данные, публикуемые Национальной службой сельскохозяйственной статистики США [Statistics by State..., 2019].

Типология сельских территорий России и особенно пространственная интерпретация ее результатов также значительно осложнены отсутствием общедоступной картографической основы административно-территориального деления (АТД). Единственным официальным источником является кадастровая карта Росреестра, на которой границы муниципальных образований, а иногда и субъектов Федерации не

всегда точны и состыкованы [Публичная карта Росреестра, 2019]. Отсутствие картографических сервисов не позволяет соотнести изменения в АТД на разные даты. В США, государствах ЕС и других странах векторные карты АТД вплоть до низовых муниципалитетов публикуются в открытом доступе [Geography Program..., 2019; Geographical information system..., 2019].

Несмотря на очевидные трудности, мы провели типологию сельских территорий на двух масштабных срезах: на макроуровне – для субъектов Российской Федерации и на микроуровне – для муниципалитетов Брянской области. В обоих случаях использовались исходные данные Росстата, а также данные, предоставленные федеральными органами исполнительной власти по запросу Института аграрных исследований НИУ Высшая школа экономики для проведения научно-исследовательской работы по мониторингу сельских территорий [О состоянии сельских территорий..., 2020].

Результаты исследования и их обсуждение. Сопоставление характеристик сельских территорий между субъектами Российской Федерации представляется относительно несложной процедурой вследствие доступности исходных статистических данных. Вместе с тем типологические исследования на макрорегиональном уровне заведомо огрубляют географические различия между сельскими территориями. В силу крайне широкого спектра характеристик сельских территорий – от демографии до инфраструктуры – показатели, использованные нами для типологии субъектов Российской Федерации (далее – регионы) по особенностям сельских территорий, были разделены на четыре группы. Значения показателей для трех групп приведены в табл. 1–3. Анализ показателей четвертой группы – «экономической» (стоимость сельскохозяйственной продукции в расчете на одного занятого и на единицу площади сельскохозяйственных угодий и др.) – не принес релевантных результатов. Основными причинами этого являются, на наш взгляд, неполнота данных о хозяйственной деятельности сельского населения и погрешности методики сельскохозяйственной переписи. Кроме того, во многих регионах России, включая даже наиболее «аграрные», значение сельскохозяйственного производства для сельского развития уменьшается.

Показатели первой группы характеризуют особенности «сельских» черт региона. Это доля сельского населения в общей численности населения (а), плотность сельского населения (б), средняя плотность (численность населения) сельского населенного пункта (с), доля сельских жителей, указавших в качестве источника средств существования доход от личного подсобного хозяйства (д), доля сельскохозяйственных угодий в общей земельной площади (е). В результате стандартной процедуры кластерного анализа регионы были объединены в семь кластеров (см. табл. 1).

В локализации кластеров четко выражены поясность в направлении север – юг и зональность в на-

Таблица 1

Значения показателей, характеризующих выраженность «сельских» черт у субъектов Российской Федерации

Показатель*	Единица измерения (год, к которому относятся данные)	Значения для конечных центров кластеров (номер кластера соответствует типу региона на рис. 1)						
		1	2	3	4	5	6	7
a	% (2017)	42	38	42	30	55	28	26
b	чел. /тыс. км ² (2019)	17 890	24 740	32 357	11 805	60 318	6 813	1 510
c	человек (2010)	1 045	300	1 190	270	2 229	307	430
d	% (2010)	25	49	20	29	13	26	26
e	% (2017)	73,5	56,4	53,1	64,2	61,8	55,5	14,0

Примечание: * – названия показателей приведены в тексте. Составлено авторами по данным Росстата [Региональная статистика..., 2019; Всероссийская перепись..., 2010].

Таблица 2

Значения демографических показателей, характеризующих особенности сельского населения субъектов Российской Федерации

Показатель*	Единица измерения (год, к которому относятся данные)	Значения для конечных центров кластеров (номер кластера соответствует типу региона на рис. 2)					
		1	2	3	4	5	6
g	% (2019)	25	16	32	15	26	14
f	% (2018)	68	76	71	51	73	68

Примечание: * – названия показателей приведены в тексте. Составлено авторами по данным Росстата [Региональная статистика..., 2019].

Таблица 3

Обеспеченность сельских территорий субъектов Российской Федерации дорожной, коммунальной, социальной инфраструктурой и связью

Показатель*	Единица измерения (год, к которому относятся данные)	Значения для конечных центров кластеров (номер кластера соответствует типу региона на рис. 3)							
		1	2	3	4	5	6	7	8
h	км путей на 1000 км ² (2017)	24,1	321,3	554,4	838,0	722,7	424,4	126,3	237,6
i	% (2010)	71,22	85,66	71,88	27,12	60,96	81,84	75,62	82,49
j	% (2014)	45,35	58,90	65,32	26,27	73,88	58,09	65,12	65,70
k	% (2018)	7,53	19,37	35,45	38,46	22,06	21,26	9,73	15,99
l	врачей на 10 тыс. чел. (2018)	22,18	13,14	13,84	20,00	16,53	16,80	13,93	14,96

Примечание: * – названия показателей приведены в тексте. Составлено авторами по данным Росстата [Региональная статистика..., 2019; Всероссийская перепись..., 2010].

правлении запад – восток (рис. 1). Наименьшая доля сельскохозяйственных угодий в общей земельной площади в регионах севера Европейской России, Среднего Урала, Сибири и Дальнего Востока (за исключением Алтайского края), а наибольшая – в Черноземье, житницах юга европейской части (Ставропольский край и Ростовская область), Среднем Поволжье (Татарстан, Башкортостан, Марий Эл). Максимальная плотность сельского населения – более 60 человек на км² – в Чечне и Ингушетии, в этих же регионах самая большая средняя люд-

ность сельских населенных пунктов. Высокие значения этого показателя в Московской области, Краснодарском крае, Дагестане, а самые низкие – в Нечерноземье и за Уралом. К особому кластеру отнесена Чувашия, где половина сельского населения во время переписи 2010 г. в качестве основного источника дохода указала личное подсобное хозяйство.

Характеристику демографической ситуации сельских территорий в российских регионах можно дать на основе различных показателей, однако было решено использовать два наиболее значимых из них:

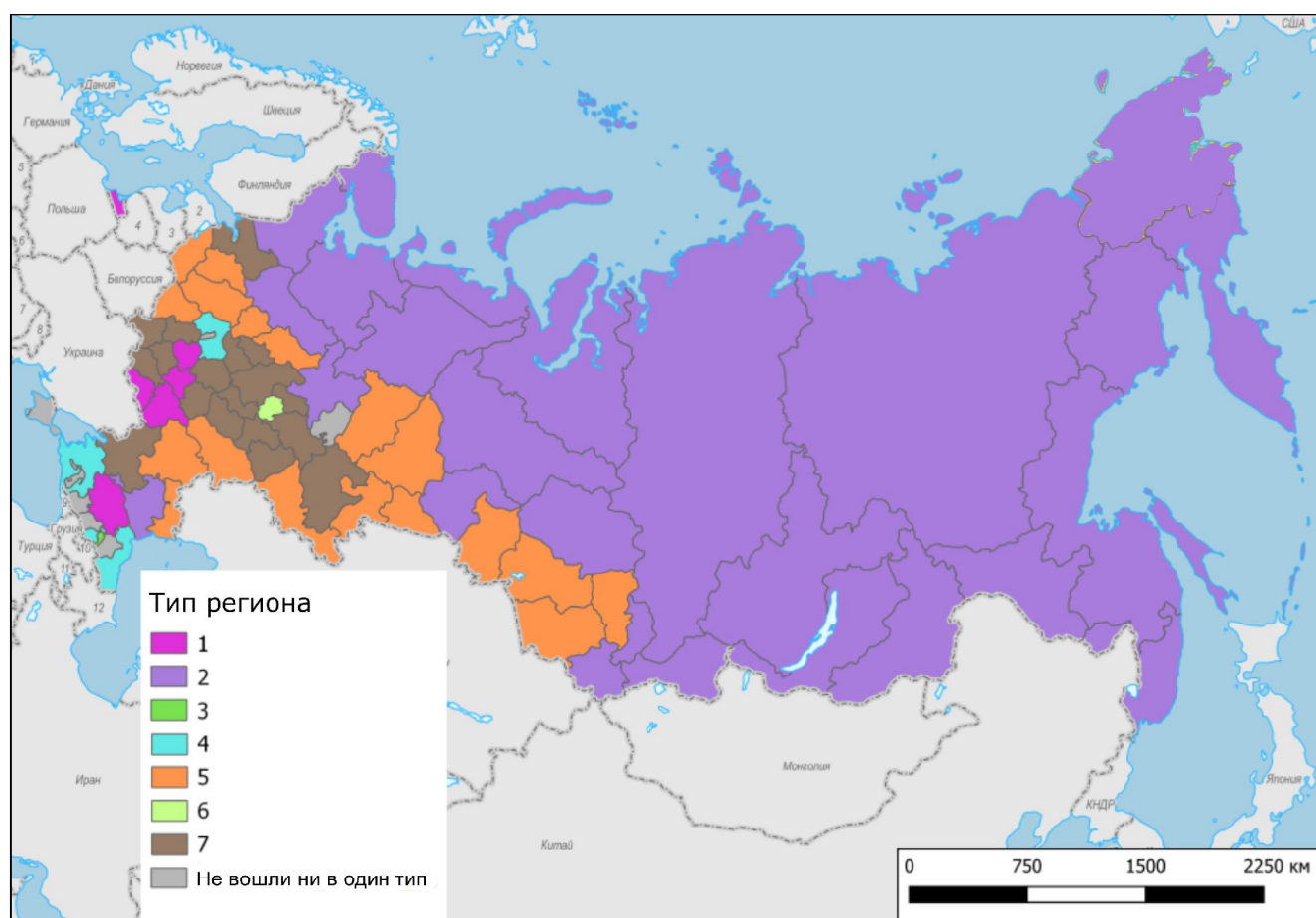


Рис. 1. Особенности «сельских» черт субъектов Российской Федерации. 1–7 – типы регионов (описание типов см. в тексте). Составлено авторами

Fig. 1. Specifics of "rural" features of the federal subjects of Russian Federation. 1–7 – types of regions (see description of types in the text). Compiled by the authors

удельный вес в сельском населении старших возрастов (f) и ожидаемую продолжительность жизни всех сельских жителей (g). Итогом стало выделение шести кластеров (см. табл. 2). Почти вся Европейская Россия занята регионами, где около трети сельского населения составляют люди в возрасте 60 лет и более, чуть меньше их доля в регионах на юге европейской части и в подстоличных областях (рис. 2). Существенно моложе сельское население в республиках Северного Кавказа и в Мурманской области. Пестрая картина наблюдается за Уралом, где выделяются различные типы регионов. Это Ямалский и Ханты-Мансийский автономные округа с более молодым сельским населением, но относительно невысокой ожидаемой продолжительностью его жизни, Якутия с более молодым и долго живущим сельским населением и Чукотка с катастрофически низкой ожидаемой продолжительностью жизни селян. Причины этих различий объясняются разной степенью вовлеченности регионов в миграционные процессы, этнической спецификой и иными факторами.

Результаты анализа обеспеченности сельских территорий транспортной, коммунальной и социаль-

ной инфраструктурами схожи с теми, которые были получены для первой группы признаков, характеризующих «сельские» черты регионов. Для этой группы были использованы следующие показатели: плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием (h), доля сельских населенных пунктов, обслуживаемых почтовой связью (i), доля сельских населенных пунктов, обслуживаемых автобусом (j), доля сельских поселений, оборудованных одновременно водопроводом, канализацией и отоплением (k), количество врачей на 10 тыс. сельских жителей (l) (см. табл. 3). Во всех северных регионах Европейской России и почти везде за Уралом плотность автодорог крайне низкая. Относительно хорошо обеспечены дорожной инфраструктурой и связью регионы центра Европейской России, чуть хуже – регионы Черноземья и Среднего Поволжья. Но даже эти относительно более благополучные регионы не отличаются достаточной обеспеченностью коммунальной инфраструктурой: в лучшем случае доля сельских территорий, оборудованных системами водопровода, канализации и отопления, составляет чуть более трети. В отдаленных северных регионах и даже на периферии основной полосы



Рис. 2. Демографические особенности сельских территорий субъектов Российской Федерации. 1–6 – типы регионов (описание типов см. в тексте). Составлено авторами

Fig. 2. Demographic features of rural areas of the federal subjects of Russian Federation. 1–6 – types of regions (see description of types in the text). Compiled by the authors

расселения она катастрофически низка и не достигает 10%.

Крупномасштабная типология позволяет гораздо точнее выявить пространственные различия в особенностях социально-экономического развития сельских территорий, однако провести ее гораздо сложнее, прежде всего, из-за нехватки исходных данных. Как правило, исследователи ограничиваются вторым – районным уровнем АТД. В нашей работе предпринята попытка типологии сельских территорий на третьем – муниципальном уровне АТД. Полигоном послужила Брянская область, которая с точки зрения особенностей сельского развития схожа со многими другими регионами Центральной России. Для нее характерны естественная убыль и миграционный отток сельского населения, дефицит муниципальных бюджетов. В Брянской области 263 муниципальных образования низового уровня – сельских и городских поселений и городских округов, причем во многих городских поселениях около четверти всех жителей официально считаются селянами, а в Карачевском – почти треть. Поэтому мы сочли административный статус недостаточным основанием для отнесения муниципалитетов к сель-

ским территориям и дополнили его следующими критериями: невысокая плотность населения (до 500 человек на км²), мелкоселенность (нет населенных пунктов людностью более 10 тыс. человек), узкая специализация хозяйственной деятельности (преобладание «негородских» видов деятельности, основанных на использовании ресурсов окружающей местности – сельского и/или лесного хозяйства); слабая обеспеченность социальными сервисами и услугами (здравоохранение, образование, торговля, государственные услуги).

При проведении типологии мы использовали наиболее доступный корпус статистических данных – демографическую статистику. Исходные данные были взяты из официальных источников [Численность населения Российской Федерации..., 2019; Численность населения Брянской области..., 2013]. Статистика муниципальных бюджетов оказалась малоприменимой для типологии. В бюджетах сельских муниципалитетов доля собственных средств крайне низка, она едва достигает нескольких процентов. Доходы и расходы местных бюджетов в расчете на одного жителя в городах Брянской области на порядок больше, а отрыв областного центра

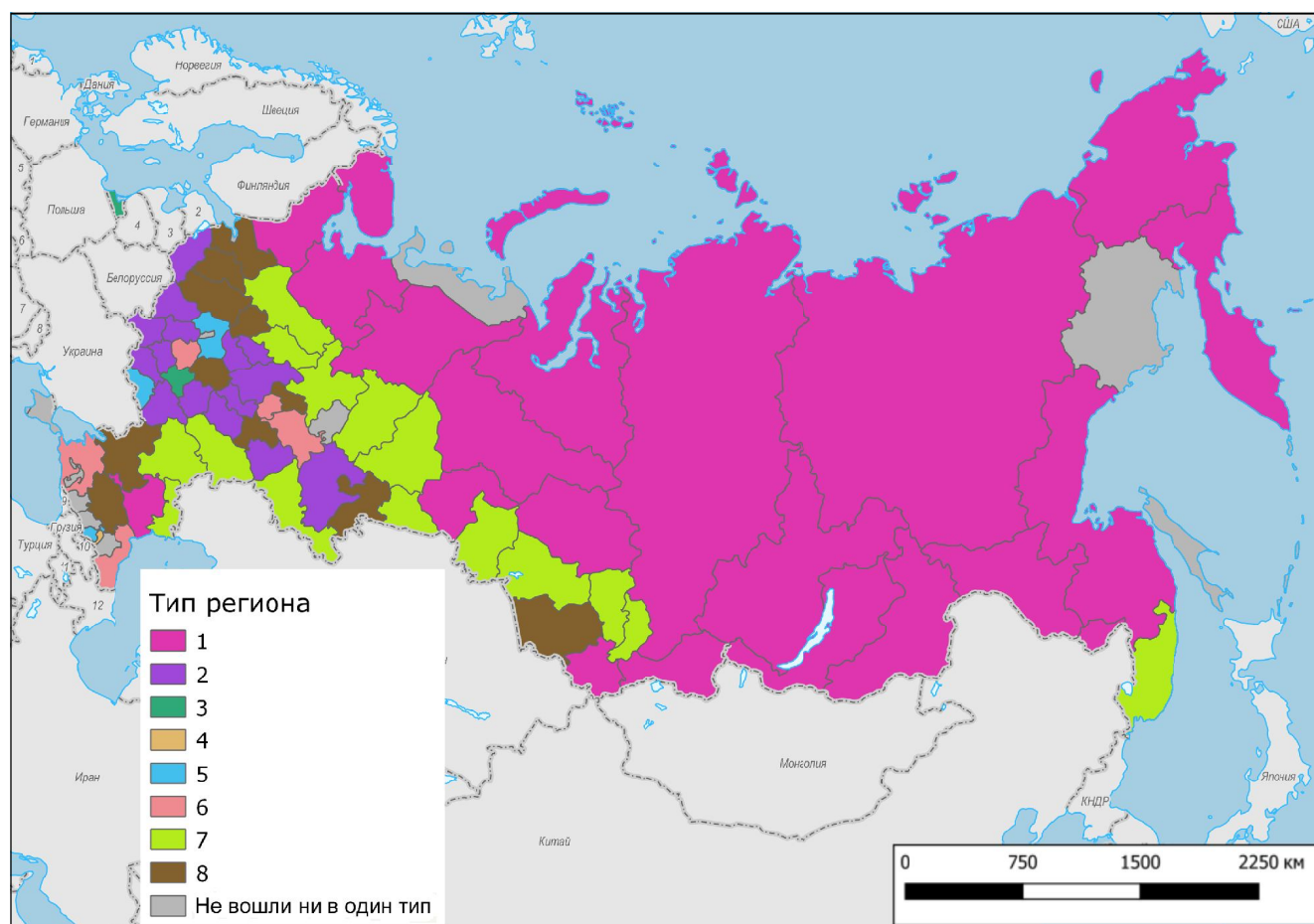


Рис. 3. Обеспеченность сельских территорий субъектов Российской Федерации дорожной, коммунальной, социальной инфраструктурой и связью. 1–8 – типы регионов (описание типов см. в тексте). Составлено авторами

Fig. 3. Availability of transport, communal, social and communication infrastructure in rural areas of the federal subjects of Russian Federation. 1–8 – types of regions (see description of types in the text). Compiled by the authors

от села почти пятидесятикратный. Поступления в местные бюджеты от уплаты единого сельскохозяйственного налога (ЕСХН) зачастую не отражают уровень развития агропроизводства, поскольку налог платится по адресу регистрации. Так, ЕСХН не играет заметной роли в бюджетах муниципалитетов Выгоничского, Почепского, Трубчевского, Жуковского районов Брянской области, где успешно развивается полевое кормопроизводство и мясное скотоводство один из крупнейших агрохолдингов – «Мираторг» [Новости..., 2019; Лебедев, Рубанов, 2011].

Рассмотрим наиболее ярко выделяющиеся на общем фоне типы муниципалитетов (рис. 4). Отличительные признаки первого типа, к которому относятся депрессивные территории, – естественная убыль населения и его миграционный отток (значения обоих показателей не менее 5%). Демографическая структура деформирована из-за высокой доли пожилых людей, интенсивность хозяйственной деятельности низкая. Географическое положение невыгодное. Крупные ареалы смежных депрессивных сельских территорий находятся в крайней западной (Красногорский и Гордеевский районы) и юго-запад-

ной (Климовский район) частях области, наиболее удаленных от областного центра и вдающихся на территории соседних Белоруссии и Украины. К депрессивным территориям относятся также сельские поселения, в административных центрах которых проживает менее 5 тыс. человек. Как правило, чем меньше людность, тем меньше набор выполняемых таким центром функций. Когда в нем всего 300–400 человек, там обычно нет полноценной школы со старшими классами, дома культуры, кафе, больших магазинов. Исчезает и жизненно важная культурная среда: немногочисленные оставшиеся жители жалуются на то, что им «не с кем общаться». Наоборот, большая людность центров сельских поселений, особенно, если она составляет 10–12 тыс. человек, способствует развитию территории. При этом значение локальных центров – городов, поселков городского типа и особенно райцентров возрастает по мере удаления от областного центра, который подавляет их влияние в зоне радиусом 20–30 км.

Для территорий двух других типов характерна стабильная численность населения или ее незначительный рост и, как следствие, лучше сбалансированная возрастная структура. Ко второму типу от-

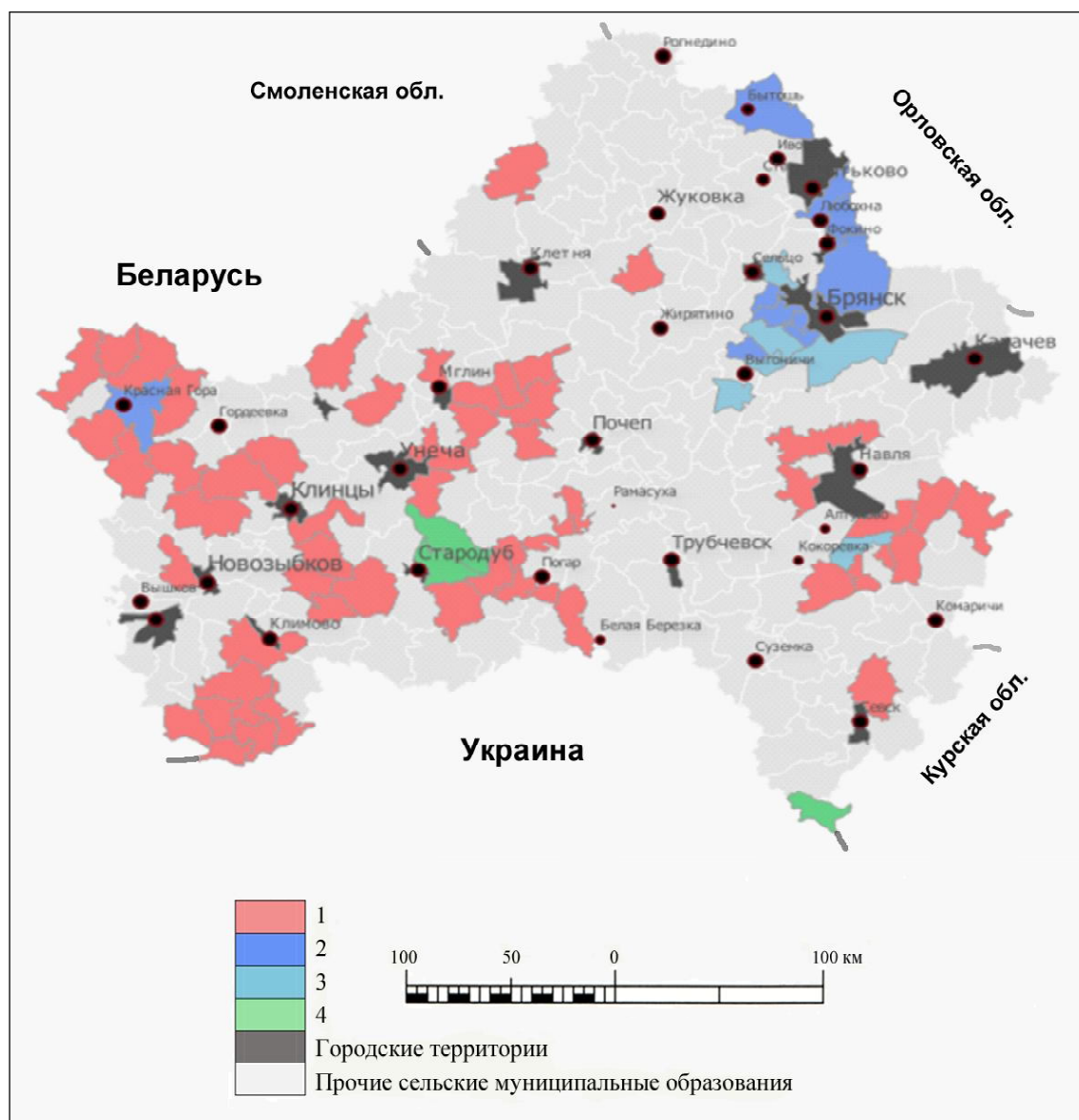


Рис. 4. Типы сельских территорий Брянской области. 1–4 – типы муниципалитетов (описание типов см. в тексте). Составлено авторами

Fig. 4. Types of rural areas of the Bryansk oblast. 1–4 – types of municipalities (see description of types in the text). Compiled by the authors

несены пригородные районы концентрации населения, где за последнее десятилетие число жителей увеличилось более чем на 5%, главным образом за счет положительного сальдо миграции. У отнесенных к третьему типу пригородных районов устойчивого развития также отмечены положительные значения естественного прироста населения и миграционного баланса, что свидетельствует об их устойчивом развитии. Но численность населения в них выросла меньше чем на 5%. Муниципалитеты второго типа сосредоточены в пригородах Брянска и в прилегающей к нему с севера «индустриальной полосе» городов и поселков городского типа Дятьковского района – Фокино, Дятьково, Бытошь, Ивот, Любохна. Вне этого ареала ко второму типу относится только одно Красногорское городское посе-

ление, куда стекаются мигранты из соседних депрессивных сельских территорий Красногорского и западной части Гордеевского районов. Ареал территорий третьего типа вытянут на юго-запад от областного центра вдоль главной транспортной магистрали области – автодороги М3 Брянск–Новозыбков–Гомель.

Муниципалитеты четвертого типа получили условное название аграрных лидеров. Это три сельских поселения: Меленское и Десятухское в Стародубском районе и Троебортное в Севском районе. В них зарегистрированы в основном выросшие из бывших колхозов и совхозов крупные сельскохозяйственные предприятия, которые пополняют местные бюджеты и поддерживают социальную инфраструктуру, что стабилизирует социально-экономическую

ситуацию. В остальных муниципалитетах области развитие сельскохозяйственного производства почти не сказывается на состоянии сельских территорий. Предприятия «Мираторга» и других агрохолдингов не являются местными резидентами, высокий уровень механизации сокращает зависимость от местных трудовых ресурсов. Используется труд квалифицированных работников из городов и районных центров, а также маятниковых мигрантов из других российских регионов и из ближнего зарубежья.

Выводы:

– авторами не ставилась цель комплексной типологии всех сельских территорий России и картографирования выделенных типов ни на макро-, ни тем более на микроуровне. Тем не менее полученные результаты позволяют в первом приближении обозначить основные проблемы типологического изучения сельских территорий России и наметить подходы к проведению типологии как полимасштабной задачи;

– самая острая проблема типологии сельских территорий – недостаточная обеспеченность исходными данными, из-за чего крайне сложно выявить динамику определяющих сельское развитие процессов. Выходом может стать опора на показатели, наиболее рельефно раскрывающие особенности сельского развития, в первую очередь демографические. Так, высокие значения суммарного коэффициента рождаемости указывают на экономическое отставание, приоритетное значение аграрного сектора, высокий уровень самозанятости и развития теневого бизнеса [Рубанов, Тикунов, 2009]. Тем самым, можно в первом приближении разделить территории с традиционным и современным укладом жизни селян, что порой важнее, чем стандартный анализ демографических и экономических параметров. Эта дихотомия имеет принципиальное значение для сельского развития;

– дополнительные различия можно выявить, анализируя среднюю продолжительность жизни, частоту разводов, количество детей на семью, распространенность социальных болезней, самоубийств, преступность. Однако возможности выбора показателей для типологии ограничены. Даже по субъектам Федерации данные о рождаемости публикуются Росстатом без деления на сельское и городское население, а многие из перечисленных характеристик просто недоступны. Показатели агропроизводства в силу объективных (диверсификация сельской экономики) и субъективных причин (трудности привязки к территории) не всегда применимы для типологии сельских территорий;

– методика проведения типологии сельских территорий различается в зависимости от таксономического уровня. Мелкомасштабный анализ показал, что ключевой фактор сельского развития – географическая удаленность – проявляется в различиях между субъектами Российской Федерации на уровне «зональных» макроконтрастов между Севером и Югом, Центром Европейской России и Зауральем. Крупномасштабный анализ позволил раскрыть на примере Брянской области различия между центрами разного уровня и их периферией и выявить гораздо более мозаичный рисунок пространственных различий в сельском развитии на внутрирегиональном уровне;

– важным направлением типологии сельских территорий, на наш взгляд, должно стать привлечение дополнительно к традиционно используемой статистике принципиально новых корпусов данных – по активности населения (телефонный биллинг, банковские операции) и данных дистанционного зондирования. Вместе со статистическими данными они могут быть интегрированы в многоуровневые профильные геоинформационные системы, что поднимет мониторинг сельского развития на качественно новый уровень.

Благодарности. В работе представлены результаты типологии сельских территорий субъектов Российской Федерации и муниципалитетов Брянской области, часть которых была получена авторами в ходе выполнения работ по теме «Научное обоснование региональной политики в отношении развития сельских территорий и сокращения сельской бедности» в Институте аграрных исследований Научно-исследовательского университета «Высшая школа экономики».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев А.И., Сафронов С.Г. Типология сельских населенных пунктов европейской части России в современной демографической и социально-экономической ситуации // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 6. С. 55–61.

Алексеев А.И., Сафронов С.Г., Савоскул М.С., Кузнецова Г.Ю. Основные тенденции эволюции сельского расселения России в XX – начале XXI в. // ЭКО. 2019. № 4. С. 26–49.

Глезер О.Б., Бородин Т.Л., Артоболевский С.С. Реформа местного самоуправления и административно-территориальное

устройство субъектов РФ // Известия РАН. Сер. геогр. 2008. № 5. С. 51–64.

Жорж П. Сельская местность. М.: Издательство иностранной литературы, 1959. 507 с.

Зубаревич Н.В. Трансформация сельского расселения и сети услуг в сельской местности // Известия РАН. Сер. геогр. 2013. № 3. С. 26–38.

Ковалев С.А. Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2003. 438 с.

Крючков В.Г. Использование земель и продовольственные ресурсы. М.: Мысль, 1987. 232 с.

Нефедова Т.Г. Сельская Россия на перепутье: географические очерки. М.: Новое изд-во, 2003. 408 с.

Нефедова Т.Г. Основные тенденции изменения социально-экономического пространства сельской России // Известия РАН. Сер. геогр. 2012. № 3. С. 5–21.

Нефедова Т.Г., Медведев А.А. Сжатие освоенного пространства в центральной части Европейской России: динамика населения и использование земель в сельской местности // Известия РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84. № 5. С. 645–659.

О состоянии сельских территорий в Российской Федерации в 2018 г. М.: Минсельхоз России, 2020. 225 с.

О ходе реализации федеральной целевой программы «Устойчивое развитие сельских территорий на 2014–2017 годы и на период до 2020 года» в 2014–2017 гг. М.: Минсельхоз России, 2018. 124 с.

Приказ об утверждении детального плана-графика реализации «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы» на 2017 год и на плановый период 2018 и 2019 годов. М.: Минсельхоз России, 2017. 66 с.

Проблемы природного и сельскохозяйственного районирования и типологии сельских местностей СССР. Материалы IX Всесоюзной межвузовской конференции по районированию и типологии сельских местностей СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 286 с.

Ракитников А.Н. Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2003. 471 с.

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018: стат. сб. М.: Росстат, 2018. 1162 с.

Рубанов И.Н., Тикунов В.С. Устойчивое развитие регионов России: интегральная оценка // Географический вестник. 2009. Т. 3. № 11. С. 69–76.

Численность населения Брянской области по муниципальным образованиям в разрезе населенных пунктов на 1 января 2013 года. 2013: стат. сб. Брянск: Брянскстат, 2013. 90 с.

Эфендиев А.Г., Болотина И.А. Современное российское село: на переломе эпох и реформ. Опыт институционального анализа // Мир России: Социология, этнология. 2002. № 4. С. 83–125.

Li Y.H., Westlund H., Liu Y.S. Why some rural areas decline while some others not: An overview of rural evolution in the world, *Journal of Rural Studies*, 2019, vol. 68, p. 145–163.

OECD. *OECD Regional Outlook 2016: Productive Regions for Inclusive Societies*, Paris, OECD Publishing, 2016, 306 p.

Torre A., Wallet F. Regional Development in Rural Areas. Analytical Tools and Public Policies, Springer, 2016, 110 p.

Yanbykh R., Saraikin V., Lerman Z. Changes in Russia's agrarian structure: what can we learn from agricultural census? *Russian Journal of Economics*, 2020, no. 6(1), p. 26–41.

Электронные ресурсы

База данных показателей муниципальных образований. URL: gks.ru/storage/mediabank/munst.htm (дата обращения 20.11.2019).

Всероссийская перепись населения 2010 года. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogil612.htm (дата обращения 12.09.2019).

Всероссийская сельскохозяйственная перепись 2016 года. Федеральная служба государственной статистики. URL: <https://rosstat.gov.ru/519> (дата обращения 22.09.2019).

Лебедев В., Рубанов И. Ковбои в брянском лесу. URL: <https://expert.ru/expert/2011/11/kovboi-v-bryanskom-lesu/> (дата обращения 25.12.2020).

Новости. Александр Богомаз и Виктор Линник подписали инвестиционные соглашения между Брянской областью и ООО «Брянская мясная компания». Правительство Брянской области. URL: <http://www.bryanskobl.ru/news/2019/02/14/9793> (дата обращения 19.11.2019).

Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Комплексное развитие сельских территорий» и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации / Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/554801411> (дата обращения 20.11.2019).

Публичная карта Росреестра. URL: <https://pkk5.rosreestr.ru> (дата обращения 17.09.2019).

Региональная статистика / Федеральная служба государственной статистики. URL: https://www.gks.ru/regional_statistics (дата обращения 22.09.2019).

Статистическая информация о социально-экономическом развитии сельских территорий Российской Федерации / Федеральная служба государственной статистики. URL: gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sel-terr/sel-terr.html (дата обращения 17.09.2019).

Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям (на 1 января 2019 г.) / Федеральная служба государственной статистики. URL: http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce (дата обращения 19.11.2019).

Geographical information system of the Commission (GISCO). Eurostat, URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Geographical_information_system_of_the_Commission_\(GISCO\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Geographical_information_system_of_the_Commission_(GISCO)) (дата обращения 12.09.2019).

Geography Program. Interactive Maps. United States Census Bureau, URL: <https://www.census.gov/programs-surveys/geography/data/interactive-maps.html> (дата обращения 15.09.2019).

OECD: The New Rural Paradigm: Policies and Governance, URL: <https://www.oecd.org/cfe/regional-policy/thenewruralparadigmpoliciesandgovernance.htm> (дата обращения 20.11.2019).

Statistics by State. United States Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service, URL: https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/ (дата обращения 17.09.2019).

Поступила в редакцию 10.11.2020

После доработки 15.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

A.S. Naumov^{1,2}, I.N. Rubanov³, N.H. Ablyazina⁴

NEW APPROACHES TO THE TYPOLOGY OF RURAL AREAS OF RUSSIA

In many countries approaches to the assessment of the potential of development in rural areas have been changed, which was reflected in the state policy. This research field is extremely important for Russia, primarily because of the geographical contrasts of its vast territory. In 2019 the state program of integrated development of rural areas was first adopted in the country. An important tool to reveal disparities in rural development is the typology of rural areas. The paper focuses on the issues of typological studies of rural areas with regards to Russian specifics and presents the results of their typology at different scales. Different impact of the factors of spatial differentiation of rural development was described for two levels, i. e. between the subjects of the Russian Federation and municipalities of the Bryansk oblast. Different variables were analyzed at the macro level. Some of them characterize features of the "rurality" of regions. Spatial distribution of the types, determined with the cluster method, clearly demonstrates longitudinal and latitudinal zonation. The southern agrarian and the northern non-Chernozem regions belong to different types. High percentage of aged population is a specific demographic feature in most regions of European Russia. Other regions are specific in their involvement in migration flows and ethnic composition. Rural areas of the central European part are better provided with transport, social and communal infrastructure. However, rural areas equipped with running water, sanitation, and central heating systems account for just one-third of the territory even in the most successful regions. The availability of infrastructure is extremely poor on the periphery, and, especially, in the North. The natural increase of population and the migration balance were used as indicators for typology of rural areas of the Bryansk oblast on micro level. Four types of municipalities were identified, i. e. depressive periphery, sustainable developing and stable peri-urban, and agrarian leaders.

Key words: regional development, types of rural areas, multiscale studies

Acknowledgements. The paper presents the results of typology of rural areas in the federal subjects of the Russian Federation and municipalities of the Bryansk oblast, partly obtained by the authors during research on the theme "Scientific foundations of regional policy for development of rural areas and rural poverty mitigation", realized by the Institute of Agrarian Studies of the HSE University.

REFERENCES

- Alekseev A.I., Safronov S.G. Tipologiya sel'skix naselenny'x punktov evropejskoj chasti Rossii v sovremennoj demograficheskoj i social'no-ekonomicheskoj situacii [Typology of rural settlements in the European part of Russia under recent demographic and socio-economic situation], *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geogr.*, 2017, no. 6, p. 55–61. (In Russian)
- Alekseev A.I., Safronov S.G., Savoskul M.S., Kuznecova G.Yu. Osnovny'e tendencii e'volucii sel'skogo rasseleniya Rossii v XX – nachale XXI v. [The Main Trends in the Evolution of Rural Settlement in Russia in the 20th – early 21st Centuries], *E'KO*, 2019, no. 4, p. 26–49. (In Russian)
- Chislennost' naseleniya Bryanskoj oblasti po municipal'ny'm obrazovaniyam v razreze naselenny'x punktov na 1 yanvarya 2013 goda [Population numbers of municipalities of the Bryansk oblast showing individual settlements as on January 1, 2013], 2013, Stat. sb., Bryansk, Bryanskstat Publ., 2013, 90 p. (In Russian)
- E'fendiev A.G., Bolotina I.A. Sovremennoe rossijskoe selo: na perelome e'pox i reform. Opy't institucional'nogo analiza [Modern Russian village: at the edge of epochs and reforms. An attempt of the institutional analysis], *Mir Rossii: Sociologiya, e'tnologiya*, 2002, no. 4, p. 83–125. (In Russian)
- George P. La campagne. Le fait rural a travers le monde, Paris, 1956.
- Glezer O.B., Borodina T.L., Artobolevskij S.S. Reforma mestnogo samoupravleniya i administrativno-territorial'noe ustrojstvo sub'ektov RF [Local Self-Governmental Reform and Administrative Territorial System of the Subjects of the Russian Federation], *Izvestiya RAN. Ser. geogr.*, 2008, no. 5, p. 51–64. (In Russian)
- Kovalev S.A. *Izbranny'e trudy* [Selected works], Smolensk, Ojkumena Publ., 2003, 438 p. (In Russian)
- Kryuchkov V.G. *Ispol'zovanie zemel' i prodovol'stvenny'e resursy* [Land use and food supplies], Moscow, Mysl' Publ., 1987, 232 p. (In Russian)
- Li Y.H., Westlund H., Liu Y.S. Why some rural areas decline while some others not: An overview of rural evolution in the world, *Journal of Rural Studies*, 2019, vol. 68, p. 145–163.
- Naumov A.S., Kuzina I.M., Rakitnikov A.N. [Typology of the world agriculture], *Problemy prirodnogo i sel'skoxozyajstvennogo*

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Social and Economic Geography of Foreign Countries, Head of Department, PhD in Geography; e-mail: anaumov@geogr.msu.ru

² HSE University, Institute for Agrarian Studies, Department for Rural Development Studies, Head of Department; e-mail: asnaumov@hse.ru

³ HSE University, Institute for Agrarian Studies, Department for Rural Development Studies, Expert, PhD in Geography; e-mail: rubanovin@yandex.ru

⁴ Autonomous state institution "Research and Design Institute of Moscow Urban Planning", Scientific-Methodical Division, Specialist; e-mail: nellykluchkovskaya@gmail.com

rajonirovaniya i tipologii sel'skix mestnostej SSSR [Issues of natural and agricultural regionalization and typology of rural areas of the USSR], Materialy IX Vsesoyuznoj mezhvuzovskoj konferencii, Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1987, p. 197–202. (In Russian)

Nefedova T.G. Osnovny'e tendencii izmeneniya social'no-ekonomicheskogo prostranstva sel'skoj Rossii [Major trends for changes in the socio-economic space of rural Russia], *Izvestiya RAN. Ser. geogr.*, 2012, no. 3, p. 5–21. (In Russian)

Nefedova T.G. *Sel'skaya Rossiya na pereput'e: geograficheskie ocherki* [Rural Russia at the crossroads: geographical essays], Moscow, Novoe izd-vo Publ., 2003. (In Russian)

Nefedova T.G., Medvedev A.A. Szhatie osvoennogo prostranstva v central'noj chasti Evropejskoj Rossii: dinamika naseleniya i ispol'zovanie zemel' v sel'skoj mestnosti [Shrinkage of active space in Central Russia: population dynamics and land use in countryside], *Izvestiya RAN. Ser. geogr.*, 2020, vol. 84, no. 5, p. 645–659. (In Russian)

O sostoyanii sel'skix territorij v Rossijskoj Federacii v 2018 g. [On the state of rural areas in the Russian Federation in 2018], Moscow, Minsel'khoz Rossii Publ., 2020, 225 p. (In Russian)

O khode realizacii federal'noj celevoj programmy "Ustojchivoe razvitie sel'skix territorij na 2014–2017 gody" i na period do 2020 goda" v 2014–2017 gg. [About the realization of the Federal Program on the "Sustainable development of rural area in 2014–2017 and till 2020" in 2014–2017], Moscow, Minsel'khoz Rossii Publ., 2018, 124 p. (In Russian)

OECD Regional Outlook 2016: Productive Regions for Inclusive Societies, Paris, OECD Publishing, 2016, 306 p.

Prikaz ob utverzhdenii detal'nogo plana-grafika realizacii "Gosudarstvennoj programmy razvitiya sel'skogo xozyajstva i regulirovaniya ry'nkov sel'skoxozyajstvennoj produkcii, sy'r'ya i prodovol'stviya na 2013–2020 gody" na 2017 god i na planovyj period 2018 i 2019 godov [Order on approval of the execution plan for the "State program of agriculture development and regulation of agricultural markets in 2013–2020" into 2017 and further in 2018 and 2019], Moscow, Minsel'khoz Rossii, 2017, 66 p. (In Russian)

Rakitnikov A.N. *Izbranny'e trudy* [Selected works], Smolensk, Ojkumena Publ., 2003, 471 p. (In Russian)

Regiony' Rossii. Social'no-ekonomicheskie pokazateli [Regions of Russia. Socio-economic indicators], 2018, Stat. sb., Moscow, Rosstat Publ., 2018, 1162 p. (In Russian)

Rubanov I.N., Tikunov V.S. Ustojchivoe razvitie regionov Rossii: integral'naya ocenka [Sustainable development of the regions of Russia: integral assessment], *Geogr. vestnik*, 2009, vol. 3, no. 11, p. 69–76.

Torre A., Wallet F. *Regional Development in Rural Areas. Analytical Tools and Public Policies*, Springer, 2016, 110 p.

Yanbykh R., Saraikin V., Lerman Z. Changes in Russia's agrarian structure: what can we learn from agricultural census? *Russian Journal of Economics*, 2020, no. 6(1), p. 26–41.

Zubarevich N.V. Transformation of the rural settlement pattern and social services network in rural areas, *Regional Research of Russia*, 2013, vol. 3, no. 3, p. 221–233.

Web sources

Baza danny'x pokazatelej municipal'ny'x obrazovanij, URL: gks.ru/storage/mediabank/munst.htm (access date 20.11.2019). (In Russian)

E'lektronnyj fond pravovoj i normativno-texnicheskoj dokumentacii: Ob utverzhdenii gosudarstvennoj programmy Rossijskoj Federacii "Kompleksnoe razvitie sel'skix territorij" i o vnesenii izmenenij v nekotory'e akty Pravitel'stva Rossijskoj Federacii, URL: <http://docs.cntd.ru/document/554801411> (access date 20.11.2019).

Eurostat: Geographical information system of the Commission (GISCO), URL: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Geographical_information_system_of_the_Commission_\(GISCO\)](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Geographical_information_system_of_the_Commission_(GISCO)) (access date 12.09.2019).

Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki: Chislennost' naseleniya Rossijskoj Federacii po municipal'ny'm obrazovaniyam (na 1 yanvarya 2019 g.), URL: http://old.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/afc8ea004d56a39ab251f2bafc3a6fce (access date 19.11.2019).

Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki: Regional'naya statistika, URL: https://www.gks.ru/regional_statistics (access date 22.09.2019).

Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki: Statisticheskaya informaciya o social'no-ekonomicheskom razviti sel'skix territorij Rossijskoj Federacii, URL: gks.ru/free_doc/new_site/region_stat/sel-terr/sel-terr.html (access date 17.09.2019).

Lebedev V., Rubanov I. Kovboi v bryanskom lesu, URL: <https://expert.ru/expert/2011/11/kovboi-v-bryanskom-lesu/> (access date 21.11.2019). (In Russian)

OECD: The New Rural Paradigm: Policies and Governance, URL: <https://www.oecd.org/cfe/regional-policy/thenewruralparadigmpoliciesandgovernance.htm> (access date 20.11.2019).

Pravitel'stvo Bryanskoj oblasti: Novosti. Aleksandr Bogomaz i Viktor Linnik podpisali investicionny'e soglasheniya mezhdu Bryanskoj oblast'yu i OOO "Bryanskaya myasnaya kompaniya", URL: <http://www.bryanskobl.ru/news/2019/02/14/9793> (access date 19.11.2019).

Publichnaya karta Rosreestra [E'lektronnyj resurs], URL: <https://pkk5.rosreestr.ru> (access date 17.09.2019).

Vserossiyskaya perepis' naseleniya 2010. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki, URL: https://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm (access date 12.09.2019).

Vserossiyskaya sel'skoxozyajstvennaya perepis' 2016 goda. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki, URL: <https://rosstat.gov.ru/519> (access date 22.09.2019).

United States Census Bureau: Geography Program. Interactive Maps, URL: <https://www.census.gov/programs-surveys/geography/data/interactive-maps.html> (access date 15.09.2019).

United States Department of Agriculture. National Agricultural Statistics Service: Statistics by State, URL: https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/ (access date 17.09.2019).

Vserossiyskaya sel'skoxozyajstvennaya perepis' 2016, URL: <http://www.vshp2016.ru/resume/> (access date 22.09.2019).

Received 10.11.2020

Revised 15.12.2020

Accepted 21.01.2021

УДК 911.6:53.04

А.Н. Пилясов^{1,2}, Поляченко А.Е.³**РАЙОННЫЙ ЭФФЕКТ: ПРОБЛЕМНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ И ПРАКТИКИ**

В статье привлечено внимание к районному эффекту, действующему на пространствах России. После работ экономико-географов советского времени в разработке районного эффекта в 1990–2000-е гг. возникла пауза: основное внимание теперь уделяется агломерационному эффекту. Между тем экономический район и связанные с ним экономические эффекты продолжают существовать, но используются преимущественно крупными корпоративными структурами. По оценкам авторов, величина районного эффекта может составлять миллиарды рублей, которые недополучает государство и общество. Современный промышленный район России, в котором формируются основные районные эффекты, отличается и от классического экономического района Н.Н. Колосовского, и от зарубежных аналогов – промышленных районов Маршалла–Бекаттини. Он утратил комплексную природу, приобрел микроспециализацию, обращенную не только на национальный, но нередко и на глобальный рынок, его скрепляют теперь не только наземная транспортная инфраструктура, но и воздушные, информационно-коммуникационные сети и технологическая близость, опирающаяся на временную географическую близость. Диаметр такого района варьирует в зависимости от степени концентрации конкретной отрасли от 300 до 600+ км. Стоит задача: обеспечить умное хозяйственное замыкание различных участков российского пространства в единые промышленные районы с получением экономических эффектов в интересах государства и общества. Меры активной государственной политики должны, с одной стороны, формировать инфраструктурные и другие условия для полноценной манифестации районного эффекта на пространствах России; с другой стороны, изымать часть созданной на районном эффекте прибыли корпораций в интересах сбалансированного развития страны и ее регионов. Конструктивной может быть синергия от совместного использования агломерационного эффекта в городских пространствах основной зоны расселения – местах размещения ведущих центров российского машиностроения – и районного эффекта, получаемого ресурсными корпорациями в северных и арктических районах, в результате государственного поощрения межфирменной контрактиции предприятий «севера» и «центра».

Ключевые слова: экономическое районирование, промышленные районы, государственная политика

Введение. Актуальность обращения к районному эффекту в современной тематике экономико-географических и регионально-экономических исследований обусловлена многочисленными разрывами в цепочках хозяйственных связей предприятий, слабостью или полным отсутствием внутрорегиональной и межрегиональной хозяйственной кооперации. Современные императивы геополитически мотивированного импортозамещения диктуют необходимость возвращения части ранее поспешно отданных за рубеж технологических цепочек выпуска стратегической продукции назад, в Россию. Это будет означать усиление тенденции к районному замыканию ранее раскрытых в глобальный внешний мир связей. Значит, количество мест в России с явными манифестациями районного эффекта неизбежно будет возрастать.

Актуальность усилий государства по раскреплению районного эффекта определяется современной практикой многочисленных межкорпоративных конфликтов, которые стоят стране очень дорого. Речь идет о конфликтах «Роснефти» и «Лукойла» по

условиям доступа к врандейскому терминалу «Лукойла» в Ненецком автономном округе, о спорах «Газпрома» и «НоваТЭКа» по необходимости железной дороги Бованенково–Сабетта и условиям ее финансирования и др. Активная роль государства способна обеспечить получение народнохозяйственного эффекта на синергии корпоративных усилий и предотвращении расточительного инфраструктурного дублирования. Современное устранение государства от своей роли активного регулятора «над схваткой», наоборот, оборачивается многомиллиардной расточительностью.

Цель нашего исследования состояла в обосновании значимости районного эффекта для современного экономического развития страны. Она определила необходимость решения трех задач: 1) определение новой природы районного эффекта по сравнению с советским временем; 2) сравнение районного и агломерационного эффекта; 3) оценка величины районного эффекта на примере новых проектов компании «Роснефть» (кластер проектов «Восток ойл», или ванкорский кластер).

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: pelyasov@mail.ru

² Институт регионального консалтинга, генеральный директор.

³ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», факультет экономических наук, магистрант; e-mail: apolyachenko@gmail.com

Материалы и методы исследования. Для обоснования главного вывода статьи о значительном потенциале районного эффекта для современного развития российской экономики был проведен ретроспективный анализ советского теоретического наследия, сравнительный анализ агломерационного и районного эффектов, феномена промышленного района за рубежом и в России.

Значимость районного эффекта для развития страны в научной литературе впервые была отмечена в статье Н.Н. Колосовского [Колосовский, 1947, с. 139]. В ней он увязывался с «сочетанием предприятий в одной промышленной точке или в целом районе, при котором достигается определенный экономический эффект за счет удачного (планового) подбора предприятий в соответствии с природными и экономическими условиями района, с его транспортным и экономико-географическим положением». В практической деятельности признание пользы от районного эффекта для быстрого осуществления индустриализации аграрной страны произошло еще в 1920-е гг., в период реализации планов ускоренной электрификации (ГОЭЛРО) [Экономическое районирование..., 1922; Александров, 1921, 1924; Районирование СССР..., 1926].

Научная идея Н.Н. Колосовского о конструктивности районного эффекта для развития страны была настолько основополагающей, что вплоть до 1970-х гг. многочисленные научные школы экономико-географов и региональных экономистов проводили в жизнь принципы экономического районирования и территориального производственного комплексирования для получения конструктивных для экономики пространственных эффектов. Получение народным хозяйством районного эффекта в советское время увязывалось с планомерным намеренным государственным воздействием на размещение предприятий, т. е. с удачным подбором сочетаний предприятий в большом, энергетически, демографически, экономически самодостаточном экономическом районе.

По мере укрепления отраслевого планирования и власти союзных ведомств в позднесоветское время вопросы экономического районирования страны становились все более формализованными и отрывались от той конструктивности, которая была заложена Н.Н. Колосовским. Неудивительно, что из работ экономико-географов и региональных экономистов 1980-х гг. ушла тема районного эффекта, а в работах экономистов Госплана СССР в качестве двигателей развития чаще упоминались отрасли, а не экономические районы; и народнохозяйственный, а не районный эффект от рациональной территориальной организации предприятий.

Первые годы либеральной экономической реформы в связи с глубоким общенациональным экономическим кризисом отодвинули тему экономических эффектов, получаемых от размещения производительных сил в пространстве. В нулевые годы под влиянием произошедших территориальных сдвигов, в которых важнейшую роль сыграли «естествен-

ные» факторы выгодного экономико-географического положения, климатической комфортности, крупных потребительских рынков, на фоне резкого ослабления государственного регулирования межрегиональных пропорций, в российской экономике получило развитие представление об агломерационном эффекте – центростремительной силе крупных городских агломераций и метрополитенских рынков труда.

Другим влиятельным интеллектуальным представлением стала идея о том, что в «нематериальную» постиндустриальную эпоху само экономическое районирование (и, следовательно, районный эффект) теряет смысл, потому что экономические факторы развития общества растворяются в более общих социокультурных: как можно районировать то, что сегодня, в сервисную эпоху, составляет менее половины ВВП страны и обеспечивает малую толику общей занятости? Получило развитие представление об «интегральных» социальных (вернакулярных) районах, районировании общества, а не хозяйства [Смирнягин, 2005].

Нам представляется, что главным в дискуссии о районном эффекте и о самом экономическом районировании является не противопоставление современной «сервисной» эпохи прежней индустриальной, а противопоставление либеральной англосаксонской рыночной модели [Смит, 2007; Рикардо, 1955], которая опирается в пространстве на самозапускаемые силы агломерационного эффекта, и «дирижистской» модели, идущей от немецкой школы политической экономии [Лист, 2017], которая исходит из представления о национальных производительных силах и необходимости государства активно на них влиять, в российском случае – в контуре районных хозяйственных комплексов. Авторы убеждены, что для динамичного развития российской экономики недостаточно опираться только на автоматически действующие агломерационный эффект и силы глобализации, но требуется активное участие государства в раскрепощении районного эффекта в результате целенаправленного воздействия на пространственное поведение крупных, средних и малых хозяйственных структур.

Новая природа районного эффекта. В работах советских экономико-географов [Колосовский, 2006; Алампиев, 1959; Четыркин, 1967; Белоусов, 1976; Чистобаев, 1980; Агафонов, Чистобаев, 1984; Бандман, 2014; Шувалов, 2016] в неявном виде содержатся многочисленные подсказки, как переинтерпретировать феномен экономического районирования и районный эффект для современных условий развития России, как понять новую природу современного районного эффекта. При этом наших предшественников преимущественно интересовал более общий вопрос народнохозяйственной эффективности районирования как метода территориального планирования рациональной организации государственных производительных сил, а нас интересует районный эффект, получаемый от сопряжения в конкретном пространстве производительных сил, находящихся теперь у различных собственников.

Принцип историзма, о котором говорили классики советской экономической географии (Н.Н. Баранский [1980] и др.), учит понимать любое экономико-географическое явление в конкретном историческом контексте. Конкретные формы проявления районного эффекта сегодня принципиально другие, чем в советское индустриальное время. Но нельзя потерять идеи конструктивности, обращенности в будущее, управленческий государственный приоритет экономического районирования как инструмента региональной политики и территориального планирования, каковым оно было в советское время. Нельзя ключевое понятие советской экономической географии свести до уровня элемента познания реальности российских пространств.

И.В. Никольский [2009], осовременивая идеи Н.Н. Колосовского для позднесоветской эпохи, дает ключ для понимания главного вектора современных преобразований в экономическом районировании и районном эффекте в своей констатации, а именно: НТР ускоряет процессы концентрации производства, которые приводят к уменьшению размеров производственно-территориальных комплексов и разукрупнению прежних «больших» экономических районов; приводит к формированию новых и меняет специализацию существующих экономических районов [Никольский, 1976].

Вместо «большого» экономического района как целостного самодостаточного производственного комбината, обладающего определенной макроспециализацией и занимающего место в географическом разделении труда в стране, возникает «малый» экономический район, вписанный своей микроспециализацией не только в национальный, но и в глобальный рынок [Пилясов, 2010, 2013]. Размер этого нового экономического района может гибко варьировать (быть в одних случаях крупным, в других – мезо, в-третьих – микро/внутрирегиональным), если творчески интерпретировать идею иерархии экономических районов [Колотиевский, 1967]⁴.

Углубление специализации и разделение труда, о котором писали практически все экономико-географы в позднесоветскую эру, означает, что новый экономический район формируется не на фундаменте межотраслевого комплексирования, а в результате пространственного сочетания технологически сопряженных видов экономической деятельности, потенциально формирующих его глобальную микроспециализацию. Компактность и мобильность современных технологий определяет подвижность границ и общее уменьшение размеров нового экономического района.

Именно А.Т. Хрущев однозначно соединил экономическое районирование с развитием промышленности, с промышленным районированием [Хрущев, 2010]. Это ставит нас в ситуацию выбора: современный промышленный сектор играет несопоставимо меньшую роль в валовом внутреннем продук-

те страны и общей занятости по сравнению с индустриальным временем Н.Н. Колосовского. Так верно ли увязывать новый экономический район и районные эффекты с развитием промышленности?

По сравнению с производственным и социальным сервисом промышленное производство имеет существенно более осязаемый и самостоятельный характер (услуги «прикреплены» либо к субстрату материального производства, либо к домохозяйству, поэтому их размещение имеет производный характер). Как показывают современные реалии новой индустриализации ведущих стран мира (США, Германии, Китая), роль промышленности вовсе не исчерпана в креативную эпоху, и материальное производство рано списывать со счетов. Промышленность является основным генератором инноваций в российской экономике. Нельзя приурочить экономическое районирование к сервису, но нужно учитывать возрастающую роль производственных услуг, в том числе цифровых, в современном материальном производстве.

Присущее району межотраслевое разнообразие уходит теперь в города. Комплексность прежнего большого экономического района утрачивается в новом районе, существенно меньшем по площади и обращенном своей микроспециализацией не только на национальный, но и на глобальные рынки. Этому способствуют процессы аутсорсинга.

В советской экономике весь районный эффект получало государство в лице отраслевых ведомств. Теперь в большинстве случаев он присваивается частными крупными и малыми компаниями, а государство нередко несет издержки по инфраструктурному (транспортному, энергетическому, телекоммуникационному и др.) обустройству района. В этом случае возникает негативный феномен приватизации прибыли и социализации убытков. Требуются государственные меры в области территориального планирования, чтобы, с одной стороны, формировать условия для получения районного эффекта на пространствах России; с другой стороны, изыятия части созданной на районном эффекте корпоративной прибыли мерами активной региональной политики.

Агломерационный и районный эффект. В советское время в результате усилий ведущих экономико-географов страны активно развивалась и разрабатывалась тема экономического районирования и связанного с ней районного эффекта. С другой стороны, локальный агломерационный эффект, получаемый как итог концентрированного взаимодействия субъектов производства и экономики в черте крупного города и пригородной зоны, находился как бы в тени исследовательского интереса, и о нем писали мало.

Например, блестящий исследователь проблем размещения промышленности в позднесоветскую индустриальную эру А.Е. Пробст писал об эконо-

⁴ Отметим также предпринятую попытку уменьшения размеров экономического района в монографии [Лейзерович, 2004], которая отражает логику И.В. Никольского, что в инновационную эпоху размер экономического района должен быть меньше.

мическом эффекте от сопряженного размещения отдельных предприятий и сетовал на то, что «многие теряли этот эффект на локальном уровне, видели только на районном...» [Пробст, 1971, с. 31]. Ирония состоит в том, что в современной России как раз наоборот – исследователи больше озабочены изучением локального, агломерационного эффекта от размещения фирм [Чистяков и др., 2018; Лавриненко и др., 2019], а о районном эффекте, исключительно важном для большой страны, абсолютно забыли.

В результате российское пространство в современных картографических и эконометрических моделях «рассыпается» до 12–15 ареалов крупнейших городских агломераций, а вся остальная территория рассматривается как гигантское белое пятно, периферия, на которой не действуют силы рыночного саморазвития. И если для плотно заселенной Европы такой либеральный подход не несет больших издержек, то для России он оказывается абсолютно разрушительным.

Между тем особенность пространства России как раз состоит в том, что на фоне недостаточности крупных городов и городских агломераций здесь вынужденно сравнительно сильнее, чем в плотно заселенных странах, действует районный эффект, запускаемый как субъектами рынка в лице крупных корпораций, так и инфраструктурными усилиями государства, которые создают общую платформу для деятельности находящихся в конкуренции и кооперации производственных структур.

Что является сегодня важнейшей предпосылкой, условием получения компаниями районного эффекта? Для агломерационного эффекта такой предпосылкой выступают Джейкобс-экстерналии, как результат разнообразия среды крупных городов мира, возможностей плотной личной коммуникации талантливых творческих людей, из которой «высекается» креативность и инновационность экономических процессов, видов деятельности, бизнесов.

Для районного эффекта (помимо общей инфраструктуры) благоприятной предпосылкой выступают МЭР-экстерналии [Синергия пространства..., 2012], связанные с технологической близостью – общностью однородных или тесно связанных друг с другом видов экономической деятельности, которые базируются на временной географической близости в результате командировок, вахтования, других эпизодических миграций квалифицированных кадров. Именно в контуре района как пространства большей площади, чем крупная городская агломерация, но меньшей, чем, например, макрорегионы Урала, Сибири, Дальнего Востока, Центра и др., активно работают перетоки технологического знания в виде миграций квалифицированных кадров [Синергия пространства..., 2012].

Исследования зарубежных коллег подтверждают, что в европейских регионах среднее расстояние перетоков технологического знания (трансфера технологий) между фирмами (определено по патентным цитированиям) составляет около 600 км и меняется

в зависимости от конкретной отрасли / вида экономической деятельности: от минимальных значений в 300 км в традиционных отраслях, например легкой промышленности (производство обуви и др.), до 625 км в наукоемкой промышленности (производство компьютеров и др.) [Paci, Usai, 2009]. В российском случае корпоративные центры подготовки и переподготовки кадров располагаются на расстоянии в 300–500 км от производственных участков (например, г. Югорск как центр ООО «Газпром трансгаз Югорск» и поселок Приполярный, где расположено Уральское линейно-производственное управление магистральных газопроводов).

Технологическая близость, общая база компетенций – вот то, что крепит экономический район и создает условия для получения районного эффекта. Например, известно, что геологи и горняки, работающие на месторождении «Купол» компании «Кинросс Голд» на Чукотке, ранее были заняты на месторождении Кубака соседней Магаданской области. Их трудовая миграция с одного производственного объекта на другой в соседнем регионе обеспечила быстрый переток технологического знания для запуска нового проекта.

Такой подход возвращает технологическую трактовку районного эффекта, которая была у его теоретического основоположника Н.Н. Колосовского, но в последующих работах экономико-географов была утрачена. Технологическая близость опирается на временную (эпизодическую) географическую близость (формат личной коммуникации хотя бы раз в месяц) и до двух часов путешествие высокоскоростным транспортом (самолет, вертолет, высокоскоростной поезд) или однодневный пробег на автомашине. Технологическую близость и районный эффект можно считать вторым пиком интенсивности коммуникации. Первый пик основан на агломерационном эффекте и регулярном очном общении, которые обеспечивает постоянная географическая близость внутри контура местного рынка труда диаметром 100–120 км [Regional Development..., 2014]. Во многих случаях технологическая близость укрепляется общим корпоративным контуром, например принадлежностью предприятия «Апатиты» города Апатиты находящейся в Череповце «Северстали».

Традиционно и зарубежные, и российские работы увязывают инновационную деятельность с плотной концентрацией агентов экономики в пространстве городских агломераций, особых экономических зон, бизнес-инкубаторов и технопарков. В этой связи возникает вопрос: всегда ли инновационный процесс оказывается локализованным в пространстве и привязанным исключительно к агломерационному эффекту? Может ли районный эффект, который проявляется на больших пространствах одного или нескольких регионов, нести в себе инновационные черты? Один ответ на этот вопрос был дан ранее с позиций трансфера технологий, который часто осуществляется не в рамках местного рынка труда или городской агломерации, а в более широком районном контуре.

Другой ответ связан с разной степенью концентрации в пространстве различных видов экономической деятельности (например, машиностроение склонно к большей концентрации, чем металлургия, а металлургия – к большей, чем добыча россыпного золота или нефти). Для производств, которые развертываются в контуре городской агломерации, действительно, большая инновационность обычно сопровождается более плотной коммуникацией квалифицированных кадров, как формальной, по интернет-каналам, так и неформальной, в личном общении. Однако для ареальных видов экономической деятельности, связанных с сельским хозяйством, промыслами, добычей природных ресурсов, инновационный процесс, например, связанный с геологическим открытием, с поисковой деятельностью, также имеет ареальный характер. Особенность российской экономики состоит в том, что как раз эти ареальные виды деятельности с ареальным инновационным процессом имеют колоссальное значение, обеспечивают заметный вклад в бюджет и генерируют основную валютную выручку страны.

Будет неверным исключительно противопоставлять агломерационный и районный эффекты. При определенных обстоятельствах они могут взаимодействовать и усиливать друг друга.

Особенный российский контракт, который может стать драйвером для всей национальной экономики, – это взаимодействие ресурсных корпораций Арктики и Севера, которые формируют спрос на качественное добычное оборудование, и машиностроительных предприятий зоны основного расселения, которые способны, постепенно замещая импортные средства производства, этот спрос удовлетворить. Ресурсные корпорации работают в малообжитых пространствах, где максимально рельефно проявляется районный эффект. С другой стороны, машиностроительные предприятия размещены в крупных и средних городах, в которых действует агломерационный эффект. В результате контрактного взаимодействия пространственно разобщенных территорий «севера» и «юга» может возникнуть конструктивная синергия районного и агломерационного эффектов.

Они могут совместно действовать и на одном пространстве, в формате «матрешки». Расположенный в Республике Татарстан Камский центр кластерного развития субъектов малого и среднего предпринимательства включает в себя сеть индустриальных парков, особую экономическую зону «Алабуга», общую коммуникационную сеть, кадровый, производственный потенциал, ресурсную базу. Агломерационный эффект, генерируемый городом Набережные Челны, дополняется районным эффектом в результате использования общего сервиса (лизинг, франчайзинг, факторинг, закупки, техническое обслуживание и др.) для инвестиционных проектов на территории соседних Елабужского, Нижнекамского, Заинского районов [Стратегия..., 2015]. Таким образом, в данном случае район скрепляет общий производственный сервис.

Почему зарубежный опыт промышленных районов не вполне подходит для России? Неверно утверждать, что идеи экономического районирования и районного эффекта развивались исключительно на российской почве. Еще в начале XX в. А. Маршалл в своей классической работе «Основы экономической науки» в главе десятой «Организация производства. Концентрация специализированных производств в отдельных районах» [Маршалл, 2007] описал феномен компактно расположенных однопрофильных малых и средних производств, объединенных общей инфраструктурой, рынком труда и производственными компетенциями, которые получают от совместного использования этих материальных и нематериальных активов позитивные экстерналии (а местная экономика в целом может получить районный эффект).

Переоткрытие промышленных районов состоялось в 1970-е гг. в Италии, где был обнаружен эффект сверхбыстрого по сравнению с остальной территорией страны роста компактно совместно расположенных малых и средних предприятий легкой, текстильной, обувной промышленности. Этот рост был предметно описан Дж. Бекаттини, который показал, что его главными пружинами стали общая идентичность малых предпринимателей, система дружественных местных кредитно-финансовых институтов, среда коллективного доверия. Неожиданный динамичный экономический рост малых предприятий в эру повсеместного господства крупного конвейерного обрабатывающего производства был тесно связан с социально-культурной общностью («атмосферой»), общей идентичностью предпринимателей, проживающих в промышленном районе. Именно особая социально-культурная среда стала основным источником районного эффекта [De Blasio et al., 2009], т. е. конкурентного преимущества, вытекающего из территориальной концентрации экономики, которое является внешним по отношению к отдельной фирме, но внутренним по отношению к районному кластеру фирм.

Эта локализованная внешняя экономия (в общей специализации, в транзакционных издержках, издержках обучения, рассредоточенной креативности и т. д.) является результатом, с одной стороны, общего размера кластера фирм, специализирующихся на различных видах деятельности одного или смежных секторов (экономии на агломерации). С другой стороны, такая экономия может быть реализована ввиду социальных и институциональных характеристик местного сообщества (ценности, склонности, неявные правила поведения, действия государственных и частных коллективных органов), в которые фирмы встроены. Следовательно, согласно теории промышленного района, местную среду можно рассматривать как дополнительный производственный фактор, усиливающий производительность труда [De Blasio et al., 2009].

Английская теория промышленных районов Маршалла и итальянская теория новых промышленных районов Бекаттини базировались на факторах

социальной и институциональной общности, а Коловского – на технологической общности.

Еще один значимый штрих в обобщение феномена промышленных районов был внесен Э. Маркусен в ее получившей большой резонанс в научном сообществе статье [Markusen, 1996], в которой она провела типологию основных промышленных районов, расширила этот феномен за рамки только малых и средних предприятий как главных акторов к крупным производственным корпорациям и их филиалам [Котов, Пилясов, 2013].

Однако ни в одной из перечисленных работ, начиная с А. Маршалла, в явном виде не было разграничения промышленных районов, которые базируются на постоянной личной коммуникации, т. е. простираются на «ширину» возможностей суточного коммунитирования на местном рынке труда «дом-работа» на диаметр 100–120 км с получением агломерационного эффекта на плотной постоянной географической близости, и тех районов, которые существенно больше местных рынков труда и не обеспечивают возможностей ежедневной регулярной личной коммуникации. По умолчанию все описанные промышленные районы – от районов Маршалла до районов Маркусен – опираются именно на агломерационный эффект и постоянную географическую близость (а как иначе поддерживать искомую конструктивную производственную «атмосферу», как не в результате плотной личной коммуникации?).

Аналогичную недоговоренность содержит и теория кластеров М. Портера [Портер, 2005]: ни в одной из его работ не разграничиваются явным образом кластеры, которые опираются на постоянную личную коммуникацию его ключевых акторов на площадке местного рынка труда и, следовательно, агломерационный эффект; и другие кластеры, которые предполагают значительно большую удаленность акторов друг от друга и временную, а не постоянную, географическую близость между ними.

Классические районы обрабатывающей промышленности А. Маршалла и Дж. Бекаттини опираются на малый бизнес и возможности частой личной коммуникации, т. е. работают в компактном пространстве локального рынка труда и местных производственных систем. Здесь действуют городские агломерационные эффекты.

Однако российские реалии другие: во-первых, сам пространственный контур промышленного района у нас, как правило, значительно больше, а плотность коммуникации участников закономерно ниже; во-вторых, существенно чаще (прежде всего на доминирующих в стране пространствах Севера и Арктики) главными акторами выступает не малый бизнес, а крупные корпорации; наконец, в-третьих, существенно чаще это районы не концентрированной обрабатывающей, а ареальной добывающей промышленности. Поэтому три обозначенных А. Маршаллом эффекта промышленных районов – использование общей инфраструктуры, общего пула квалифицированных кадров с местного рынка труда,

легкие перетоки профессионального знания и компетенций просто «из атмосферы» – в России вынуждены преодолевать значительное пространственное трение больших расстояний, работают совершенно в другом режиме временной близости (вахтования, командировок, экспедиций) и беспрецедентно зависят от транспортной доступности.

Результаты исследований и их обсуждение.

Формы проявления районного эффекта стали теперь разнообразнее, чем в советское время. Раньше эффект от районирования был возможен только при существовании наземной авто и/или железнодорожной транспортной сети. Теперь для него может быть достаточно воздушной и ИКТ-сети. Важными являются новые технологические (не связанные с транспортом) и институциональные условия, обеспечивающие кластеризацию предприятий вокруг основного производства или локализацию однопрофильных предприятий. Продолжают существовать и некоторые из образованных еще в советское время территориальных сочетаний предприятий, в которых проявляется районный эффект.

Для характеристики районного эффекта нами были выделены следующие типы районов:

1) новые районы добывающей промышленности (районы пионерного освоения). Здесь расположенные рядом месторождения разрабатываются совместно новым корпоративным собственником с использованием единой инфраструктуры с целью снижения издержек. В качестве примера можно привести Бованенковскую, Тамбейскую и Южную группы газовых месторождений в ЯНАО (основные недропользователи, соответственно, «Газпром», «НоваТЭК» и «Газпромнефть»), а также Ванкорскую и Эргинскую группы нефтяных месторождений, которые разрабатывает «Роснефть» и ее партнеры (оценка районного эффекта приведена ниже);

2) старые районы добывающей промышленности. Они сформированы в советское время, когда освоение проходило более комплексно, включало строительство новых городов, постоянных автомобильных и железных дорог, линий электропередачи. Примерами являются нефтепромышленные районы восточной и западной частей Югры; Воркутинский промрайон;

3) старые районы обрабатывающей промышленности. Сформировались в советское время в результате межотраслевого комплексирования, например район оборонных производств в Кировской области и в Республике Удмуртия;

4) новые районы обрабатывающей промышленности, созданные в постсоветское время, например северо-восток Республики Татарстан.

Встречаются и смешанные типы, когда в районе происходит и добыча, и переработка сырья (Норильский промышленный район, угольно-металлургический район Кузбасса). Отрасли обрабатывающей промышленности более подвержены агломерационному эффекту, образуя районы (по сути, хозяйственные агломерации) по Портеру, Бекаттини и Маршаллу. Это не означает отсутствия у них

районного эффекта, однако наиболее чисто он проявляется в местах активности добывающей промышленности, поэтому в нашей статье для анализа выбраны именно они.

Оценка районного эффекта. В идеальном случае районный эффект определяется путем сравнения фирм внутри района с теми фирмами-аналогами, которые в районе не находятся. Именно так исследуют эффекты от районов Бекаттини в Италии [De Blasio et al., 2009]. Однако в нашем случае такая оценка невозможна в силу немногочисленности добывающих фирм в конкретном промышленном районе, что не позволяет корректно провести статистический анализ. Поэтому авторы используют следующий метод: каждый район сравнивается с собой же, но без использования районного эффекта.

Таким образом, мы сравниваем реальное состояние района и условный такой же район, в котором нет возможности использовать районный эффект, т. е. необходимо строить и эксплуатировать инфраструктуру к каждому месторождению отдельно. Соответственно, в условном районе будут больше капитальные и операционные издержки и/или меньше выручка за счет уменьшения числа проектов. Разность переводится в проценты, что позволяет получить относительную величину эффекта.

Ниже приведена оценка районного эффекта на примере Ванкорского кластера «Роснефти». В него входят Ванкорское, Сузунское, Тагульское и Лодочное месторождения. Он расположен в Туруханском и Таймырском Долгано-Ненецком районах Красноярского края. Районный эффект играет разную роль на разных временных горизонтах, поэтому мы будем использовать три подхода для его расчета.

Оценка экономии на инфраструктурных издержках на начальном этапе освоения месторождения в результате районного эффекта⁵.

Оценим стоимость дополнительной транспортной и энергетической инфраструктуры в случае невозможности использовать районный эффект. К Ванкорскому месторождению подходит магистральный нефтепровод Ванкор – Пурпе (длина 556 км [Роснефть, 2010], диаметр 820 мм [Нефтепровод..., 2019], стоимость строительства 70 млрд руб. в ценах 2010 г. [«Транснефть»..., 2010], 132 млрд руб. в ценах 2019 г.⁶) и магистральный газопровод Ванкор – Хальмерпаютинское месторождение (длина 108 км [Газ Ванкора, 2019], стоимость строительства оценивается нами в 25 млрд руб. в ценах 2019 г.).

В случае невозможности использования районного эффекта для каждого из четырех месторождений пришлось бы строить отдельный нефтепровод и, возможно, отдельный газопровод. С учетом дан-

ных компании «Транснефть» стоимость строительства 1000 км нефтепровода диаметром в 700 мм обойдется в 660 млн долл. [Стоимость строительства..., 2019]. За 550 км нефтепровода компании придется заплатить 25 млрд руб. (при курсе 70 руб. за 1 долл.), если считать стоимость строительства пропорционально длине. Для нефтепровода диаметром 500 мм издержки уменьшаются в два раза. Таким образом, стоимость каждого дополнительно трубопровода равна приблизительно 12,5 млрд руб. Трубопровода диаметром 500 мм должно быть достаточно для обслуживания Сузунского, Лодочного и Тагульского месторождений [Выбор оптимальных..., 2019], так как стабильные уровни добычи, которые компания-оператор стремится удерживать, составляют менее 10 млн т/год⁷. Суммарная экономия по нефтепроводам составляет 37,5 млрд руб.

Стоимость газопроводов оценим аналогично: т. к. они в пять раз короче, то и стоимость их должна быть примерно в пять раз меньше. Стоимость строительства трех газопроводов (до Сузунского, Лодочного и Тагульского месторождений) составит по $12,5/5 = 2,5$ млрд руб. Суммарная стоимость строительства равна $2,5 \cdot 4 = 10$ млрд руб., а общая экономия на газопроводах – 7,5 млрд руб. Всего на трубопроводах «Роснефть» экономит 45 млрд руб. (37,5 – на нефтепроводах, 7,5 – на газопроводах).

Оценить стоимость строительства зимника нам не удалось. Стоимость реконструкции аэропорта Игарки оценивалась в 1,5 млрд руб. [Объем инвестиций..., 2009], что составляет 3,1 млрд руб. в ценах 2019 г.

Теперь оценим экономию на энергетической инфраструктуре. В данный момент на Ванкорском кластере работает Ванкорская ГТЭС мощностью 200 МВт (газотурбинная электростанция) и строится Полярная ГТЭС мощностью 150 МВт для поставки энергии на Сузунское, Лодочное и Тагульское месторождения [На Ванкоре..., 2016]. Стоимость строительства газотурбинной электростанции составляет около 50 тыс. руб. на 1 кВт [Тепловые электростанции..., 2020]. Соответственно, данные две электростанции стоят примерно 17,5 млрд руб., т. к. имеют суммарную мощность 350 МВт ($350 \text{ МВт} \cdot 50 \text{ тыс. руб./кВт} = 17\,500 \text{ млн руб.}$).

Теперь сравним полученную экономию с общими издержками на строительство инфраструктуры кластера. Совокупные инвестиции в Ванкорское месторождение в 2011 г. оценивались в 1 трлн руб. [Гавришина, Стеркин, 2011] (1,73 трлн руб. в ценах 2019 г.) – это на все капитальные вложения в период до 2037 г. (ожидаемое окончание эксплуатации месторождения [Освоение..., 2020]).

⁵ Совместное освоение нескольких соседних месторождений обеспечивает сокращение и управленческих издержек (см. например, [Девятова, 2019]), однако сама их доля в общих издержках существенно меньше, чем инфраструктурных. По данным бухгалтерской отчетности АО «Ванкорнефть», управленческие расходы составляют не более 2,5% от выручки, а в среднем за 2011–2019 гг. они равны 0,8% [«Ванкорнефть»..., 2019].

⁶ Здесь и далее пересчеты цен выполнены в калькуляторе инфляции Planetcalc, опирающемся на данные Росстата [Planetcalc..., 2019].

⁷ «Полки» для Сузунского и Тагульского месторождений составляют более 4 млн т/год, для Лодочного – около 2 млн т/год. Для сравнения на Ванкорском месторождении максимальная «полка» добычи была 22 млн т/год [Фадеева, 2016].

К началу 2011 г. в месторождение было инвестировано 266 млрд руб. (462 млрд руб. в ценах 2019 г.), но эту оценку необходимо скорректировать. С одной стороны, уже в 2010 г. месторождение вело промышленную добычу (было добыто 12,7 млн т нефти), т. е. необходимые для старта инвестиции были меньше приведенной суммы. С другой стороны, освоение других месторождений Ванкорской группы произошло позднее (а начальные инвестиции в них также необходимо учесть).

Так, к моменту начала добычи инвестиции в Ванкорское месторождение составляли 5 млрд долл., что равно приблизительно 130 млрд руб. в 2007 г. (338 млрд руб. в ценах 2019 г.). Найти начальные инвестиции для Лодочного, Сузунского и Тагульского месторождений не удалось, но предположим, что они равны ванкорским, так как в последние включена и стоимость общей инфраструктуры.

В итоге совокупные начальные инвестиции в группу месторождений составят около 680 млрд руб. в ценах 2019 г. (из которых примерно 338 млрд руб. составят вложения в Ванкорское месторождение и еще примерно 338 млрд руб. – в остальные три). Отсюда следует, что доля районного эффекта составляет не менее 7% от всех затрат. Данное значение является минимальным и, скорее всего, сильно заниженным.

Оценка экономии на текущих издержках (капитальных CAPEX и операционных OPEX) в ходе эксплуатации месторождения в результате районного эффекта. В интервью отраслевые эксперты утверждают, что операционные издержки месторождений Ванкорского кластера стали в полтора раза ниже, благодаря кластерному подходу к его освоению, т. е. из-за районного эффекта «Роснефть» сэкономила «десятки миллиардов рублей» [Девятова, 2019]. Эти данные в любом случае будут точнее, чем самостоятельные расчеты. Если районный эффект не влияет на капитальные издержки после запуска месторождения в эксплуатацию, он все равно получается значительным. У «Роснефти» OPEX составляет 3,8 долл. за баррель, а CAPEX – 7,5 долл. за баррель. Примерно такое же соотношение наблюдается у «Лукойла» и «Газпромнефти», поэтому будем считать его устойчивым и экстраполируем их на месторождения Ванкорского кластера.

OPEX без районного эффекта был бы в 1,5 раза больше (5,7 долл.). В этом случае OPEX + CAPEX составил бы 13,2, а в реальности он составляет 11,3. Таким образом, экономия от районного эффекта составляет $(13,2 - 11,3)/11,3 = 17\%$. Если же районный эффект позволяет в 1,5 раза снизить операционные издержки по сравнению со средними по компании, районный эффект составит $((3,8 + 7,5) - (3,8/1,5 + 7,5))/(3,8/1,5 + 7,5) = (11,3 - 10)/10 = 13\%$.

Другой вариант расчета основан на сообщении «Роснефти», что совокупный синергетический эффект

кластера составит 2 млрд долл. в 2013 г. (это 60 млрд руб. в 2013 г. или 92 млрд руб. в 2019 г.) [«Роснефть»: Разработка..., 2013]. Если считать, что это экономия за весь срок реализации проекта, тогда эффект получается равным $92/1730$ млрд = 5%, что неправдоподобно мало. Прямое сравнение этого эффекта с посчитанными выше формально некорректно, так как он учитывает и фазу начальных инвестиций тоже, однако, принимая во внимание их относительно небольшой размер (680 млрд против 1730 млрд руб. полных инвестиций), это допустимо.

Таким образом, в процессе эксплуатации месторождения районный эффект позволяет уменьшить расходы в процессе эксплуатации от 5 до 50%.

Оценка потерь выручки при невозможности использования районного эффекта. Подход связан с тем, что разработка месторождений Ванкорской группы по отдельности едва ли была бы возможна⁸. То есть без районного эффекта добывающая компания не получила бы выручку от добычи на этих месторождениях. Для упрощения расчета вместо выручки оценим потери по долям добычи и запасов.

Согласно табл. 1, районный эффект по запасам можно оценить в 48%. Однако, учитывая уникальные запасы Ванкора и геологически сложные условия Тагульского месторождения (самого крупного из оставшихся), данную оценку можно считать завышенной.

По планируемой добыче районный эффект составит 32% (см. табл. 1, выделено жирным). Также возможен расчет по максимальным значениям добычи, дающий схожий результат (см. табл. 1).

В результате использования трех подходов к оценке районного эффекта была получена табл. 2.

Несмотря на имеющиеся проблемы, табл. 2 не содержит в себе противоречия: на разных этапах районный эффект может быть разным. Между собой они не связаны прямо, за исключением того, что сумма первых двух эффектов должна быть не меньше третьего. Действительно, если бы компания приняла решение не эксплуатировать Сузунское, Лодочное и Тагульское месторождения при невозможности использовать районный эффект, потери выручки должны были быть меньше либо равны дополнительным затратам на разработку этих месторождений. Иначе они все равно бы эксплуатировались. (Полученные значения районных эффектов в 5–7% противоречат этому условию.)

На основании данного примера можно выделить следующие проблемы оценки районного эффекта:

- трудно проводить ее самостоятельно, без использования результатов, предоставленных компанией-оператором или отраслевыми специалистами;
- трудно проводить оценку эффекта в общем случае для менее известных и обсуждаемых проектов, чем Ванкорский кластер;

⁸ «С учетом Сузунского, Тагульского и Лодочного месторождений «Ванкорнефть» планирует выйти на «полку» добычи в 25 млн т к 2019 г. <...> Вовлечение данных месторождений в разработку стало возможным благодаря созданной «Роснефтью» инфраструктуре на Ванкорском месторождении» [«Роснефть»..., 2013; Разработка новых..., 2017; Ванкорский кластер..., 2019].

Таблица 1

Технико-экономические параметры месторождений, входящих в Ванкорскую группу

Месторождение	Запасы		Планируемая общая добыча		Максимальная «полка»		Планируемая «полка»	
	млн т	%	млн т	%	млн т/год	%	млн т/год	%
Ванкорское	480	52	435	68	22	67	14	56
Лодочное	89	10	35	5	2	6	2	8
Сузунское	61	7	94	15	4,5	14	4,5	18
Тагульское	296	32	80	12	4,5	14	4,5	18
Всего	926	100	644	100	33	100	25	100
Всего без Ванкорского	446	48	209	32	11	33	11	44

Таблица 2

Параметры районного эффекта

Подход к расчету эффекта	Диапазон значений, %	Вероятное значение (экспертная оценка), %	Комментарий
Оценка инфраструктурных издержек	Более 5–7	Неизвестно	Сильно занижена без возможности корректировки
Оценка текущих издержек (капитальных и операционных)	5 (13)–50	15–40	Возможна при наличии готовых расчетов в открытых источниках, самостоятельный расчет затруднен
Оценка потерь выручки	32–48	32–35	Относительно проста, но требует внятного обоснования, что выручка была бы действительно потеряна

– еще труднее прогнозировать районный эффект для перспективных проектов;

– оценки эффекта имеют всегда неточный характер.

Несмотря на это, нам удалось не только доказать существование и весомость районного эффекта, но и тот факт, что ресурсные корпорации России осознают его роль и конструктивно используют в своих интересах.

Выводы:

– три эффекта работают на пространствах России: агломерационный, районный, глобальный. Агломерационный эффект работает в пользу развития крупных городов России и провоцирует сильные центр-периферийные контрасты в российском пространстве. Эффекты от глобализации на пространствах России получают сильные мировые экономические игроки в лице США, Китая, Европейского Союза; в России – отдельные крупные компании, привилегированный малый бизнес. Районный эффект имеет значительный экономический потенциал, но пока его в большей степени актуализируют ресурсные корпорации Арктики и Севера;

– налицо противоречие между значительным экономическим потенциалом районного эффекта и очень слабым его использованием государством. Стоит задача в результате реализации политики импортозамещения обеспечить умное хозяйственное замыкание различных участков российского

пространства в единые промышленные районы с получением экономических эффектов в интересах государства и общества. Меры активной государственной политики должны, с одной стороны, формировать инфраструктурные и другие условия для полноценной манифестации районного эффекта на пространствах России; с другой стороны, изымать часть созданной на районном эффекте прибыли корпораций в интересах сбалансированного развития страны и ее регионов;

– оценка районного эффекта на примере только одного кластерного проекта, реализуемого госкорпорацией «Роснефть», подтверждает, что речь идет о миллиардах рублей. Потери общества от недоиспользования районного эффекта при дублировании инфраструктурных усилий близко расположенных компаний, с другой стороны, могут составлять аналогичные суммы. Налицо необходимость активного вовлечения государства в новое размещение производительных сил, в том числе корпоративных, для укрепления районного эффекта в интересах национального экономического роста;

– современная государственная политика Российской Федерации недоиспользует потенциал географических инструментов в виде экономического районирования и зонирования. В условиях обширных и сложных, слабо обустроенных и высоко контрастных российских пространств без этих инструментов решить задачи роста и развития страны невозможно.

но. Как свидетельствует успешный опыт развития страны в 1930–1960-е гг., самое квалифицированное пространственное подкрепление национального роста было связано с экономическим районированием и

получением полноценного районного эффекта народным хозяйством на пространствах России в результате активного территориального планирования размещения производительных сил страны.

Благодарности. Без доброжелательных советов и критики канд. геогр. н., доцента В.Е. Шувалова, многие годы читающего курс по районированию для студентов географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, эта статья была бы невозможной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агафонов Н.Т., Чистобаев А.И. Экономическое районирование и территориально-производственное комплексобразование в СССР // Советская география. Л.: Наука, 1984. С. 117–130.
- Алампиев П.М. Экономическое районирование СССР. М.: Госпланиздат, 1959. 263 с.
- Александров И.Г. Экономическое районирование России. М.: Изд-во Госплана, 1921. 15 с.
- Александров И.Г. Основы хозяйственного районирования СССР. М.; Л.: Экономическая жизнь, 1924. 75 с.
- Бандман М.К. Избранные труды и продолжение начатого: сборник / под ред. В.Ю. Малова; ИЭОПП СО РАН. Новосибирск, 2014. 447 с.
- Баранский Н.Н. Избранные труды. Становление советской экономической географии. М.: Мысль, 1980. 287 с.
- Белоусов И.И. Основы учения об экономическом районировании. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 320 с.
- Колосовский Н.Н. Производственно-территориальное сочетание (комплекс) в советской экономической географии // Вопросы географии. Сб. 6. М.: Географгиз, 1947. С. 133–168.
- Колосовский Н.Н. Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2006. 336 с.
- Колотиевский А.М. Вопросы теории и методики экономического районирования (в связи с общей теорией экономической географии). Рига: Зинатне, 1967. 246 с.
- Котов А.В., Пилясов А.Н. Terra Incognita: новые промышленные районы России // Экономика и география. СПб.: Леонтьевский центр, 2013. 314 с.
- Лавриненко П.А., Михайлова Т.Н., Ромашина А.А., Чистяков П.А. Агломерационные эффекты как инструмент регионального анализа // Проблемы прогнозирования. 2019. № 3(174). С. 50–60.
- Лейзерович Е.Е. Экономические микрорайоны России (сетка и типология). М.: Трилобит. 2004. 128 с.
- Лист Ф. Национальная система политической экономии. Челябинск: Социум, 2017. 451 с.
- Маршалл А. Основы экономической науки. М.: Эксмо, 2007. 832 с.
- Никольский И.В. Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2009. 332 с.
- Никольский И.В. Экономическое районирование в эпоху научно-технической революции // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 1976. № 6. С. 10–14.
- Пилясов А.Н. Как использовать идеи Н.Н. Колосовского для нового экономического районирования постиндустриальной России? Теория социально-экономической географии: современное состояние и перспективы развития: материалы Международной научной конференции (Ростов-на-Дону, 4–8 мая). Ростов н/Д.: ЮФУ, 2010. С. 67–72.
- Пилясов А.Н. Контуры новой теории экономического районирования России (основные элементы). Современные проблемы регионалистики // Доклады Международной юбилейной конференции, посвященной 110-летию кафедры региональной экономики и природопользования Санкт-Петербургского государственного экономического университета. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013. С. 31–43.
- Портер М. Конкуренция. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005. 608 с.
- Пробст А.Е. Вопросы размещения социалистической промышленности. М.: Наука, 1971. 380 с.
- Районирование СССР. Сборник материалов по районированию с 1917 по 1925 год / под ред. К.Д. Егорова. М.; Л.: Плановое хозяйство, 1926. 307 с.
- Рикардо Д. Начала политической экономии и налогового обложения. М.: Госполитиздат, 1955. 368 с.
- Синергия пространства: региональные инновационные системы, кластеры и перетоки знания. М.; Смоленск: Ойкумена, 2012. 760 с.
- Смирнягин Л.В. Узловые вопросы районирования // Известия РАН. Сер. геогр. 2005. № 1. С. 5–16.
- Смит А. Исследование о природе и причинах богатства народов. М.: Эксмо, 2007. 960 с. (Антология экономической мысли).
- Хрущев А.Т. Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2010. 320 с.
- Четыркин В.М. Проблемные вопросы экономического районирования. Ташкент: Фан, 1967. 121 с.
- Чистобаев А.И. Развитие экономических районов: Теория и методы исследования. Л.: Наука, 1980. 130 с.
- Чистяков П.А., Дмитриев М.Э., Ромашина А.А. Роль пространственной политики в ускорении экономического роста // Общественные науки и современность. 2018. № 5. С. 31–47.
- Шувалов В.Е. Районирование в трудах экономико-географов // Социально-экономическая география в России / под ред. П.Я. Бакланова, В.Е. Шувалова. Русское географическое общество. Владивосток: Дальнаука, 2016. С. 103–116.
- Экономическое районирование России. Доклад Госплана III сессии ВЦИК. М.: Изд-во ВЦИК, 1922. 83 с.
- De Blasio G., Omiccioli M., Signorini L.F. Measuring the district effect, ch. 28, *A Handbook of Industrial Districts*, G. Becattini, M. Bellandi, L. de Propris (eds.), London, Edward Elgar Publ., 2009, p. 381–394.
- Markusen A. Sticky places in slippery space: A typology of industrial districts, *Economic Geography*, 1996, vol. 72, no. 3, p. 293–313, DOI: 10.2307/144402.
- Paci R., Usai S. Knowledge flows across European regions, *Annals of Regional Science. Special Issue*, 2009, vol. 43, p. 669–690.
- Regional Development and Proximity Relations*, A. Torre, F. Wallet (eds.), London, Edward Elgar Publ., 2014, 392 p.
- Электронные ресурсы
- «Ванкорнефть», 2019: бухгалтерская отчетность и финансовый анализ // Audit-it.ru. 2019. URL: https://www.audit-it.ru/buh_otchet/2437261631_aovankorneft (дата обращения 05.09.2020).
- Ванкорский кластер. Годовой отчет за 2019 г. // Роснефть. 2019. URL: <https://www.rosneft.ru/docs/report/2019/ru/results/greenfield-development-projects/the-vankor-cluster.html> (дата обращения 05.09.2020).

Выбор оптимальных параметров трубопровода. Энциклопедия технологий // Интерфакс. 2019. URL: <http://discoverrussia.interfax.ru/wiki/41/> (дата обращения 05.09.2020).

Гавришина О., Стеркин П. Стоимость освоения Ванкорского месторождения выросла до 1 трлн руб. // Ведомости. 2011. URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2011/04/08/neftyanoj_trillion (дата обращения 05.09.2020).

Газ Ванкора. В единую систему газоснабжения поставлено 30 млрд м³ газа с Ванкорского кластера // Neftegaz.ru. 2019. URL: <https://neftgaz.ru/news/transport-and-storage/507236-gaz-vankora-v-edinyu-sistemu-gazosnabzheniya-postavleno-30-mlrd-m3-gaza-s-vankorskogo-klastera/> (дата обращения 05.09.2020).

Девятова П. Кластерный подход. Состоялся запуск нового месторождения «Роснефти» // АиФ. 2019. URL: https://aif.ru/money/company/klasternyy_podhod_sostoyalsya_zapusk_novogo_mestorozhdeniya_rosnefti (дата обращения 05.09.2020).

На Ванкоре началось строительство новой газотурбинной электростанции Полярная // Neftegaz.ru. 2016. URL: <https://neftgaz.ru/news/energy/220607-na-vankore-nachalos-stroitelstvo-novoy-gazoturbinoy-elektrostantsii-polyarnaya/> (дата обращения 05.09.2020).

Нефтепровод Ванкорское месторождение – НПС «Пурпе» // Tial.ru. 2019. URL: <http://www.tial.ru/izolyaciya-stykov-terpoloizirovannyh-nefteprovodov-vankorskogo-mestorozhdeniya> (дата обращения 05.09.2020).

Объем инвестиций в реконструкцию аэровокзального комплекса аэропорта Игарки составит 1,5 млрд руб. // Интерфакс. 2009. URL: <https://realty.interfax.ru/ru/news/articles/24984/> (дата обращения 05.09.2020).

Освоение Ванкорской группы месторождений // Красноярский край. 2020. Инвестиционный портал. URL: [\[krskinvest.ru/information/947322?alias=invest-proekty&language=ru\]\(http://krskinvest.ru/information/947322?alias=invest-proekty&language=ru\) \(дата обращения 05.09.2020\).](http://</p>
</div>
<div data-bbox=)

Разработка новых месторождений. Годовой отчет за 2017 г. // Роснефть. 2017. URL: <https://www.rosneft.ru/docs/report/2017/ru/results/new-fields.html> (дата обращения 05.09.2020).

«Роснефть»: Разработка Ванкорского кластера будет стоить 92 млрд руб. // РБК. 2013. URL: <https://www.rbc.ru/economics/21/11/2013/570413509a794761c0ce3ec6> (дата обращения 05.09.2020).

Роснефть сегодня // Роснефть. 2010. URL: <https://www.rosneft.ru/press/today/item/178177/> (дата обращения 05.09.2020).

Стоимость строительства нефтепроводов. Энциклопедия технологий // Интерфакс. 2019. URL: <http://discoverrussia.interfax.ru/wiki/37/> (дата обращения 05.09.2020).

Стратегия развития машиностроительного кластера малого и среднего предпринимательства Республики Татарстан на 2015–2019 годы. Утверждена приказом Кабинета Министров Республики Татарстан от 7 августа 2015 г. № 1742-р. URL: <http://docs.cntd.ru/document/428658854> (дата обращения 15.03.2019).

Тепловые электростанции на основе газотурбинных установок – сроки окупаемости и стоимость производимой электроэнергии // Новая генерация. 2020. URL: https://manbw.ru/analytics/power_stations_basis_gas_turbine_units_paybackperiods_cost_electric_power_produced.html (дата обращения 05.09.2020).

«Транснефть» готова выкупить у «Роснефти» трубопровод Ванкор–Пурпе // Финмаркет. 2010. URL: <http://www.finmarket.ru/news/1702874> (дата обращения 05.09.2020).

Фадеева А. На Ванкоре началось снижение добычи // Ведомости. 2016. URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/06/09/644700-vankore-dobichi> (дата обращения 05.09.2020).

Planetcalc. Калькулятор инфляции. 2019. URL: <https://planetcalc.ru/250/> (дата обращения 05.09.2020).

Поступила в редакцию 07.10.2020

После доработки 10.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

A.N. Pilyasov^{1,2}, A.E. Polyachenko³

REGIONARY EFFECT: PROBLEMATIC ISSUES OF THE THEORY AND PRACTICE

The article draws attention to the regionary effect which is pronounced on the territories of Russia. During the 1990s–2000s there was a pause in the studies on the regionary effect after significant works of Soviet economic geographers, because the main attention was paid to the agglomeration effect. Meanwhile, the industrial region and associated economic effects continue to exist, but are primarily considered by large corporate structures. According to the authors' estimates, the regionary effect could cost billions of roubles, not received by the state and society. The modern industrial region of Russia, in which the main regionary effects are formed, differs from both the classical economic region of N.N. Kolosovsky, and its foreign analogues, i. e. the Marshall-Becattini's industrial areas. It has lost its complex nature and acquired micro-specialization, directed not only to the national, but often to the global market. It is now consolidated by both "land" transport infrastructure, air, information and communication networks and technological proximity, based on temporary geographic proximity. The diameter of such a region varies from 300 to 600+ km, depending on the degree of concentration of a particular industry. The task is to ensure a smart economic merge of various parts of Russian space into unified industrial areas providing economic effects in the interests of the state and society. Measures of active state policy should, on the one hand, create infrastructural and other prerequisites for the complete realization of the regionary effect within the territories of Russia; and, on the other hand, to withdraw a part of the profit of corporations created on the basis of the regionary effect in the interests of the balanced development of the country and its regions. Synergy of the joint use of the agglomeration effect in urban spaces of the main settlement zone where the

¹ Lomonosov Moscow State University, Department of Social and Economic Geography of Foreign Countries, Professor, D.Sc. in Geography; Institute of Regional Consulting, General Director; e-mail: pilyasov@mail.ru

² Institute for Regional Consulting, General Director.

³ HSE University, Faculty of Economic Sciences, Master's student; e-mail: apolyachenko@gmail.com

leading centers of Russian engineering are located, and the regionary effect received by resource corporations in the northern and Arctic regions could be particularly constructive if the government encourages the inter-firm contracting of enterprises of the north and the center.

Key words: economic zoning, industrial areas, state policy

Acknowledgments. The article could hardly be prepared without well-meaning advice and criticism from V.E. Shuvalov, Ph.D., Associate Professor, who has been for many years teaching a course on economic zoning for the students of the Faculty of Geography of the Lomonosov Moscow State University.

REFERENCES

- Agafonov N.T., Chistobaev A.I. Ekonomicheskoe rayonirovanie i territorial'no-proizvodstvennoe kompleksobrazovanie v SSSR [Economic regionalization and territorial production complex formation in the USSR], *Sovetskaya geografiya*, Nauka Publ., 1984, p. 117–130. (In Russian)
- Alampiev P.M. Ekonomicheskoe rayonirovanie SSSR [Economic zoning of the USSR], Moscow, Gosplanizdat Publ., 1959, 263 p. (In Russian)
- Alexandrov I.G. Ekonomicheskoe rayonirovanie Rossii [Economic regionalization of Russia], Moscow, Publishing house of the State Planning Commission, 1921, 15 p. (In Russian)
- Alexandrov I.G. Osnovy chozyaistvennogo rayonirovaniya SSSR [Fundamentals of the economic zoning of the USSR], Publishing House of Economic Life, 1924, 75 p. (In Russian)
- Bandman M.K. Izbrannye trudy i prodolzhenie nachtogo: sbornik [Selected works and continuation of what was begun: (collection)], V.Yu. Malov (ed.), IEOPP SB RAS, Novosibirsk, 2014, 447 p. (In Russian)
- Baransky N.N. Izbrannye trudy. Stanovlenie Sovetskoy ekonomicheskoy geografii [Selected Works. Evolution of Soviet economic geography], Moscow, Mysl' Publ., 1980, 287 p. (In Russian)
- Belousov I.I. Osnovy ucheniya ob ekonomicheskoy rayonirovani [Foundations of the doctrine of economic regionalization], Moscow, Moscow State University Publ., 1976, 320 p. (In Russian)
- Ekonomicheskoye rayonirovanie Rossii [Economic regionalization of Russia], Gosplan report III session of the All-Russian Central Executive Committee, Moscow, VTSIK Publ., 1922. (In Russian)
- Chetyrkin V.M. Problemnye voprosy ekonomicheskogo rayonirovaniya [Problematic issues of economic regionalization], Tashkent, Fan Publ., 1967, 121 p. (In Russian)
- Chistobaev A.I. Razvitie ekonomicheskikh rayonov: Teoriya i metody issledovaniya [Development of economic regions: Theory and research methods], Nauka Publ., 1980, 130 p. (In Russian)
- Chistyakov P.A., Dmitriev M.E., Romashina A.A. Rol' prostranstvennoy politiki v uskorenii ekonomicheskogo rosta [The role of spatial policy in accelerating economic growth], *Sotsial'nye nauki i sovremenost'*, 2018, no. 5, p. 31–47. (In Russian)
- De Blasio G., Omiccioli M., Signorini L.F. Measuring the district effect. ch. 28, *A Handbook of Industrial Districts*, G. Becattini, M. Bellandi, L. de Propris (eds.), London, Edward Elgar Publ., 2009, p. 381–394
- Khrushchev A.T. Izbrannye trudy [Selected Works], Smolensk, Eumene Publ., 2010, 320 p.
- Kolosovsky N.N. Proizvodstvenno-territorial'nye komplekxy v sovetskoy ekonomicheskoy geografii [Production-territorial complexes in Soviet economic geography], *Voprosy geografii*, sat. 6, Moscow, Geografiz Publ., 1947, p. 133–168. (In Russian)
- Kolosovsky N.N. Izbrannye trudy [Selected Works], Smolensk, Eumene Publ., 2006, 336 p. (In Russian)
- Kolotievsky A.M. Voprosy teorii i metodologii ekonomicheskogo rayonirovaniya v svyazi s obschey teoriye ekonomicheskogo rayonirovaniya [Issues of the theory and methodology of economic regionalization (in connection with the general theory of economic geography)], Riga, Zinatne Publ., 1967, 246 p. (In Russian)
- Kotov A.V., Pilyasov A.N. [Terra Incognita: New Industrial Areas of Russia], *Ekonomika i geografiya* [Economics and geography], St. Petersburg, Leontief Center Publ., 2013, p. 103–159. (In Russian)
- Lavrinenko P.A., Mikhailova T.N., Romashina A.A., Chistyakov P.A. Agglomeratsionnye efekty kak instrument regional'nogo analiza [Agglomeration Effects as a Tool for Regional Analysis], *Problemy prognozirovaniya*, 2019, no. 3(174), p. 50–60. (In Russian)
- Leizerovich E.E. Ekonomicheskie mikrorayony Rossii (setka i tipologiya) [Economic microdistricts of Russia (network and typology)], Moscow, Trilobite Publ., 2004, 128 p. (In Russian)
- List F. Natsional'naya sistema politicheskoy ekonomii [National system of political economy], Society Publ., 2017, 451 p. (In Russian)
- Markusen A. Sticky places in slippery space. A typology of industrial districts, *Economic Geography*, 1996, vol. 72, p. 293–313.
- Marshall A. Osnovy ekonomicheskoy nauki [Fundamentals of Economic Science], Eksmo Publ., 2007, 832 p. (In Russian)
- Nikolsky I.V. Izbrannye trudy [Selected Works], Smolensk, Oikumena Publ., 2009, 332 p.
- Nikolsky I.V. Ekonomicheskoe rayonirovanie v epokhu nauchnoy i technologicheskoy revolyutsii [Economic regionalization in the era of the scientific and technological revolution], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1976, no. 6, p. 10–14. (In Russian)
- Paci R., Usai S. Knowledge flows across European regions, *Annals of Regional Science*, Special Issue, 2009, vol. 43, p. 669–690.
- Pilyasov A.N. [How to use N.N. Kolosovsky's ideas for a new economic regionalization of post-industrial Russia?], *Teoriya sotsial'no-ekonomicheskoy geografii sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya* [Theory of socio-economic geography: current state and development prospects], Materials of the International Scientific Conference (Rostov-on-Don, May 4–8), place of publication SFU Publishing House Rostov-on-Don, 2010, p. 67–72. (In Russian)
- Pilyasov A.N. [The contours of a new theory of economic regionalization of Russia (main elements)], *Sovremennye problemy regionalistiki* [Actual issues of regional studies], Reports of the International Jubilee Conference dedicated to the 110th anniversary of the Department of Regional Economics and Environmental Management of St. Petersburg State Economic University, St. Petersburg, SPbGEU Publ., 2013, p. 31–43. (In Russian)
- Porter M. Competition, Moscow, Publishing house "Vilyams", 2005, 608 p.

Probst A.E. *Voprosy razmeshcheniya sotsialisticheskoy promyshlennosti* [Questions of the location of socialist industry], Moscow, Nauka Publ., 1971, 380 p. (In Russian)

Rayonirovanie SSSR [Zoning of the USSR], Collection of materials on zoning from 1917 to 1925, K.D. Egorova (ed.), Moscow, Leningrad, Planned economy Publ., 1926, 307 p. (In Russian)

Regional Development and Proximity Relations, A. Torre, F. Wallet (eds.), London, Edward Elgar Publ., 2014, 392 p.

Ricardo D. *On the principles of political economy and taxation*, Cambridge University Press, 1951.

Sinergiya prostranstva: regional'nye innovatsionnye sistemy, klasteri i peretoky znaniya [Synergy of space: regional innovation systems, clusters and knowledge flows], Moscow, Smolensk, Ecumene Publ., 2012, 760 p. (In Russian)

Shuvalov V.E. [Zoning in the works of economic geographers], *Sotsialno-ekonomicheskaya geografiya v Rossii* [Socio-economic geography in Russia], P.Ya. Baklanov, V.E. Shuvalov (eds.), Russian Geographical Society, Vladivostok, Dalnauka Publ., 2016, p. 103–116. (In Russian)

Smirnyagin L.V. *Uzlovye voprosy rayonirovaniya* [Key issues of regionalization], *Izvestiya RAN, Seriya geograficheskaya*, 2005, no. 1, p. 5–16. (In Russian)

Smith A. *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*, London, Printed for W. Strahan and T. Cadell, in the Strand, 1776.

Web sources

Devyatova P. *Klasternyy podhod. Sostoyalsya zapusk novogo mestorozhdeniya "Rosnefti"* [Cluster Approach. The launch of a new Rosneft field took place], *AiF*, 2019, URL: https://aif.ru/money/company/klasternyy_podhod_sostoyalsya_zapusk_novogo_mestorozhdeniya_rosnefti (access date 05.09.2020).

Entsiklopediya tekhnologiy. *Vybor optimal'nyh parametrov truboprovoda* [Encyclopedia of Technologies. Selection of optimal pipeline parameters], *Interfax*, 2019, URL: <http://discoverrussia.interfax.ru/wiki/41/> (access date 05.09.2020).

Entsiklopediya tekhnologiy. *Stoimost' stroitel'stva nefteprovodov* [Encyclopedia of Technologies. The cost of construction of oil pipelines], *Interfax*, 2019, URL: <http://discoverrussia.interfax.ru/wiki/37/> (access date 05.09.2020).

Fadeeva A. *Na Vankore nachalos' snizhenie dobychi* [A decline in production began at Vankor], *Vedomosti*, URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2016/06/09/644700-vankore-dobichi> (access date 05.09.2020).

Gavrishina O., Sterkin P. *Stoimost' osvoeniya Vankorskogo mestorozhdeniya vyroslo do 1 trln rub* [The cost of developing the Vankor oil and gas field has grown to 1 trillion rubles], *Vedomosti*, 2016, URL: https://www.vedomosti.ru/business/articles/2011/04/08/neftyanoy_trillion (access date 05.09.2020).

Gaz Vankora. *V edinuyu sistemu gazosnabzheniya postavleno 30 mlrd m³ gaza s Vankorskogo klastera* [Vankor gas. 30 billion m³ of gas from the Vankor cluster was supplied to the unified gas supply system], *Neftegaz.ru*, 2019, URL: <https://neftegaz.ru/news/transport-and-storage/507236-gaz-vankora-v-edinuyu-sistemu-gazosnabzheniya-postavleno-30-mlrd-m3-gaza-s-vankorskogo-klastera/> (access date 05.09.2020).

Kal'kulyator inflyatsii Planetcalc [Inflation Calculator Planetcalc], *Planetcalc.ru*, 2019, URL: <https://planetcalc.ru/250/> (access date 05.09.2020).

Na Vankore nachalos' stroitel'stvo novoy gazoturbinnoy elektrostantsii Polyarnaya [The construction of a new gas turbine power plant Polyarnaya began at Vankor], *Neftegaz.ru*, 2016, URL: <https://neftegaz.ru/news/energy/220607-na-vankore-nachalos-stroitelstvo-novoy-gazoturbinnoy-elektrostantsii-polyarnaya/> (access date 05.09.2020).

Nefteprovod Vankorskoye mestorozhdeniye – NPS "Purpe" [Oil pipeline Vankorskoye field – PS "Purpe"], *Tial.ru*, 2019, URL: <http://www.tial.ru/izolyaciya-stykov-tepoloizolirovannyh-nefteprovodov-vankorskogo-mestorozhdeniya> (access date 05.09.2020).

Ob'em investitsiy v rekonstruktsiyu aerovokzal'nogo kompleksa aeroporta Igarki sostavit 1,5 mlrd rub [Investments in the reconstruction of the Igarka airport complex will amount to RUB 1.5 billion], *Interfax*, 2009, URL: <https://realty.interfax.ru/news/articles/24984/> (access date 05.09.2020).

Osvoenie Vankorskoy gruppy mestorozhdeniy [Development of the Vankor group of deposits], *Krasnoyarsk territory*, 2020, Investment portal, URL: <http://krskinvest.ru/information/947322?alias=invest-proekty&language=ru> (access date 05.09.2020).

Razrabotka novyh mestorozhdeniy, *Godovoy otchet 2017 g.* [Development of new fields, Annual report 2017], *Rosneft*, 2017, URL: <https://www.rosneft.ru/docs/report/2017/ru/results/new-fields.html> (access date 05.09.2020).

Rosneft': Razrabotka Vankorskogo klastera budet stoit' 92 mlrd rub [Rosneft: Development of the Vankor cluster will cost 92 billion rubles], *RBC*, 2013, URL: <https://www.rbc.ru/economics/21/11/2013/570413509a794761c0ce3ec6> (access date 05.09.2020).

Rosneft' Segodnya [Rosneft Today], *Rosneft*, 2010, URL: <https://www.rosneft.ru/press/today/item/178177/> (access date 05.09.2020).

Strategiya razvitiya mashinostroitel'nogo klastera malogo i srednego predprinimatel'stva Respubliki Tatarstan na 2015–2019 gody. *Uverzhdena rasporyazheniyem Kabineta Ministrov Respubliki Tatarstan ot 7 avgusta 2015 g.*, no. 1742-r [Development strategy of the machine-building cluster of small and medium-sized businesses of the Republic of Tatarstan for 2015–2019. Approved by the order of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan dated August 7, 2015, no. 1742-r], URL: <http://docs.cntd.ru/document/428658854> (access date 15.03.2019).

"Vankorneft", 2019: bukhgalterskaya otchetnost' i finansovyy analiz ["Vankorneft", 2019: accounting and financial analysis], *Audit-it.ru*, 2019, URL: https://www.audit-it.ru/buh_otchet/2437261631_ao-vankorneft (access date 05.09.2020).

Vankorskiy klaster. *Godovoy otchet 2019* [Vankor cluster. 2019 Annual report], *Rosneft*, URL: <https://www.rosneft.ru/docs/report/2019/ru/results/greenfield-development-projects/the-vankor-cluster.html> (access date 05.09.2020).

Teplovye elektrostantsii na osnove gazoturbinnih ustanovok – sroki okupaemosti i stoimost' proizvodimoy elektroenergii [Thermal power plants based on gas turbine plants – payback periods and the cost of electricity produced], *Novaya generatsiya*, 2020 [New generation], URL: https://manbw.ru/analitics/power_stations_basis_gas_turbine_units_paybackperiods_cost_electric_power_produced.html (access date 05.09.2020).

"Transneft" gotova vykupit' u "Rosnefti" truboprovod Vankor-Purpe ["Transneft" is ready to buy out the Vankor-Purpe pipeline from Rosneft], *Finmarket*, 2010, URL: <http://www.finmarket.ru/news/1702874> (access date 05.09.2020).

Received 07.10.2020

Revised 10.12.2020

Accepted 21.01.2021

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054:628.5

В.Р. Битюкова¹, В.С. Дехнич², Н.В. Петухова³

ВЛИЯНИЕ ГРЭС НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА ГОРОДОВ РОССИИ

В статье рассмотрены основные тенденции в характере загрязнения атмосферы крупными тепловыми электростанциями. Выделены этапы формирования сети современной энергосистемы России, в процессе которых станции строились все дальше от городов, постепенно смещаясь из крупных в средние и малые города и поселки городского типа. Государственные районные электростанции (ГРЭС) как базовый элемент энергосистемы страны значительно больше зависят от экономической ситуации, чем ТЭЦ. В кризисные годы объем производства и потребления топлива на них сокращается быстрее. Динамика и структура выбросов на ГРЭС определяется сочетанием трех ключевых факторов: загруженностью мощностей, структурой топливного баланса и модернизацией мощностей с созданием новых эффективных очистных сооружений. Вклад газовой генерации на ГРЭС в объем выбросов в три раза меньше, чем в их суммарную установленную мощность. Напротив, доля угольной генерации в суммарном объеме выбросов увеличилась за последние 10 лет до 78%, что в 2,7 раза превышает вклад этих станций в установленную мощность. Современный период характеризуется не столько строительством новых, сколько модернизацией станций первого поколения, что определяет снижение объемов выбросов, изменение их структуры и сжатие ареалов загрязнения. На примере Каширской ГРЭС показано, что в результате модернизации сократился объем выбросов в атмосферу. Наибольший вклад в увеличение приземных концентраций поллютантов вблизи Каширской ГРЭС вносят выбросы взвешенных частиц и диоксида серы, а наименьший – выбросы оксида углерода.

Ключевые слова: выбросы в атмосферу, экология города, топливная энергетика, экология промышленности, энергосистема, Каширская ГРЭС

Введение. Энергетика – одна из базовых отраслей хозяйства и крупнейший загрязнитель окружающей среды. Тепловые электростанции составляют основу электроэнергетики России – 70% мощностей, 64% производства электроэнергии, до 70% общего объема эмиссии парниковых газов [Промышленность..., 2019; IPCC..., 2006]. Доля энергетики в загрязнении атмосферы составляет 21%, в объеме сточных вод – 13%, промышленных отходов 1–4-го классов опасности – 10% [Охрана..., 2019]. Для данной отрасли характерны наибольшие удельные выбросы в атмосферу и самая высокая степень зависимости валовых выбросов от объемов производства [Henkel et al., 2009; Nagvi, Zwickl, 2017]. В России коэффициент корреляции между этими показателями составляет 0,65, что свидетельствует о низком уровне модернизации отрасли [Битюкова, Петухова, 2018].

Исторически в плане ГОЭЛРО, которому в 2020 г. исполнилось 100 лет, конденсационные электростанции⁴, производящие только электрическую энергию, получили название государственных рай-

онных электростанций – ГРЭС, чтобы подчеркнуть место в территориальной структуре производственных связей. С течением времени термин «ГРЭС» потерял свой первоначальный смысл («районная») и в современном понимании означает, как правило, конденсационную электростанцию большой мощности (тысячи МВт), работающую в объединенной энергосистеме наряду с другими крупными электростанциями. Суммарно в 2018 г. вклад ГРЭС в объем производства электроэнергии, газа и воды составил 40%, а доля их в установленной мощности достигает 46%.

В отличие от ТЭЦ, которые не только производят электроэнергию, но и тепло, ГРЭС не обязательно размещать внутри городской застройки. Однако исторически первые станции были размещены в городах, в топливном балансе которых изначально преобладал уголь и торф. Сейчас такие станции оказались в основном в густонаселенных районах страны, где они одновременно выполняют важную роль в производстве электроэнергии и являются крупными источниками загрязнения. В частности, в Мос-

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Казахстанский филиал, кафедра экологии и природопользования, преподаватель, e-mail: vodo.ast@gmail.com

³ «И-АР-ЭМ Юрейжа Лимитед» (Великобритания), г. Москва, Трехпрудный переулок, 11/13, строение 3, офис 1, ст. консультант; e-mail: nv.petukhova@mail.ru

⁴ Конденсационная электростанция // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / под ред. А.М. Прохорова. М.: Советская энциклопедия, 1969–1978.

ковской агломерации, где размещались самые первые ГРЭС, на сегодняшний день потребление электроэнергии превышает ее производство в 2,2 раза, дефицит энергобаланса нарастает с 2000 г. и составляет 28,4 млрд кВт·ч [Промышленность..., 2019]. При этом доля топливной энергетики в объеме выбросов от стационарных источников в области одна из самых высоких в стране и составляет почти 40% [Охрана..., 2019]. В условиях растущих требований к качеству окружающей среды сохранение исторически сложившихся производственных мощностей возможно при выработке определенных стратегий модернизации.

Цель работы – полимасштабный анализ факторов формирования загрязнения от ГРЭС, выявление роли исторических условий и энергодифицитности района размещения, изменения мощности станций и топливного баланса при оценке их влияния на загрязнение воздуха и формирование рисков здоровью населения в зависимости от объемов и структуры загрязнения.

Материалы и методы исследования. Информационной базой исследования послужила отраслевая, региональная [Основные..., 2019; Охрана..., 2019] и муниципальная статистика [Показатели..., 2018], а также база данных «Паспорта городов России – 1997–2005» Вычислительного центра Госкомстата России с данными о 974 городах, база данных Федеральной службы по надзору в сфере природопользования, содержащая данные об объемах и структуре выбросов от сжигания топлива, доле уловленных и обезвреженных веществ [База..., 2018]. Сравнительный анализ и расчет удельных, структурных и динамических коэффициентов позволил оценить основные изменения в загрязнении от ГРЭС в городах и поселках их размещения, выявить основные факторы структуры и динамики выбросов.

Детальное исследование влияния Каширской ГРЭС на территорию города производилось с применением [Методы..., 2017] и включало три этапа.

1. *Расчет максимальных разовых приземных концентраций*, которые формируются в заданной точке пространства в результате рассеяния выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) при наиболее неблагоприятных метеорологических условиях. Максимальные разовые концентрации достигаются при наступлении опасной скорости ветра, вектор которой направлен от источника выбросов к рассматриваемой точке. При скорости ветра выше или ниже опасной приземные концентрации снижаются. В расчете максимальных разовых концентраций не учитывается распределение повторяемости ветра по румбам, что позволяет определить для каждой точки пространства максимально возможную концентрацию ЗВ в условиях штатной работы источника. Величина опасной скорости ветра зависит от скорости выхода и расхода газовойоздушной смеси (ГВС); диаметра и высоты источника; разницы между температурой выброса и температурой воздуха. Чем больше температура ГВС относительно окружающего воздуха, тем больше высота, на которую под-

нимаются частицы ЗВ и, следовательно, меньше их приземная концентрация. Согласно [Методы..., 2017], температура воздуха была принята равной среднему максимуму наиболее теплого месяца года, что позволило оценить концентрацию ЗВ для наилучших условий рассеяния. Расчет состоял из следующих шагов:

1.1. Определение максимальной приземной разовой концентрации ЗВ при выбросе загрязненной ГВС из одиночного точечного источника.

1.2. Определение расстояния от источника, на котором наблюдается максимальная разовая приземная концентрация.

1.3. Определение максимальной приземной разовой концентрации в каждом узле сетки, покрывающей исследуемую территорию с фиксированным шагом.

2. *Расчет среднегодовых приземных концентраций*, формирующихся при метеорологических условиях и значениях выбросов, близких к среднегодовым. Концентрации определялись для каждого узла сетки, покрывающей территорию в радиусе 50 км от дымовых труб ГРЭС, с шагом 1000 м с учетом повторяемости различных направлений ветра.

3. *Расчет индекса загрязнения атмосферы (ИЗА)* для каждого узла фиксированной сетки.

Расчеты ИЗА, максимальных разовых и среднегодовых концентраций производились для взвешенных частиц, диоксида серы, оксидов азота, оксидов углерода. Картографирование полей концентраций производилось только для ЗВ, которые формируют их статистически значимое повышение. Используемые в расчетах параметры приведены в табл. 1.

Результаты исследования и их обсуждение. Размещение объектов энергетики в значительной степени определяет загрязнение большинства городов и даже регионов. Теплоэнергетика отличается высокой концентрацией объектов в ограниченном ареале (особенно это касается ТЭЦ). Риски для здоровья населения от этих производств определяются множеством факторов, но основные – это вид сжигаемого топлива, уровень очистки, высота трубы, через которую отходящие газы поступают в атмосферный воздух, местные климатические условия, близость источников загрязнения к жилью, поскольку было доказано, что загрязнение воздуха твердыми частицами статистически и механически связано с увеличением сердечно-сосудистых заболеваний [Douglas, Dockery, 2007; Pope, 2006].

По времени создания станций, которое в значительной степени определяет особенности их размещения (рис. 1), можно выделить пять этапов.

На начальном этапе в 1914–1947 гг. были созданы 14 небольших станций. Их вклад в современную мощность составляет 10%, большинство станций были реконструированы в 1980-е гг. с увеличением мощности и заменой угля и торфа на газ полностью (Шатурская, Ивановская, Нижегородская, Новомосковская, Среднеуральская, Нижнетурьинская) или частично (Томская, Каширская

Т а б л и ц а

Значение параметров, использованных в расчете приземных концентраций загрязняющих веществ

Параметр	Значение
Коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы (А)	140
Средний максимум температуры воздуха самого теплого месяца, °С	23,8
Повторяемость различных направлений ветра, %	Северный – 12,5 Северо-восточный – 6,3 Восточный – 8,8 Юго-восточный – 14 Южный – 14,1 Юго-западный – 14,4 Западный – 18,9 Северо-западный – 10
Высота дымовых труб, м	№1 – 150 №2 – 250 №3 – 250
Диаметр дымовых труб, м	№1 – 7,744 №2 – 8,474 №3 – 8,624
Расход газозвдушной смеси, м ³	№1 – 65 №2 – 1230 №3 – 1170
Взвешенные частицы, т/год	13 753
Диоксид серы, т/год	4 457
Оксиды азота, т/год	15 245
Оксид углерода, т/год	62

ГРЭС). Продолжают использовать уголь ГРЭС в восточной части страны – Кемеровская, Новосибирская (Левобережная), Майская (Хабаровский край).

Лимитирующим фактором развития энергосистемы в этот период был уровень развития электросетей, поэтому станции размещались в непосредственной близости от потребителей и источников топлива – торфа, угля, в непосредственной близости от жилой застройки, на краю малых городов или поселков (пос. Майский, Комсомольск, Нижняя Тура, Электрогорск, Шатура, Кашира, Балахна, Среднеуральск) и даже крупных городов (Артем, Новомосковск, Томск, Кемерово, Астрахань, Новосибирск). Причем за Уралом станции размещались близко к городу, застройка по мере роста постепенно их обходила, и они оказались в центре города. Так, в Кемерово и Томске ГРЭС имеют более центральное положение, чем все ТЭЦ.

В 1950–1955 гг. было пущено еще 10 относительно небольших ГРЭС, их вклад в существующую мощность составляет всего 7%, поскольку это пик создания Волжского каскада ГЭС. Все станции размещены на краю малого, среднего города или поселка, как правило, отделяясь от селитебной зоны железной дорогой и полосой леса (Щекино, Калтан), дачными участками (Суворов, Серов, Заинск) или водохранилищем (Партизанск, пос. Прогресс). Основным топливом в момент создания был уголь, но постепенно станции были переведены с угля на газ (Щекинская, Серовская), с мазута на газ (Заинская); частично переведе-

на на газ Южноуральская ГРЭС. Сохранили преобладание угля в топливном балансе сибирские и дальневосточные Южно-Кузбасская, Эгвекинотская, Райчихинская, Партизанская, Аркагагинская, а также Черепетская ГРЭС в Тульской области.

В 1956–1965 гг. создается каркас самых крупных ГРЭС мощностью 1–2,5 ГВт; 12 станций обеспечивают 23,4% мощностей. Они размещаются в основном в средних городах, а также в Невинномысске и Новочеркасске. В этот период для всех станций характерно отдаленное размещение, как правило, в большой промзоне, в 1–5 км от города (Невинномыск, Назарово) или более чем в 5 км от города (Новочеркасс, Кириши, Белово, Зеленогорск). Относительно близко, в 1–1,5 км, но все же изолировано, расположены крупные станции в Конаково, Верхнем Тагиле, Мысках, Невинномыске, Троицке, Назарово.

В европейской части страны ГРЭС строятся на газовом топливе (Невинномысская, Конаковская), постепенно переводятся на газовое топливо с угольного (Новочеркасская, Верхнетагильская, Яйвинская) или мазутного (Киришская ГРЭС). На Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке в топливном балансе сохраняется уголь (Томь-Усинская, Троицкая, Красноярская, Назаровская, Беловская, Сахалинская, Кармановская). Увеличение мощностей на большинстве станций производилось в 2008–2018 гг. за счет парогазовых установок, что не сопровождалось большим приростом выбросов.

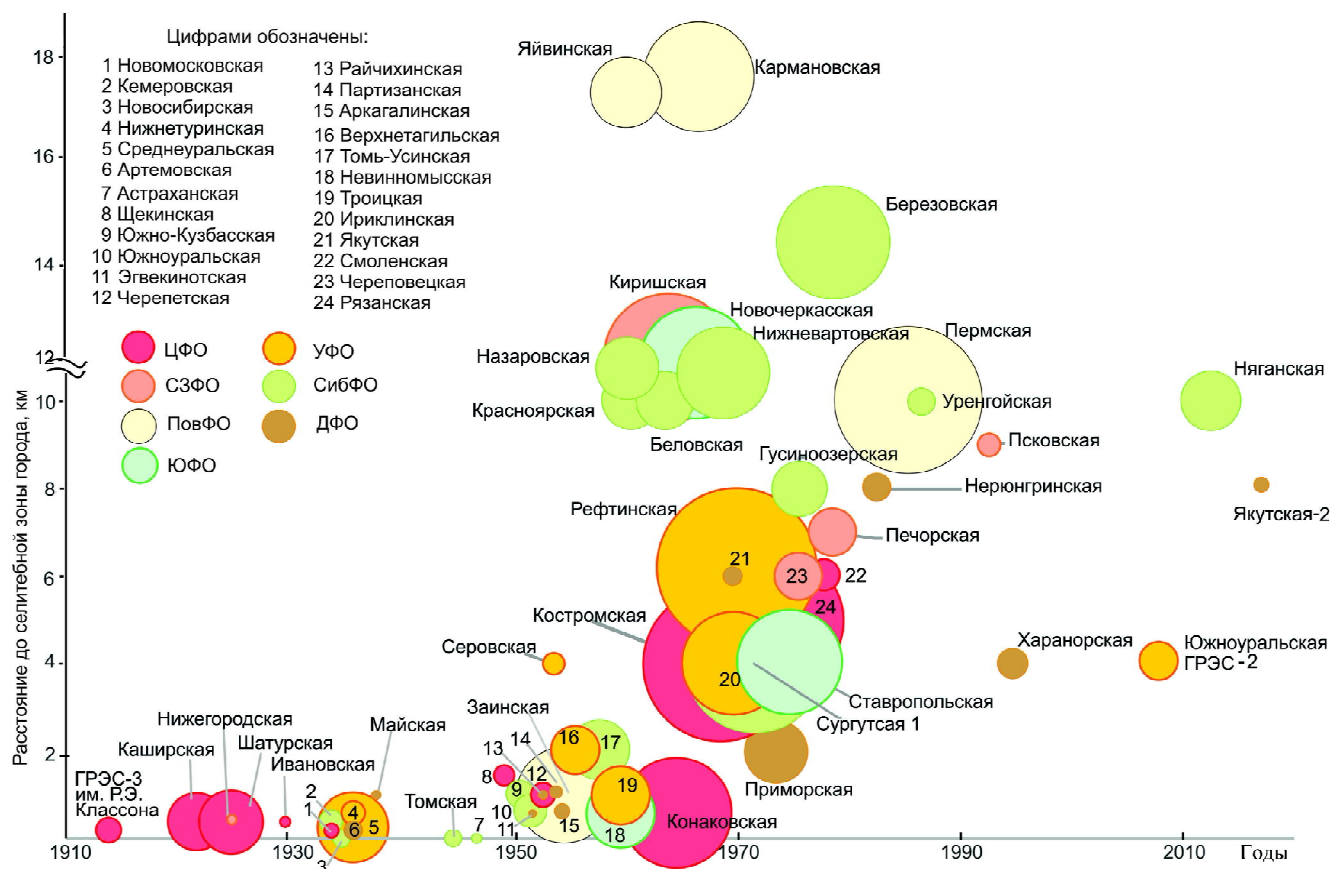


Рис. 1. Размещение ГРЭС относительно границ города в зависимости от времени запуска.

Примечание: размер значка пропорционален установленной мощности станции

Fig. 1. Location of power plants according to the distance from the closest city, date of start-up.

Note: Size of the icon is proportional to the installed capacity of power plant

В период с 1968 по 1995 г. в энергосистему страны была введена 21 ГРЭС, установленная мощность которых составила 57,1% современного уровня. Большинство из них работают в основном на газовом топливе, из угольных это только крупные станции в центре районов его добычи – Рефтинская, Приморская, Нерюнгринская, Березовская, Харанорская. Общим для данной группы является размещение – ГРЭС уходят от крупных городов, минимальное расстояние до селитебных территорий возрастает до 2–5 км. В основном станции размещаются в поселках – Серебряный бор (4–5 км от Нерюнгри), Лимбяха (15 км от г. Новый Уренгой), Озерный Смоленской обл., Энергетик Оренбургской обл., Ясногорск Забайкальского края, Кадуй Вологодской обл., Солнечнодольск Ставропольского края, пос. Рефтинский Свердловской обл., Лучегорск Приморского края. Часть станций размещается в сверхмалых городах с населением меньше 20 тыс. жителей – Дедовичи, Волгореченск, Новомичуринск, Гусиноозерск; 30–40 тыс. жителей – Добрянка, Шарыпово, Печора. Относительно близко к крупным городам строятся только две Якутские станции (на высоком берегу Ленской старицы), две Сургутские станции на попутном газе на берегу Оби и Нижневартовская. То есть ГРЭС размещаются с учетом экологического фактора максимально изолировано от селитебных территорий.

Эта тенденция продолжается в последние годы; в 2008–2019 гг. были пущены четыре ГРЭС: в 4 км от Южноуральска в 5 км от Нягани, на окраине Якутска и в селе Ильинское (Сахалинская область) – единственная небольшая станция на угле. Новый этап трансформации отечественной энергетики и связанного с ней загрязнения связан не столько со строительством станций, сколько с реконструкцией и модернизацией ГРЭС 1-го и 2-го этапов. Это позволяет сохранить мощности в густонаселенных районах, прежде всего Центральной России, при этом сократив выбросы в атмосферу, снизить уровень загрязнения. Например, на Каширской ГРЭС, в результате модернизации 2008–2009 гг. не только была увеличена мощность станции на 21% для покрытия растущего дефицита Московской области, но и сократились выбросы на 27% за один год (с 37 тыс. до 27 тыс. т в 2010 г.). Большие темпы сокращения объема выбросов достигались на станции только в период системного кризиса 1990-х гг. и были связаны с 50%-м спадом производства электроэнергии.

Современный уровень загрязнения воздуха от ГРЭС. ГРЭС независимо от размера являются крупнейшим источником загрязнения в центре своего размещения. В 1990 г. было девять ГРЭС, которые имели объем выбросов более 100 тыс. т, к 1998 г. таких станций осталось всего две (Рефтинская и

Троицкая), а с 2012 г. только Рефтинская. В 2018 г. объем ее выбросов превысил даже уровень 1990 г. и составил 250 тыс. т, что связано с использованием высокозольного экибастузского угля. Масштаб ГРЭС как источника загрязнения зависит не столько от мощности станций, сколько от характера сжигаемого топлива.

Высокий объем выбросов (40–70 тыс. т) в 2018 г. наблюдался у Новосибирской, Приморской, Назаровской и Беловской ГРЭС, Красноярской ГРЭС-2 и Гусинозерской ГРЭС на высокозольном угле, а также лидера по мощности, но работающей на газе Сургутской ГРЭС-1. Кроме Приморской и Назаровской ГРЭС, где объем выбросов в последние годы стабилизировался, остальные станции снижали объемы выбросов в кризисный период и увеличивали в период экономического роста, что связано со стратегией использования мощностей. При снижении выработки выводятся в резерв наименее эффективные фонды.

Средний объем выбросов (10–40 тыс. т) характерен для относительно небольших (Харанорская, Артемовская, Нерюнгринская, Кемеровская, Черепетская) или средних по мощности угольных станций, сокративших объем загрязнения, поставивших системы очистки (Томь-Усинская и Троицкая), крупных станций на газовом топливе (Костромская, Рязанская, Нижневартовская), а также станций, частично переведенных на газовое топливо – Томской ГРЭС-2 и Южноуральской ГРЭС-1.

Умеренный объем выбросов (1–10 тыс. т) формируется от небольших угольных станций на Дальнем Востоке (Райчихинская, Майская, Саха-

линская, Партизанская), а также средних по мощности газовых или частично переведенных на газ (Череповецкая, Смоленская, Новочеркасская).

Незначительный объем выбросов (до 1 тыс. т) фиксируется на небольших (30–250 МВт) станциях в отдаленных районах. Это угольные Эгвекинотская, Аркагалинская, Сахалинская ГРЭС-2.

Топливный баланс и возраст оборудования определяют и удельные выбросы (в расчете на объем произведенной энергии). Самые низкие удельные выбросы имеют центры современных парогазовых установок, значительно ниже не только уровня центров, где расположены электростанции со старым оборудованием, использующие уголь в качестве топлива (Суворов, Мыски, Верхний Тагил), но и центров размещения относительно новых крупных станций, использующих газ (Волгореченск, Добрянка) [Крылов и др., 2005].

Динамика выбросов в атмосферу характеризуется общим трендом к сокращению, но тенденции неоднократно менялись. В 1990-е гг. объем выбросов энергетики сокращался темпом на 5% медленнее, чем в целом по промышленности. Основное сокращение наблюдалось именно на ГРЭС, что было связано со спадом производства. В 1998–2018 гг. выбросы вида деятельности «производство, распределение электроэнергии, пара, газа и воды» сократились на 14%, а выбросы ГРЭС в 2 раза.

За период с 2008 по 2018 г. выбросы от энергетики сокращались немного медленнее, чем промышленные выбросы в целом (рис. 2), в результате ее доля в загрязнении атмосферы страны имеет небольшую, но устойчивую тенденцию к увеличению

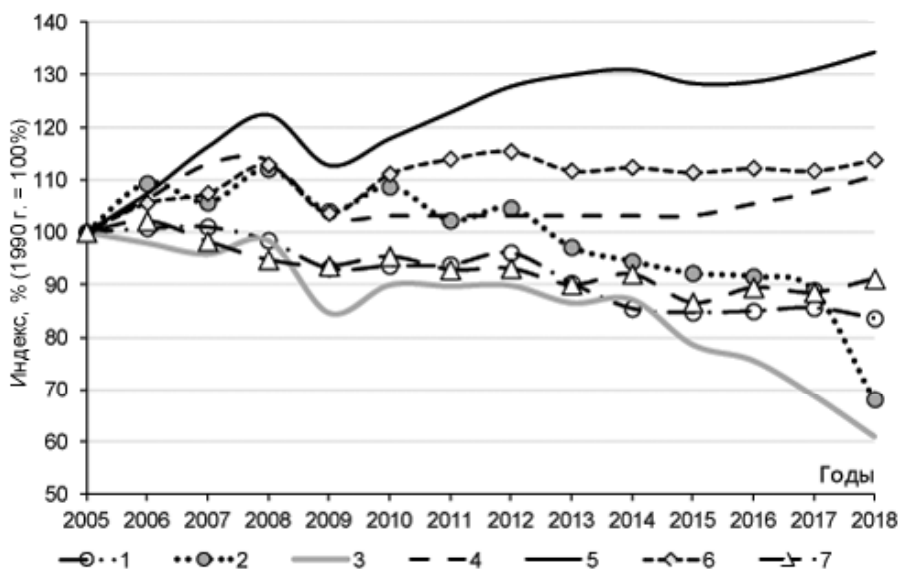


Рис. 2. Динамика объемов производства и выбросов от стационарных источников, энергетических объектов и ГРЭС в 2005–2018 гг.: 1 – выбросы в атмосферу от стационарных источников; 2 – выбросы от вида деятельности «обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха»; 3 – выбросы ГРЭС; 4 – промышленное производство (в ценах 2005 г.); 5 – ВВП (в ценах 2005 г.); 6 – производство электроэнергии тепловыми электростанциями; 7 – теплоэнергия

Fig. 2. Dynamics of production volumes and emissions from stationary sources, energy facilities and state district power stations in 2008–2018: 1 – emissions into the atmosphere from stationary sources; 2 – emissions from the type of activity "provision of electric energy, gas and steam; air conditioning"; 3 – emissions from the state district power station; 4 – industrial production (in 2005 prices); 5 – GDP (in 2005 prices); 6 – electricity production by thermal power plants; 7 – heat energy

(от 19,5 до 22% за период с 2008 по 2018 г.). Выбросы ГРЭС сокращались на 7% быстрее, чем отрасль в целом. Отсутствует статистически значимая корреляция между динамикой выбросов от стационарных источников и объемами ВВП, промышленного производства и объемами производства электроэнергии, вероятно из-за того, что выводились из эксплуатации наиболее старые энергоблоки, продолжался перевод на газ и другие изменения, способствующие рассогласованию трендов производства и загрязнения. Наблюдается зависимость только между объемами производства тепловой энергии и выбросами от энергетики (коэффициент корреляции 0,64 с уровнем значимости 95%).

Динамика по разным станциям определялась вводом или, напротив, выводом мощностей, изменениями в объемах производства, структуре топлива и уровнем очистки отходящих газов. На 1 т у. т. сожженного угля в атмосферу выбрасывается твердых и газообразных ЗВ 25–70 кг, мазута – 39–47 кг, а газа – 1,6–10 кг [Сжигание..., 2017].

Наибольший рост объемов выбросов за период с 2005 по 2018 г. был связан с введением станций в эксплуатацию в Нягани, Харанорской, Сахалинской ГРЭС-2 в пос. Томаринский или запуске на полную мощность Артемовской в Приморском крае, расширении Уренгойской, Нижневартовской, Якутской ГРЭС.

На крупных станциях с устаревшим оборудованием конца 1960-х – начала 1970-х гг. с минимальным обновлением наблюдается *увеличение выбросов на 10–100%* при росте производства, причем как на угольных ГРЭС с высокой степенью очистки (86–90%), достигнутой за счет улавливания твердых частиц, так и на газовых с уровнем очистки 0,5–2,5%. Особую опасность представляет их расположение в крупных городских агломерациях (Новосибирская, Нерюнгринская, Рефтинская, Красноярская, Сургутская, Киришская ГРЭС).

Сокращение на 20–40% связано с двумя основными причинами: модернизацией оборудования и сокращением спроса на электроэнергию. Так, сокращение выбросов Назаровской ГРЭС было достигнуто благодаря реализации инвестиционной программы модернизации седьмого энергоблока, позволившей увеличить его мощность и сократить выбросы оксидов азота. Аналогичное сокращение выбросов было зафиксировано для Кемеровской ГРЭС, на которой в 2012 г. произошла замена оборудования; Томь-Усинской ГРЭС в г. Мыски, где в 2014 г. также проведена масштабная реконструкция энергооборудования; Невинномысской ГРЭС, для которой в 2011 г. реализована инвестиционная программа, направленная на увеличение установленной мощности и улучшение экологических и производственных параметров. В свою очередь, сокращение выбросов Печорской ГРЭС можно связать с ограничением востребованности электроэнергии на местном рынке.

Сокращение объемов выбросов на 40–80% характерно для ГРЭС с малыми объемами выбро-

сов (Астраханская ГРЭС, ГРЭС-3 им. Классона, Партизанская ГРЭС, Эгвекинотская ГРЭС), а также для ГРЭС, работающих на газе: Костромская, Нижне-Тушинская, Ставропольская, Средне-Уральская, Заинская ГРЭС. Среди ГРЭС, работающих на смешанном топливе, сокращение также было характерно для Рязанской и Южно-Уральской, степень очистки отходящих газов которых составляет 83–94%. Существенное сокращение выбросов Сахалинской ГРЭС связано с ее постепенным выводом из эксплуатации, которая завершилась полностью в 2019 г.

Наиболее интенсивное сокращение наблюдалось на различных по объемам выбросов станциях. Среди крупнейших загрязнителей выбросы сократили угольные станции – Троицкая и Черепетская ГРЭС, благодаря крупным программам модернизации оборудования, которые включали замену газоочистного оборудования и электрофильтров до уровня очистки 93,7%. В январе 2017 г. также было выведено из эксплуатации неэффективное оборудование второй очереди Черепетской ГРЭС, что снизило ее установленную мощность до 450 МВт. Модернизационные мероприятия также проходили и на Новочеркасской ГРЭС.

Структура выбросов. Многочисленные исследования подтверждают, что топливный баланс является определяющим для структуры выбросов не только городов [Bityukova, Kasimov, 2015], но и стран [European..., 2015; Zhu et al., 2020]. В России основные изменения в структуре топливного баланса, его диверсификации происходили в пореформенный период. В последние 20 лет доля газа в топливном балансе возрастала, но медленно [Дмитриевский и др., 2013].

Работа ГРЭС значительно больше зависит от экономической ситуации, чем работа ТЭЦ, в кризисные годы объем производства и потребления топлива на них сокращается быстрее: угля и газа на 6–11% быстрее, а мазута, напротив, на 20% медленнее. В результате вклад газовой генерации на ГРЭС в объем выбросов в 2 раза меньше, чем в их суммарную установленную мощность в 1998 г., и в 3 раза меньше, чем в 2018 г. Напротив, доля угольной генерации в суммарном объеме выбросов увеличилась до 78%, что в 2,7 раза превышает вклад этих станций в установленную мощность.

Меняется и структура выбросов: при использовании газа 60% приходится на СО и по 20% на NO₂ и углеводороды. При использовании мазута доля твердых частиц минимальна и не превышает 0,5%, немного более 30% составляет вклад СО и углеводородов, 5–7% составляет выброс NO₂, а оставшаяся часть (около 25%) – SO₂, определяемая сернистостью используемой нефти [Сжигание..., 2017]. Наиболее опасны выбросы от сжигания угля, поскольку более трети выбросов составляют твердые частицы золы, содержащие комплекс микроэлементов, в том числе токсичных [Dry..., 2003; The World..., 2008; Расуна et al., 2010; Юдович, Кертис, 2015]. С потреблением угля связывают эмиссию

восьюми цветных металлов (Al, Cu, Pb, Zn, Ni, Sb, Hg и Au) в количестве 5,3 кг/т сожженного угля, однако эта цифра сильно отличается в зависимости от качества топлива и принятых стандартов очистки дымовых газов на тепловых электростанциях [Kumar, Jain, 2010; Tian et al., 2014].

Более 70% мощностей ГРЭС в азиатской части России работает на твердом топливе, и выбросы от энергетических установок составляют более 50–60% от общего потока загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников. Зольность отечественных углей колеблется в широких пределах (8–55%) [ГОСТ Р 51586-2000, 2003; ГОСТ Р 51972-2002..., 2003а; ГОСТ Р 51971-2002..., 2003б]. Соответственно изменяется и запыленность дымовых газов, достигая для высокозольных углей 60–70 г/м³ [ГОСТ Р 50831-95..., 1996]. Средняя концентрация взвешенных частиц в атмосферном воздухе городов азиатской части России на 30% выше, чем в городах европейской части – соответственно, 143 и 110 мкг/м³ [Ежегодник..., 2019]. В европейской части страны по структуре топливного баланса и выбросов в атмосферу выделяется Тульская область, где расположена Черепетская ГРЭС, работающая на угле улучшенного качества Кузнецкого бассейна (марки «Д» и «Г») с повышенной теплотворной способностью и зольностью 8,2–10,1%).

Несмотря на достаточно высокий уровень очистки от твердых частиц, они в значительной степени определяют объемы выбросов угольных станций, качество воздуха и влияние на здоровье в городах [Ревич, 2018; Грачев, 2019; Timofeev et al., 2019]. Так, сравнение общей концентрации взвешенных веществ, измеренных в районе расположения Черепетской ГРЭС, с нормативами ВОЗ, показывает, что на расстоянии до 4 км от ГРЭС качество атмосферного воздуха в настоящее время может считаться неудовлетворительным [Демин и др., 2001].

Различные виды топлива используют станции в регионах, богатых всеми ресурсами, имеющих крупные нефтеперерабатывающие заводы (Коми), либо увеличивающих долю газа для улучшения состояния воздушного бассейна (Челябинская и Свердловская области). Поэтому в структуре выбросов европейских городов-центров размещения ГРЭС именно они определяют преобладание в структуре выбросов оксидов азота, СО и углеводородов при использовании газа, а в восточных центрах угольных станций значительно повышена доля твердых частиц (рис. 3).

Основная модернизация очистных сооружений угольных ГРЭС запаздывает. Фактически достаточно высокий уровень очистки отходящих газов, достигнутый на угольных станциях, не растет в последние годы, и динамика выбросов определяется



Рис. 3. Объем и структура выбросов в атмосферу загрязняющих веществ от ГРЭС, 2018 г.

Fig. 3. The volume and structure of emissions of pollutants into the atmosphere from the state district power station, 2018

в большей степени изменением эмиссии твердых веществ и SO_2 , линейный коэффициент корреляции (при уровне значимости 95%) между изменением и объемом их эмиссии и суммарным объемом выбросов составляет 0,66–0,69 (рис. 4). Топливный баланс остается ведущим фактором загрязнения городов, поскольку модернизационные возможности на действующих энергоблоках исчерпаны при нынешнем уровне инвестирования, простые системы установлены.

Распространение ЗВ в пространстве зависит не только от объема и структуры, но и от высоты трубы станции. На момент строительства для станций 1-го и 2-го этапов трубы были невысокими, а затем были увеличены до 160–180 м. Ареал загрязнения расширился до 7–25 км, в пределах которого ПДК по основным загрязняющим веществам превышались незначительно. На Каширской ГРЭС еще в 1966 г. была построена первая в СССР труба высотой 250 м. Поэтому даже реконструированные станции 1-го этапа нуждаются в изменении топливного баланса.

Оценка воздействия Каширской ГРЭС. Каширская ГРЭС является примером сокращения выбросов и опережающего сокращения плотности загрязнения, сжатия (сокращения площади) ареала при изменении топливного баланса. Станция изначально строилась на угольном топливе. Постепенно наращивая мощность, она диверсифицировала топливный баланс, и к 1990 г. уголь составлял 21%, мазут – 16%, газ – 63%. В период кризиса 1990-х гг. объем производства и потребляемого топлива сократился на 34%, что значительно меньше, чем в среднем по отрасли, поскольку Московская область в наименьшей степени сократила энергопотребле-

ние. В структуре топливного баланса количество угля сократилось в наименьшей степени, и доля его в структуре топливного баланса возросла до 27%, а доля газа сократилась до 57%. В результате объем выбросов сократился с 77 тыс. т до 57 тыс. т, причем в наименьшей степени сократились выбросы твердых веществ. После 2000 г. количество угля, потребляемого станцией, сокращалось, к тому же прекратилось использование подмосковного бурого угля, постепенно проводилась реконструкция. Помимо технического перевооружения третьего энергоблока, проведенного в 2005 г., к 2018 г. сократился объем электроэнергии, вырабатываемый станцией. Совместное действие этих факторов привело к существенному сокращению выбросов ГРЭС: от 40 тыс. т в начале 2000-х до 7 тыс. т в 2018 г.

Результаты расчета максимально разовых приземных концентраций, формирующихся при рассеянии выбросов Каширской ГРЭС в условиях наиболее опасных скоростей ветра, показали, что воздействие выбросов ГРЭС не превышает предельно допустимых норм. Ни по одному из рассмотренных веществ концентрация не превышает ПДК. Максимальную среди всех рассмотренных веществ концентрацию формируют выбросы взвешенных частиц, однако и эта концентрация составляет не более 0,115 ПДК. Наименьшая концентрация формируется в результате выбросов оксида углерода. Она не является статистически значимой и составляет не более $1,9 \cdot 10^{-4}$ ПДК.

Пространственная дифференциация максимальных разовых концентраций схожа по каждому из рассмотренных веществ. Выделяется зона низких

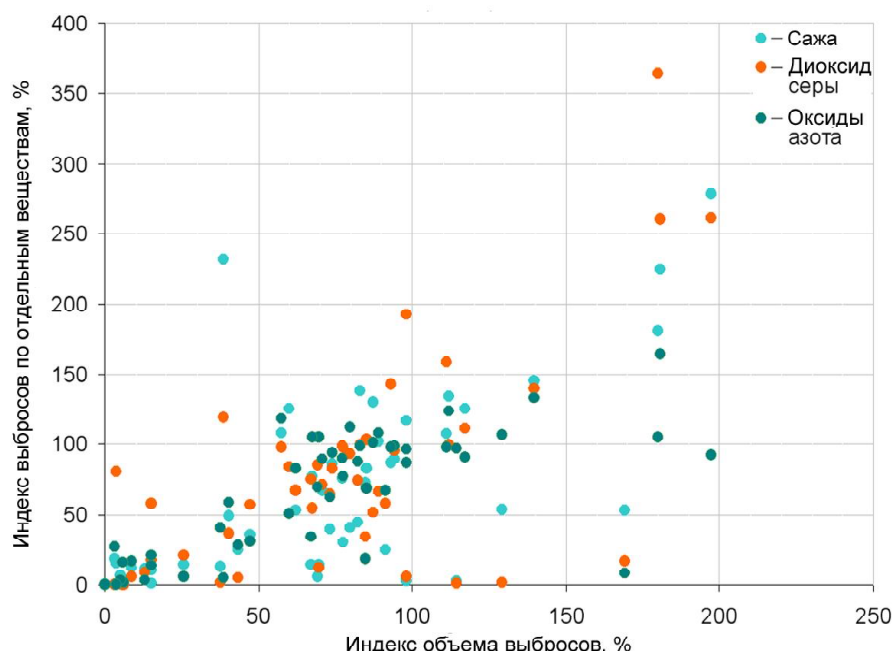


Рис. 4. Взаимосвязь между индексом объема выбросов в атмосферу и индексом объема выбросов отдельных компонентов эмиссий для ГРЭС России, 2008–2018 гг. (2008 г. = 100%)

Fig. 4. Correlation between the index of the emission amount and the index of the emission of individual pollutants for the Russian power plants, 2008–2018 (2008 g. = 100%)

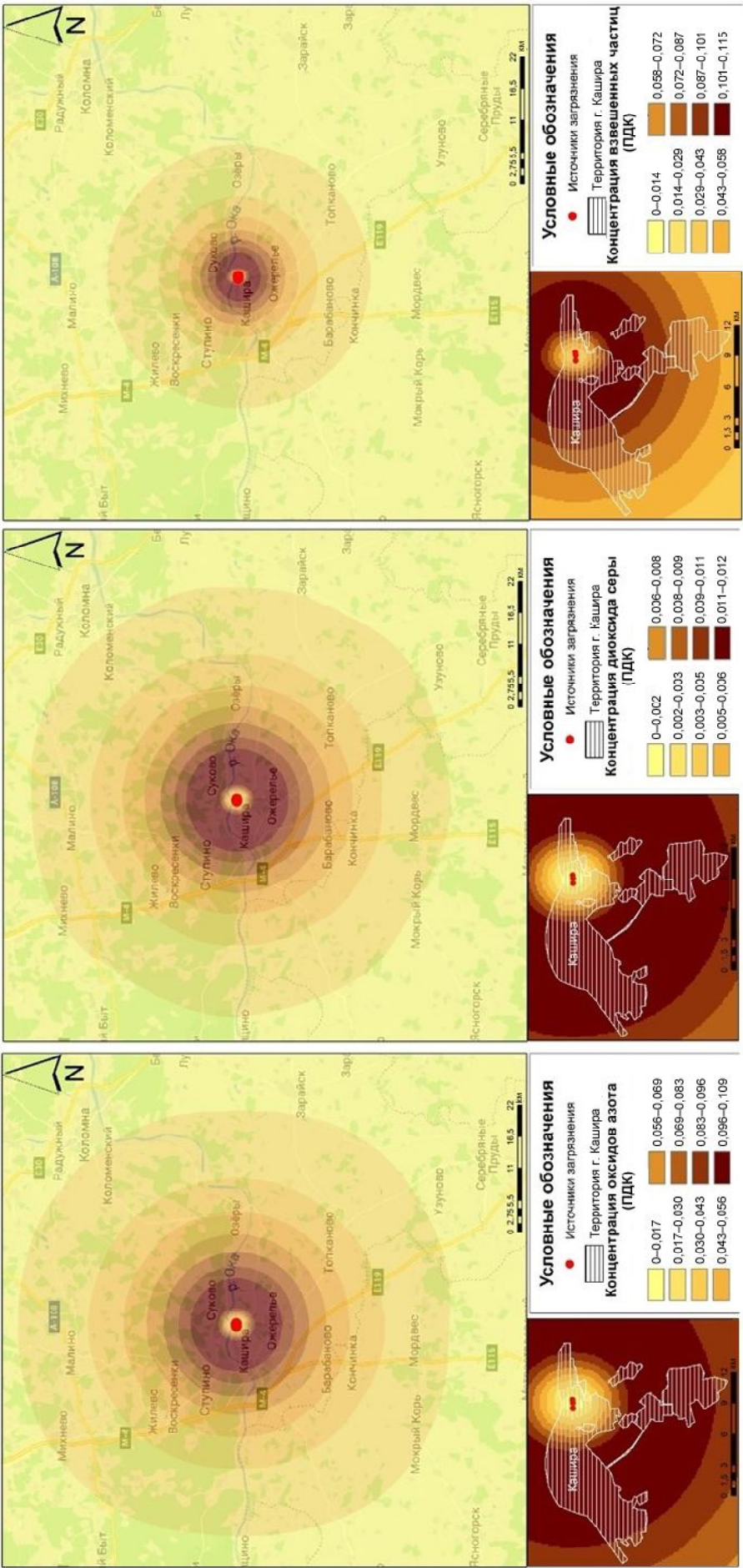


Рис. 5. Максимальные разовые концентрации основных загрязняющих веществ, формирующиеся в результате рассеяния выбросов Каширской ГРЭС (без учета фоновых концентраций)
Fig. 5. Maximum one-time concentrations of main pollutants as a result of dispersion of the Kashirskaaya regional power plant emissions (not including the baseline concentrations)

концентраций в непосредственной близости от источников выброса, связанная с наличием так называемой ветровой тени, характерной для высоких источников. За зоной низких концентраций следует зона их увеличения, в которой достигается ее максимально возможное значение, после чего концентрация монотонно снижается до границ исследуемой области. Различия радиусов ареалов для отдельных ЗВ (от 2,5 км для взвешенных частиц до 6,5 км для диоксида серы) обусловлены разницей скоростей оседания ЗВ. Наибольшие ареалы воздействия характерны для диоксида серы. В условиях действия наиболее опасных скоростей ветра существенная часть г. Кашира находится в зоне с максимальной

среди исследуемой территории концентрацией загрязняющих веществ (рис. 5). Поле максимальных разовых концентраций оксида углерода не описывается по причине их крайне низкой величины, сопоставимой с погрешностью расчета.

Среднегодовые концентрации, формирующиеся в результате рассеяния выбросов Каширской ГРЭС, также находятся в пределах допустимого уровня. Максимальные концентрации среди рассмотренных веществ характерны для взвешенных частиц, однако и они не превышают 0,004 ПДК.

В пределах рассмотренной территории (рис. 6) формируется три зоны с повышенной концентрацией веществ.

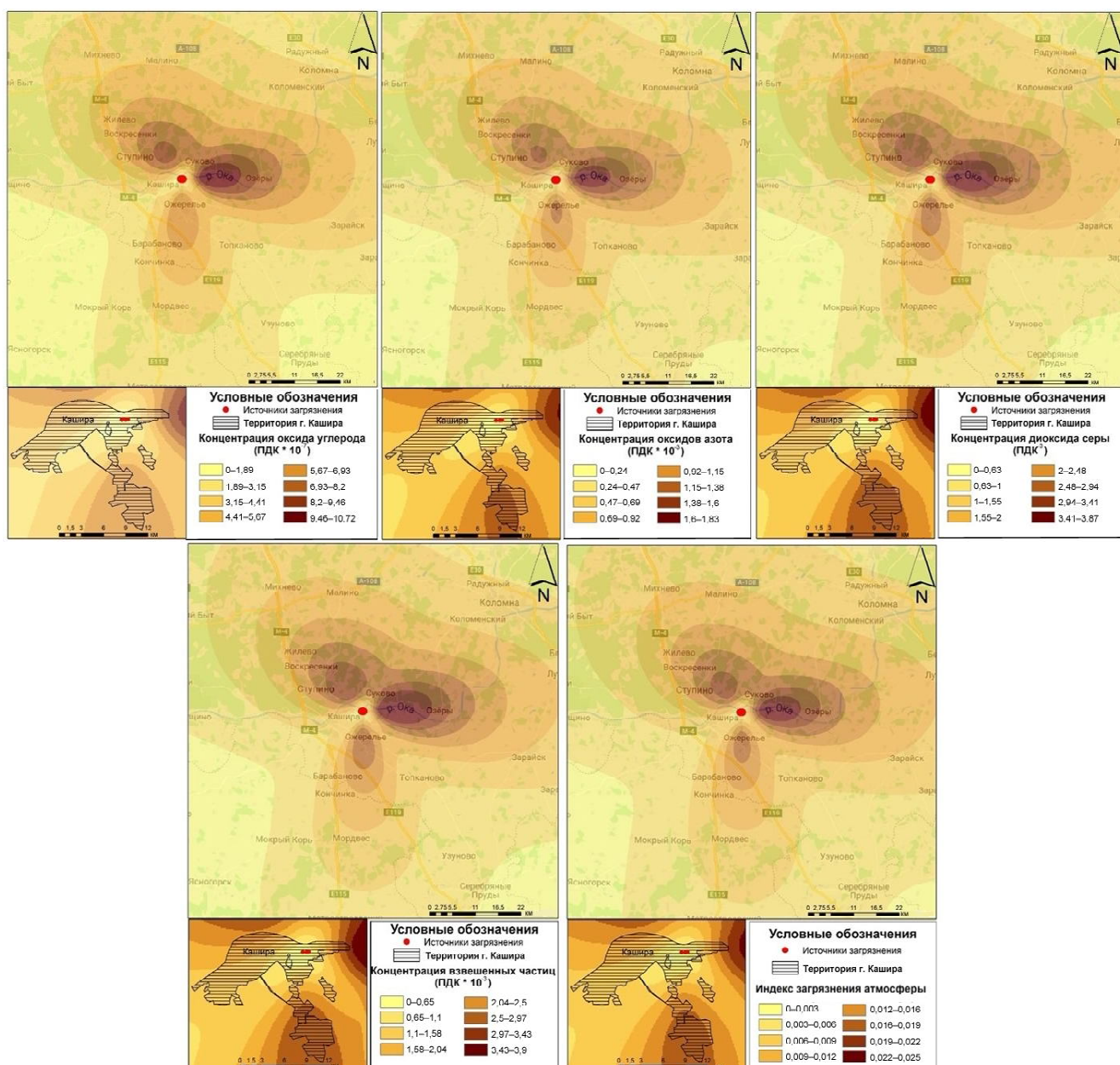


Рис. 6. Среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ и индекс загрязнения атмосферы (ИЗА), формирующиеся в воздухе в результате рассеяния выбросов Каширской ГРЭС (без учета фоновых концентраций)

Fig. 6. Average annual concentrations of main pollutants and air pollution index as a result of dispersion of the Kashirskaya regional power plant emissions (not including the baseline concentrations)

Первая зона расположена на удалении 4–18 км к востоку от Каширской ГРЭС. В пределах этой зоны наблюдаются абсолютные максимумы среднегодовых концентраций по каждому из рассмотренных веществ.

Вторая зона расположена к северо-западу от ГРЭС на удалении 3–15 км. В пределах зоны формируется локальный максимум концентраций ЗВ (около 75% от абсолютного максимума).

Третья зона повышенной концентрации расположена к югу от ГРЭС на удалении 4–12 км. Локальный максимум концентрации, формирующийся в ее пределах, составляет около 65% от абсолютного.

Наличие зон повышенной среднегодовой концентрации загрязняющих веществ объясняется режимом ветра в пределах исследуемой территории, а конфигурация зон коррелирует с повторяемостью ветра, поэтому территориальная структура ареала загрязнения в значительной степени сохраняется. Предшествующие расчеты, сделанные в 1990–2005 гг., фиксировали, что при в три раза больших выбросах к западу от станции на расстоянии до 10 км и до 2–5 км на восток также формировалась вытянутая с севера на юг так называемая «теневая зона», а основной участок загрязнения находился к востоку. При пятикилометровом удалении от источника начинается увеличение концентрации, максимум индекса концентрации на расстоянии 15 км наблюдается с северной и южной сторон, а максимум на западе удален от станции на 20–25 км [Битюкова и др., 2003]. Однако плотность загрязнения в пределах каждой из этих зон сократилась в 7–10 раз, и концентрация всех загрязняющих веществ не достигает ПДК.

Для исследуемой территории величина ИЗА варьирует от 0 до 0,025, что соответствует невысокой интенсивности воздействия. Пространственное распределение ИЗА наиболее близко к распределению концентраций взвешенных частиц, так как именно это загрязняющее вещество вносит решающий вклад в его величину (см. рис. 6).

Таким образом, выбросы Каширской ГРЭС не приводят к превышению предельно допустимых концентраций ни в условиях, близких к среднегодовым, ни в условиях наиболее опасных скоростей ветра. Наблюдается три зоны накопления загрязняющих веществ, в пределах которых их концентрация увеличивается более чем в три раза от среднего значения при метеорологических условиях, близких к среднегодовым.

В условиях опасных скоростей ветра наблюдается превышение концентраций более чем в четыре раза относительно средних на удалении около 2,5–6,5 км. При этом для быстро оседающих взвешенных частиц максимум концентрации достигается ближе к источнику, а для хорошо рассеивающихся диоксида серы и оксидов азота – дальше от источника выбросов.

Наибольший вклад в загрязнение вносят выбросы взвешенных частиц и диоксида серы. Выбросы оксидов азота несколько менее значимы с точ-

ки зрения увеличения приземных концентраций. Приземные концентрации оксида углерода крайне незначительны ввиду небольшого объема выбросов этого вещества, а также его низкой скорости оседания.

Выводы:

– основные структурные сдвиги в производстве электроэнергии и структуре топливного баланса произошли в годы системного кризиса 1990-х гг. ГРЭС, которые значительно больше реагируют на экономическую динамику, сократили производство больше, чем ТЭЦ, топливный баланс их трансформировался медленнее. В последние годы стагнации нет четкой зависимости объемов выбросов от объемов производства электроэнергии, рост загрязнения наблюдался на станциях, построенных на 3-м этапе и не прошедших масштабную реконструкцию, для них приоритетным является обновление оборудования. Для ГРЭС, размещенных на поздних этапах на расстоянии около 15 км от селитебных зон, приоритетным является увеличение газа в структуре топливного баланса;

– изменения в структуре выбросов происходят под влиянием структуры топливного баланса, которая также стабилизировалась в последние годы, и в меньшей степени при внедрении систем очистки. Выбросы сокращаются в основном за счет твердых частиц, поскольку именно по ним достигается высокая (до 90%, но немного ниже лучших мировых стандартов) степень очистки, а на газовых станциях, где в структуре выбросов преобладают СО, углеводороды и оксиды азота, степень очистки составляет 5–15%;

– с экологической точки зрения ГРЭС более эффективны, чем ТЭЦ, по удельному загрязнению на единицу продукции, по наличию эффекта согласования тенденций объемов производства и загрязнения. Однако их роль в энергетической системе страны по мере снижения энергоемкости экономики, развития сети высоковольтных ЛЭП, структурных сдвигов в производстве, усилении роли возобновляемых источников энергии обуславливает то, что именно на них в первую очередь сокращается производство;

– в современных условиях глубина модернизации будет определять сдвиги в загрязнении и позволит эксплуатировать станции 1-го и 2-го поколений в энергодефицитных районах на основе новых стандартов. На примере Каширской ГРЭС, одной из старейших в стране и расположенной в пределах крупнейшей городской агломерации, подтверждено, что стратегия размещения ГРЭС с высокими трубами за пределами селитебных территорий привела к тому, что при существенном сокращении выбросов от ГРЭС быстрее, чем от топливной энергетики в целом, плотность загрязнения (отношение объема выбросов к площади ареала рассеяния) сократилась еще быстрее. При существующем уровне снижения объема выбросов ЗВ при сохранении высоты труб, рассчитанных на объемы выбросов предыдущего периода ускоренной индустриализации, можно говорить о фактическом отсутствии ареала загрязнения, т. е. отсутствии превышений ПДК. Однако

структура поля распределения загрязнения вокруг источника сохраняется, наибольшие уровни концентрации наблюдаются для твердых частиц, что создает повышенную опасность, а наименее загрязненные территории находятся в непосредственной

близости от станции. Одновременно, влияние в значительной степени смещается за пределы городских территорий, что вписывается в общий тренд сдвигов атмосферного загрязнения, характерного для большинства отраслей промышленности.

Благодарности. Работы выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-77-30004) и в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Битюкова В.Р., Бурденко В.О., Урезченко В.М. Новые методы изучения ареалов атмосферного загрязнения предприятий теплоэнергетики (на примере Московской области) // Проблемы региональной экологии. 2003. № 5. С. 29–39.
- Битюкова В.Р., Петухова Н.В. Региональные и субрегиональные контрасты промышленного загрязнения воздушного бассейна России в 2008–2016 гг. // Экология и промышленность России. 2018. № 5. С. 17–23. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-5-17-23.
- ГОСТ Р 51586-2000. Угли бурые, каменные и антрациты Кузнецкого и Горловского бассейнов для энергетических целей. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 2003. 10 с.
- ГОСТ Р 51972-2002. Угли Восточной Сибири для энерготехнологических целей. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 2003а. 7 с.
- ГОСТ Р 51971-2002. Угли Восточной Сибири для энергетических целей. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 2003б. 6 с.
- ГОСТ Р 50831-95. Тепломеханическое оборудование. Общие технические требования. М.: Издательство стандартов, 1996. 24 с.
- Грачев В.А. Энергетические технологии и устойчивое развитие // Экология и промышленность России. 2019. № 10. С. 56–60. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-10-61-65.
- Демин В.Ф., Васильев А.П., Крылов Д.А. Процедуры и методы сравнительной оценки экологического риска для разных способов производства электроэнергии // Проблемы оценки риска загрязнения поверхностных и подземных вод в структуре ТЭК: сб. науч. тр. / ОАО «Газпром»; ООО «ВНИИГаз». М.: Наука, 2001. С. 135–145.
- Дмитриевский А.Н., Мастепанов А.М., Кротова М.В. Энергетические приоритеты и безопасность России (нефтегазовый комплекс) / под ред. А.М. Мастепанова. М.: ООО «Газпром эксп», 2013. 336 с.
- Крылов Д.А., Крылов Е.Д., Путинцева В.П. Оценки выбросов в атмосферу SO_2 , NO_x , твердых частиц и тяжелых металлов при работе ТЭС, использующих кузнецкий и канско-ачинский уголь // Бюллетень по атомной энергии. 2005. № 4. С. 32–36.
- Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. XXIX. № 3. С. 53–78.
- Юдович Я.Э., Кертис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2015. 648 с.
- Bitukova V.R., Kasimov N.S. Atmospheric pollution of Russia's cities: assessment of emissions and immissions based on statistical data, *GEOFIZIKA*, 2012, vol. 29, p. 53–67.
- Zhu C., Tian H., Hao J. Global anthropogenic atmospheric emission inventory of twelve typical hazardous trace elements, 1995–2012, *Atmospheric Environment*, 2020, vol. 220, p. 117061, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117061.
- Douglas W., Dockery Sc.D. Cardiovascular Risks from Fine Particulate Air, *New England Journal of Medicine*, 2007, vol. 356, no. 5, p. 511–513.
- Henkel J., Kunde R., Gaderer M., Erdmann G. Assessment of Global Emissions, Local Emissions and Immissions of Different Heating Systems, *Sustainability*, 2009, vol. 1, p. 494–515.
- Kumar U., Jain V.K. Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India, *Energy*, 2010, no. 35, p. 1709–1716.
- Nagvi A., Zwickl K. Fifty shades of green: Revisiting decoupling by economic sector and air pollutants, *Ecological Economics*, 2017, vol. 133, p. 111–126.
- Pacyna E.G., Pacyna J.M., Sundseth K., Munthe J., Kindbom K., Wilson S., Steenhuisen F., Maxson P. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020, *Atmospheric Environment*, 2010, vol. 44, p. 2487–2499.
- Pope C.A. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect, *Journal of Air & Waste Management Association*, 2006, vol. 56, p. 709–742.
- The World Atlas of Atmospheric Pollution. R.S. Sokhi (ed.), Anthem Press, 2008, 345 p.
- Tian H.Z., Zhou J.R., Zhu C.Y., Zhao D., Gao J.J., Hao J.M., He M.C., Liu K.Y., Wang K., Hua S.B. A Comprehensive global inventory of atmospheric antimony emissions from anthropogenic activities, 1995–2010, *Environmental Science & Technology*, 2014, vol. 48, p. 10 235–10 241.
- Timofeev I., Kosheleva N., Kasimov N. Health risk assessment based on the contents of potentially toxic elements in urban soils of Darkhan, Mongolia, *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 242, p. 279–289.
- Электронные ресурсы
- База данных Росприроднадзора. 2018. URL: <http://grn.gov.ru/opendata> (дата обращения 08.07.2020).
- Ежегодник загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2018 год. СПб., 2018. 234 с. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/> (дата обращения 06.07.2020).
- Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе (утв. Приказом Минприроды РФ №273 от 06.06.2017 «Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе»). URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/36322?items=1> (дата обращения 22.05.2020).
- Основные показатели окружающей среды: статистический бюллетень. М.: Федеральная служба государственной статистики (Росстат), 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 10.06.2020).
- Охрана окружающей среды в России // Статистический сборник. М.: Росстат, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2019. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 10.02.2020).
- Показатели муниципальных образований. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). 2018. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 10.07.2020).

Промышленность России. Росстат. 2019. URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения 20.11.2019).

Сжигание топлива на крупных установках в целях производства энергии. М.: Бюро НДТ, 2017. URL: http://old.gost.ru/wps/wcm/connect/e7a9078043db0e39914fd567c7308a4d/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB_16.1.pdf?MOD=AJPERES (дата обращения 22.05.2020).

Dry Deposition. EMEP Report 1, 2003, part 8, URL: <http://emep.int/UniDoc/node11.html> (дата обращения 20.11.2019).

European Space Agency (ESA), 2015, Climate research data package (CRDP), URL: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php> (дата обращения 20.01.2020).

IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe (eds.), Published IGES, Japan, URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_0_Cover.pdf.

Поступила в редакцию 01.10.2020

После доработки 30.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

V.R. Bityukova¹, V.S. Dehnich², N.V. Petuhova³

IMPACT OF REGIONAL POWER PLANTS ON AIR POLLUTION IN RUSSIAN CITIES

The article discusses the main trends in the nature of atmospheric pollution by large thermal power plants. The stages of formation of the modern Russian energy system are identified. The power plants were built farther from the cities gradually shifting from large cities to medium and small cities and urban-type settlements. Regional electric power plants as a basic element of the country's energy system are much more dependent on the economic situation than CHP plants. The amount of energy produced and the fuel consumption of regional electric power plants decreases faster in crisis years. The dynamics and structure of regional electric power plants emissions depend on three main factors, i. e. capacity utilization; fuel balance structure; and modernization and creation of new treatment facilities. The share of gas-burning plants in total emissions of regional power plants is three times less than their share in the total capacity. On the other hand, coal-based electricity generation accounts for 78% of emissions that is 2.7 times more than their share in the total capacity. The modern period is characterized mostly by modernization of the first-generation power plants rather than construction of new ones. Thus the emissions are reduced, their structure is transformed and the area of pollution becomes smaller. Case study of the impact of the Kashira regional power plant on the air quality shows that atmospheric emissions reduced significantly due to modernization. The main air pollutants near the Kashira regional power plant are particulate matters and sulphur dioxide, while carbon oxide is the least contributor to air pollution.

Key words: atmospheric emissions; urban ecology, fuel power industry, industrial ecology, energy system

Acknowledgements. The work was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 19-77-30004) and carried out within the framework of the Development Program of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of the Lomonosov Moscow State University "The future of the planet and global environmental changes".

REFERENCES

Bityukova V.R., Burdenko V.O., Urezchenko V.M. Novye metody izucheniya arealov atmosfernogo zagryazneniya predpriyatii teploenergetiki (na primere Moskovskoi oblasti) [New Methods for Studying Areas of Atmospheric Pollution by Heat Power Industry Enterprises (case study of the Moscow Region)], *Problemy regional'noi ekologii*, 2003, no. 5, p. 29–39. (In Russian)

Bityukova V.R., Kasimov N.S. Atmospheric pollution of Russia's cities: assessment of emissions and immissions based on statistical data, *GEOFIZIKA*, 2012, vol. 29, p. 53–67.

Bityukova V.R., Petukhova N.V. Regional'nye i subregional'nye kontrasty promyshlennogo zagryazneniya vozdušnogo basseina Rossii v 2008–2016 gg. [Regional and subregional contrasts of industrial air pollution in Russia in 2008–2016], *Ekologiya i*

promyshlennost' Rossii, 2018, vol. 22, no. 5, p. 17–23, DOI: 10.18412/1816-0395-2018-5-17-23. (In Russian)

Demin V.F., Vasil'ev A.P., Krylov D.A. [Procedures and methods for comparative assessment of the environmental risk of different methods of electricity production], *Problemy otsenki riska zagryazneniya poverkhnostnykh i podzemnykh vod v strukture TEK*, Sbornik nauchnykh trudov OAO "Gazprom", OOO "VNIlgaz" [Problems of assessing the risk of pollution of surface and ground waters in the structure of the fuel and energy complex, Collection of scientific works of OJSC "Gazprom", Vniigaz LLC], Moscow, Nauka Publ., 2001, p. 135–145. (In Russian)

Dmitrievskii A.N., Mastepanov A.M., Krotova M.V. Energeticheskie priority i bezopasnost' Rossii (neftegazovyi

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: v.r.bityukova@geogr.msu.ru

² Lomonosov Moscow State University, Kazakhstan Branch, Department of Ecology and Nature Management, Lecturer; e-mail: vodo.ast@gmail.com

³ ERM Eurasia Ltd, Consultant; e-mail: nv.petukhova@mail.ru

- kompleks) [Energy priorities and safety of Russia (oil and gas complex)], A.M. Mastepanova (ed.), Moscow, OOO "Gazprom ekspozitsiya", 2013, 336 p. (In Russian)
- Douglas W., Dockery Sc.D. Cardiovascular Risks from Fine Particulate Air, *New England Journal of Medicine*, 2007, vol. 356, no. 5, p. 511–513
- GOST R 50831-95. Teplo-mekhanicheskoe oborudovanie. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya [Boiler plants. Heat-mechanical equipment. General technical requirements], Moscow, Izdatelstvo Standartov Publ., 1996, 24 p. (In Russian)
- GOST R 51586-2000. Ugli burye, kamennye i antratsity Kuznetskogo i Gorlovskogo bassejnov dlya jenergeticheskikh celej. Tekhnicheskie usloviya [Brow coals, hard coal and anthracites of Kuznetsk and Gorlovka basins for power supply purposes. Specification], Moscow, Izdatelstvo Standartov Publ., 2003, 10 p. (In Russian)
- GOST R 51971-2002. Ugli Vostochnoj Sibiri dlya jenergeticheskikh celej. Tekhnicheskie usloviya [East Siberia coals for power supply and technological purposes. Specifications], Moscow, Izdatelstvo Standartov Publ., 2003, 6 p. (In Russian)
- GOST R 51972-2002. Ugli Vostochnoj Sibiri dlya jenergotekhnologicheskikh celej. Tekhnicheskie usloviya [East Siberia coals for power supply and technological purposes. Specifications], Moscow, Izdatelstvo Standartov Publ., 2003, 7 p. (In Russian)
- Grachev V.A. Energeticheskie tekhnologii i ustojchivoe razvitiye [Energy technology and sustainable development], *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, vol. 23, no. 10, p. 56–60, DOI: 10.18412/1816-0395-2019-10-61-65.
- Henkel J., Kunde R., Gaderer M. and Erdmann G. Assessment of Global Emissions, Local Emissions and Immissions of Different Heating Systems, *Sustainability*, 2009, vol. 1, p. 494–515.
- Judovich Ja. Je., Kertis M.P. Toksichnye jelementy-primesi v iskopaemykh ugljah [Toxic trace elements in fossil coals], 2-nd edition, Moscow; Berlin, Direkt-Media, 2015, 648 p. (In Russian)
- Krylov D.A., Krylov E.D., Putintseva V.P. Otsenki vybrosov v atmosferu SO₂, NO_x, tverdykh chastits i tyazhelykh metallov pri rabote TES, ispol'zuyushchikh kuznetskii i kansk-achinskii ugol' [Estimates of emissions of SO₂, NO_x, solid particles and heavy metals into the atmosphere during the operation of thermal power plants using Kuznetsk and Kansk-Achinsk coal], *Byulleten' po atomnoi energii*, 2005, no. 4, p. 32–36. (In Russian)
- Kumar U., Jain V.K. Time series models (Grey-Markov, Grey Model with rolling mechanism and singular spectrum analysis) to forecast energy consumption in India, *Energy*, 2010, no. 35, p. 1709–1716.
- Nagvi A., Zwickl K. Fifty shades of green, Revisiting decoupling by economic sector and air pollutants, *Ecological Economics*, 2017, vol. 133, p. 111–126
- Pacyna E.G., Pacyna J.M., Sundseth K., Munthe J., Kindbom K., Wilson S., Steenhuisen F., Maxson P. Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020, *Atmospheric Environment*, 2010, vol. 44, p. 2487–2499.
- Pope C.A. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect, *Journal of Air & Waste Management Association*, 2006, vol. 56, p. 709–742.
- Revich B.A. Melkodispersnye vzveshennye chastitsy v atmosfernom vozdukh i ikh vozdeistvie na zdorov'e zhitelei megapolisov [Finely dispersed particulate matter in the atmospheric air and the impact on residents' health in megalopolises], *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, 2018, vol. XXIX, no. 3, p. 53–78. (In Russian)
- The World Atlas of Atmospheric Pollution. Sokhi R.S. (ed.), Anthem Press, 2008, 345 p.
- Tian H.Z., Zhou J.R., Zhu C.Y., Zhao D., Gao J.J., Hao J.M., He M.C., Liu K.Y., Wang K., Hua S.B. A Comprehensive global inventory of atmospheric antimony emissions from anthropogenic activities, 1995–2010, *Environmental Science & Technology*, 2014, vol. 48, p. 10 235–10 241.
- Timofeev I., Kosheleva N., Kasimov N. Health risk assessment based on the contents of potentially toxic elements in urban soils of Darkhan, Mongolia, *Journal of Environmental Management*, 2019, vol. 242, p. 279–289.
- Zhu C., Tian H., Hao J. Global anthropogenic atmospheric emission inventory of twelve typical hazardous trace elements, 1995–2012, *Atmospheric Environment*, 2020, vol. 220, p. 117061, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2019.117061.
- Web sources
- Baza dannykh Rosprirodnadzora [Rosprirodnadzor Database], 2018, URL: <http://rpn.gov.ru/opendata> (access date 08.07.2020). (In Russian)
- Dry Deposition, EMEP Report 1 (2003), part. 8, URL: <http://emep.int/UniDoc/node11.html> (access date 20.11.2019).
- European Space Agency (ESA), 2015, Climate research data package (CRDP), URL: <http://maps.elie.ucl.ac.be/CCI/viewer/download.php>. <https://doi.org/10.1016/j> (access date 20.01.2020)
- Ezhegodnik zagryazneniya atmosfery v gorodakh na territorii Rossii za 2018 god, Sankt-Peterburg [Yearbook of air pollution in cities in Russia for 2018. St. Petersburg], 2018, 234 p., URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/> (access date 06.07.2020). (In Russian)
- IPCC 2006, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe (eds.), Published, IGES, Japan, URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/1_Volume1/V1_0_Cover.pdf (access date 20.01.2020).
- Metody raschetov rasseivaniya vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosfernom vozdukh (utv. Prikazom Minprirody RF no. 273 ot 06.06.2017 "Ob utverzhdenii metodov raschetov rasseivaniya vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosfernom vozdukh") [Methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the atmospheric air (approved by Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, no. 273 dated 06.06.2017 "On approval of methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the atmospheric air")], URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/36322?items=1> (access date 22.05.2020). (In Russian)
- Okhrana okruzhayushchei sredy v Rossii. Statisticheskii sbornik (Rosstat), 2019, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018 [Environmental protection in Russia. Statistical collection (Rosstat), 2019, 2010, 2012, 2014, 2016, 2018], URL: <http://www.gks.ru> (access date 10.02.2020). (In Russian)
- Osnovnye pokazateli okruzhayushchei sredy: statisticheskii byulleten', Moscow, Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki (Rosstat) [Environmental Key Indicators: Statistical Bulletin. Moscow, Federal State Statistics Service (Rosstat) 2009, 2011, 2013, 2015, 2017, 2019], URL: <http://www.gks.ru> (access date 10.06.2020). (In Russian)
- Pokazateli munitsipal'nykh obrazovaniy. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki (Rosstat), 2018 [Indicators of municipalities. Federal State Statistics Service (Rosstat), 2018], URL: <http://www.gks.ru> (access date 10.07.2020). (In Russian)
- Promyshlennost' Rossii, Rosstat, 2019 [Industry of Russia, Rosstat, 2019], URL: <http://www.gks.ru> (access date 20.11.2019). (In Russian)
- Szhiganiye topliva na krupnykh ustanovkakh v tselyakh proizvodstva energii, Moscow, Byuro NDT, 2017 [Combustion of fuels in large installations for the purpose of energy production, Moscow, Bureau of the Best Available Technics, 2017], URL: http://old.gost.ru/wps/wcm/connect/e7a9078043db0e39914fd567c7308a4d/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB_16.1.pdf?MOD=AJPERES (access date 22.05.2020). (In Russian)

Received 01.10.2020

Revised 30.12.2020

Accepted 21.01.2021

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.465.53

Ф.К. Тузов^{1,2}

РАЗРАБОТКА И ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАСКАДИНГА У ПОБЕРЕЖЬЯ АРХИПЕЛАГА СЕВЕРНАЯ ЗЕМЛЯ

В статье рассмотрен вариант обработки модельных данных, при котором возможно выделить из массива данных области, где наблюдается каскадинг – придонное гравитационное течение, которое переносит более плотную воду, образовавшуюся в прибрежных и шельфовых районах морей и океанов, вдоль и поперек уклонов рельефа дна. В качестве исходного массива данных используется модельный расчет NEMO за 1986–2010 гг. с временным интервалом 5 суток и пространственным разрешением $1/10^\circ$ для района архипелага Северная Земля. Выбор данного района обусловлен наличием гидрологических данных, свидетельствующих о каскадинге во время проведения экспедиций в 1984 и 1985 гг.

Показано, что разработанный алгоритм определяет области возникновения каскадинга. С помощью него было выявлено три случая каскадинга в декабре 1991, 1993 гг. и декабре 2004 – январе 2005 гг. в районе острова Малый Таймыр. Разобран случай прохождения каскадинга в декабре 1991 г. В результате сравнения плотности вод на придонных и вышележащих горизонтах ряда соседних узлов сетки в течение четырех последовательных пятидневных периодов (12–31 декабря) выявлена сменяемость устойчивой плотностной стратификации вод на характерную для каскадинга стратификацию. В узлах с меньшей глубиной (16 м) формируются плотные воды, стекающие по склону в течение третьего пятидневного периода на глубину до 66 м. Повышение плотности вод происходит вследствие осолонения при льдообразовании на мелководье у острова Малый Таймыр. Таким образом, перепад глубин при каскадинге составил 50 м. Во время четвертого пятидневного периода после каскадинга плотностная структура снова становится устойчивой. Таким образом, установлено, что пятидневного временного интервала используемого массива модельных данных достаточно для разрешения процесса каскадинга.

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, море Лаптевых, математическое моделирование, массивы дискретных данных, модель NEMO

Введение. Каскадинг – это процесс возникновения вод с отрицательной плавучестью на мелководных участках акватории с последующим стеканием в виде вдольсклоновых гравитационных течений на большую глубину (рис. 1). Несмотря на глобальное распространение, каскадинг является локальным процессом с короткой продолжительностью по времени (дни или недели). Стекая в генеральном направлении понижений рельефа, вода с большей плотностью постепенно смешивается с окружающими водами, обеспечивая передачу свойств (тепла, соли, растворенного кислорода и др.) из поверхностной в глубинную структурную зону. Благодаря этому, каскадинг, наряду с глубокой конвекцией [Marshall, Shott, 1999], в значительной степени способствует обновлению промежуточных и глубинных вод Мирового океана [Shapiro et al., 2003]. В современных условиях сократившегося ледяного покрова в Северном Ледовитом океане предполагаемое усиление каскадинга с арктических шельфов может оказать стабилизирующее воздействие на глобальную термохалинную циркуляцию, контролирующую меридиональный океанский поток тепла от экватора к полюсу [Иванов, 2011].

Движущей силой каскадинга выступает горизонтальный градиент давления между более плотными (холодными и/или солеными) водами в очаге формирования и окружающей жидкостью. Градиент давления возникает вследствие: 1) «топографического эффекта» [Shapiro et al., 2003]; 2) значительного различия в интенсивности энергообмена между океаном и атмосферой через неоднородную подстилающую поверхность (например, вода–лед, см. рис. 1) [Marquedda et al., 2004]; 3) адвективного перераспределения тепла и соли между мелководной и глубоководной зонами [Ivanov, Shapiro, 2005]. При охлаждении или осолонении (за счет испарения/льдообразования) поверхности моря развивается вертикальная гравитационная конвекция: воды с повышенной плотностью опускаются вниз вследствие гидростатической неустойчивости, а их место занимают нижележащие воды с меньшей плотностью. Если глубина места невелика, а охлаждение/осолонение продолжается достаточно длительное время, возможно формирование практически однородного слоя более плотной воды от поверхности до дна. Наличие такого однородного по глубине столба воды с

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, аспирант; e-mail: fedor-tuz@mail.ru

² ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), науч. с.

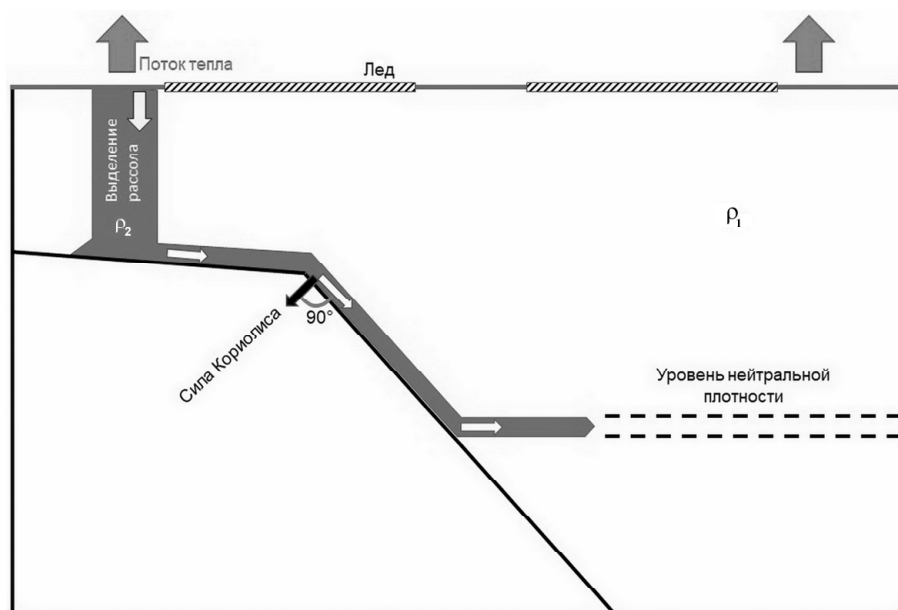


Рис. 1. Схема каскадинга: ρ_1 – плотность воды в глубоководной части акватории; ρ_2 – плотность воды на шельфе акватории; $\rho_1 < \rho_2$ – условие для возникновения каскадинга

Fig. 1. Cascading scheme: ρ_1 – water density under the slope; ρ_2 – water density on the shelf; $\rho_1 < \rho_2$ is the condition for the occurrence of cascading

повышенной плотностью в мелководной зоне указывает на потенциальную возможность развития каскадинга [Ivanov et al., 2004]. Насколько эффективно эта возможность будет реализована зависит от величины положительной аномалии плотности в очаге формирования, особенностей локального рельефа дна и внешних факторов, включающих стратификацию вод в сопредельной глубоководной зоне, атмосферное воздействие и фоновое крупномасштабное поле течений [Chapman, 2000; Gawarkiewicz, 2000]. При благоприятных условиях плотная вода может сохранять свою термохалинную идентичность на расстоянии сотен километров от очага формирования при движении вдоль континентального склона и способна опуститься до его основания. В общем случае предельной глубиной проникновения вод с повышенной плотностью является так называемый уровень эквивалентной плотности, на котором плотности опускающейся воды и окружающих ее вод выравниваются [Shapiro et al., 2003]. Характерный пространственный масштаб очагов каскадинга, как правило, не превышает первых десятков километров, а время активной стадии лежит в диапазоне от нескольких дней до нескольких недель [Ivanov et al., 2004]. Кроме того, развитие процесса привязано к холодному сезону и не является регулярным, т. е. не обязательно происходит в одном и том же районе в одно и то же время. Все это усложняет логику изучения каскадинга в натурных условиях и требует применения альтернативных методов, к числу которых в первую очередь относится численное моделирование.

В предлагаемой статье представлен оригинальный метод объективного анализа больших объемов

данных (модельных расчетов, океанского реанализа, натурных измерений), предназначенный для выявления очагов формирования плотной воды на шельфе, картирования траекторий ее стекания вдоль склона и оценки базовых характеристик каскадинга, определенных в [Ivanov et al., 2004]. В рамках данной статьи разработанная методика была протестирована на материалах 30-летнего прогностического расчета на модели NEMO (версия 3.4) для северо-восточного шельфа и континентального склона архипелага Северная Земля в море Лаптевых. Выбор этого района для тестирования разработанной методики обусловлен регистрацией каскадинга во время экспедиций [Головин, 1995] и воспроизведен в модельных экспериментах с различной степенью детализации [Ivanov, Golovin, 2007; Ivanov, Watanabe, 2013; Ivanov et al., 2015].

Материалы и методы исследования. В данной работе была использована модель NEMO (Nucleus of European Modelling of the Ocean) [Madec et al., 2019], адаптированная для арктического региона, с пространственным шагом $1/12^\circ$ и временным интервалом выдачи результатов расчета пять суток. Модельный расчет выполнен для периода с 1986 по 2010 г. и подготовлен для исследования циркуляции вод в придонном слое на континентальном склоне до глубины 300 м. Модель имеет 74 расчетных уровня по глубине, из которых верхние 35 – это сигма-уровни, вертикальные координаты которых меняются в зависимости от глубины узла до 300 м. Ниже расположены 39 уровней с неизменяемой глубиной. Сигма-уровни в районе 300-метровой изобаты расположены чаще для уточнения границ каскадинга (рис. 2). Сравнение результатов модельного расче-

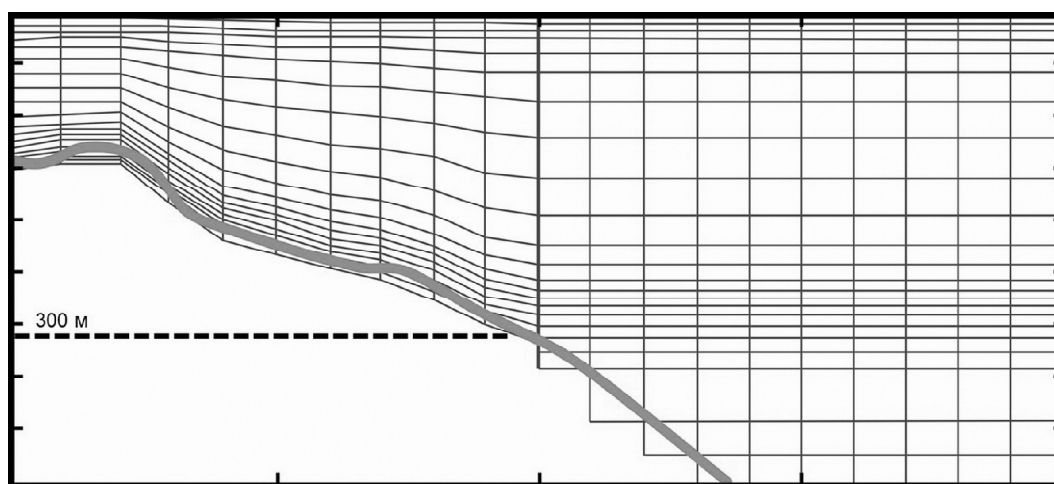


Рис. 2. Схематичное изображение распределения уровней модельного расчета по глубине [Luneva et al., 2018]

Fig. 2. Scheme of the in-depth distribution of model calculation levels [Luneva et al., 2018]

та с данными наблюдений каскадинга в морях Бофорта и Чукотском показало принципиальную возможность для воспроизведения каскадинга при описанных выше параметрах расчета и дискретности выдачи результатов [Luneva et al., 2020]. Однако выводы о возможности данной модели воспроизводить каскадинг были сделаны на основании подбора экспедиционных данных, показывающих наличие каскадинга, и последующего сравнения полей гидрофизических характеристик с модельными данными, полученными в узлах сетки в том же районе за тот же временной период. Также возможность развития каскадинга по модельным данным NEMO в Гренландском море была показана в статье [Marson et al., 2017]. В данной статье предложен алгоритм автоматического определения районов каскадинга и его характеристик по модельным данным и рассмотрены результаты его применения. Алгоритм основан на распределении плотности морской воды и особенностях рельефа дна.

Необходимым условием развития каскадинга является наличие градиента плотности на склоне в направлении уменьшения глубины. Соответственно, выделение таких областей в массиве данных показывает зоны потенциального каскадинга. При анализе данных требуется задать дополнительные условия, рассмотренные ниже.

Для уменьшения обрабатываемого массива данных область поиска зон потенциального каскадинга определяется заранее на основании данных о рельефе дна. Из всего массива выбираются узлы сетки в заданном диапазоне глубин. Для каждого из них строится цепочка последовательных узлов с непрерывно увеличивающейся глубиной, заданной в определенных пределах. Например, для бассейна СЛО в целом производится поиск узлов на континентальном склоне в диапазоне глубин 0–500 м. При этом шельфовые области морей, где не обнаруживается таких цепочек с непрерывно увеличивающейся глубиной, не попадают в выборку. Определение таких узлов значительно сокращает объем инфор-

мации и ускоряет обработку. Для примера, в программной среде Matlab нахождение всех зон потенциального каскадинга в массиве 506×557 узлов для одного временного интервала занимает около суток, тогда как нахождение зон при заранее определенной области поиска занимает около двух часов. На данном этапе не исследуются термохалинная структура и другие особенности зоны потенциального каскадинга, а выбор узлов основывается только на особенностях рельефа дна.

После установления области поиска, все находящиеся в ней узлы проверяются на условие наличия градиента плотности на придонном горизонте с восемью соседними узлами (рис. 3). Дополнительно сравнивается плотность вод на придонном и вышележащем горизонтах исследуемого узла (см. рис. 3) с целью проверки существования конвекции до дна и устойчивости структуры вод. Это позволяет исключить из формируемого выходного массива данных узлы на склоне, в которых происходит перемешивание до дна. Наличие узлов сетки с неустойчивой стратификацией не обязательно. Вертикальная плотностная однородность не является достаточным условием развития каскадинга. Вокруг узлов с равной плотностью могут быть обнаружены узлы с устойчивой стратификацией и максимальной плотностью у дна, равной плотности в соседнем узле с перемешанной водой, которые и становятся первыми в формируемой цепочке.

Условия проверки исследуемого узла можно представить в следующем виде:

1. Плотность на придонном горизонте в заданном узле больше или равна плотности одного из восьми окружающих его узлов.

2. Глубина выбираемого узла больше, чем у заданного узла (см. рис. 3).

3. Плотность над придонным горизонтом заданного узла меньше, чем на придонном. Это условие позволяет определить первый узел на малой глубине, где структура плотности остается устойчивой. Если плотность на горизонте выше придонного рав-

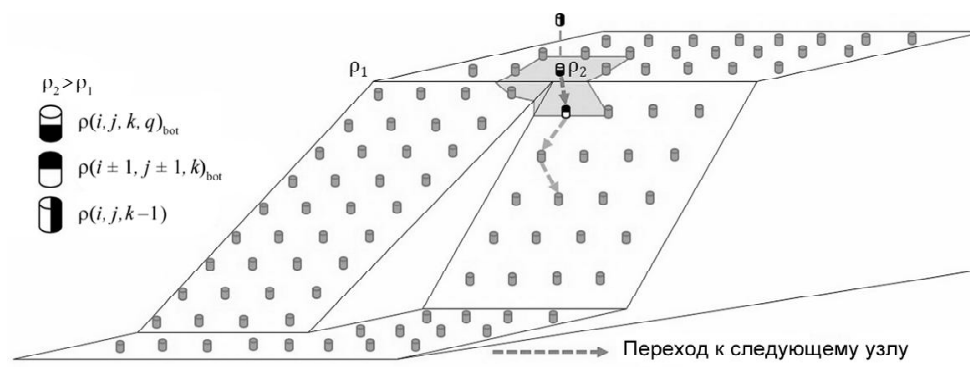


Рис. 3. Схема исследования узлов модельной сетки на наличие зон потенциального каскадинга на склоне. Область исследуемого и восьми окружающих его узлов выделена серым цветом

Fig. 3. Scheme of investigation of the model grid nodes for the areas of potential cascading on the slope. The node under study and eight surrounding nodes are highlighted in gray

на плотности на придонном горизонте, то данный узел не попадает в создаваемую цепочку узлов, так как считается, что в нем происходит перемешивание до дна, но не начало процесса каскадинга. Для любого узла после первого выполнения данного условия подтверждает наличие устойчивой структуры вод, подходящей для развития каскадинга.

При выполнении всех перечисленных условий имеется основание полагать, что на данном участке склона может происходить каскадинг (рис. 4). Перечисленные выше условия можно представить в виде системы неравенств

$$\begin{cases} \rho(i, j, k, q)_{\text{bot}} > \rho(i, j, k - 1), \\ \rho(i, j, k, q)_{\text{bot}} \geq \rho(i \pm 1, j \pm 1, k)_{\text{bot}}, \\ D(i, j) < D(i \pm 1, j \pm 1), \\ q \geq n, \\ D_{\min} \leq D(i, j) \leq D_{\max}, \end{cases} \quad (1)$$

где $\rho(i, j, k, q)_{\text{bot}}$ – плотность на придонном горизонте в исследуемом узле сетки; $\rho(i, j, k - 1)$ – плотность на горизонте над придонным; $\rho(i \pm 1, j \pm 1, k)_{\text{bot}}$ – плотность на придонном горизонте в следующем ис-

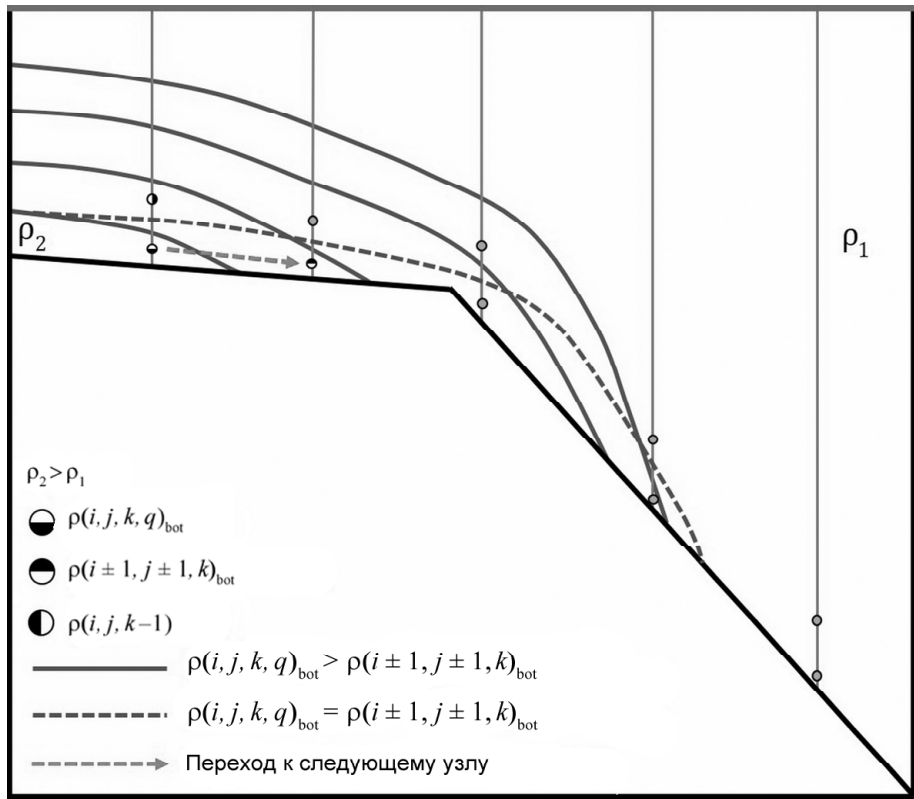


Рис. 4. Схематичное изображение перехода к следующему узлу, исследуемому на условие возникновения каскадинга

Fig. 4. Scheme of transition to the next node being analyzed for the presence of cascading

следуемом узле сетки; $D(i, j)$ – глубина исследуемого узла сетки; $D(i \pm 1, j \pm 1)$ – глубина в следующем исследуемом узле сетки; q – номер узла сетки в последовательности узлов, для которых выполняются приведенные условия; n – минимально возможное количество узлов сетки в последовательности, задается перед началом работы алгоритма; $D_{\min}$, $D_{\max}$ – минимальная и максимальная глубины, ограничивающие область поиска на континентальном склоне.

При соблюдении всех перечисленных выше условий найдется следующий узел сетки, который, в свою очередь, проверяется на соответствие условиям. При наличии нескольких узлов образуется их цепочка с порядковыми номерами от 1 (самая малая глубина) до n (максимальная глубина), через которую можно проследить развитие каскадинга в последующие временные интервалы. Для уточнения интересующих областей каскадинга можно установить минимальное количество узлов в цепочке (n) как дополнительное условие. Это позволяет определить каскадинг только на пологих склонах, где глубина между узлами меняется незначительно и не выходит за границы области поиска, в отличие от крутых склонов, где глубина узлов может выходить за границы области поиска уже при количестве узлов в цепочке более двух.

После проверки всех узлов за определенный временной интервал формируется массив со всеми координатами цепочек узлов, подходящих по услови-

ям. Каждая цепочка узлов образует разрез с распределением плотности, подобным изображенному на рис. 4. На мелких станциях расположены узлы с максимальной плотностью на придонных горизонтах. С увеличением глубины плотность на придонных горизонтах следующих узлов цепочки уменьшается. При таком распределении создаются условия для стекания плотной воды до уровня эквивалентной плотности. Исходя из данных таких массивов, по каждому временному интервалу можно получить величины изменения интенсивности каскадинга в выбранном районе.

Результаты исследования и их обсуждение.

У архипелага Северная Земля каскадинг в районе острова Комсомолец наблюдался во время экспедиций в 1984 и 1985 годах [Ivanov, Golovin, 2007]. В предлагаемом алгоритме были использованы узлы сетки глубиной от 0 до 500 м (рис. 5).

В выбранном районе все узлы были проверены на наличие условий для каскадинга с использованием описанного алгоритма. В результате были найдены узлы начала и конца каскадинга и посчитано количество его случаев (рис. 6). Перепад глубин при каскадинге достигал 50 м. На рис. 6 показана цепочка из трех узлов в районе острова Малый Таймыр, где в декабре 1991 г. сложились условия для возникновения каскадинга с меньшей плотностью придонного горизонта на втором узле цепочки, расположенном на 50 м глубже придонно-

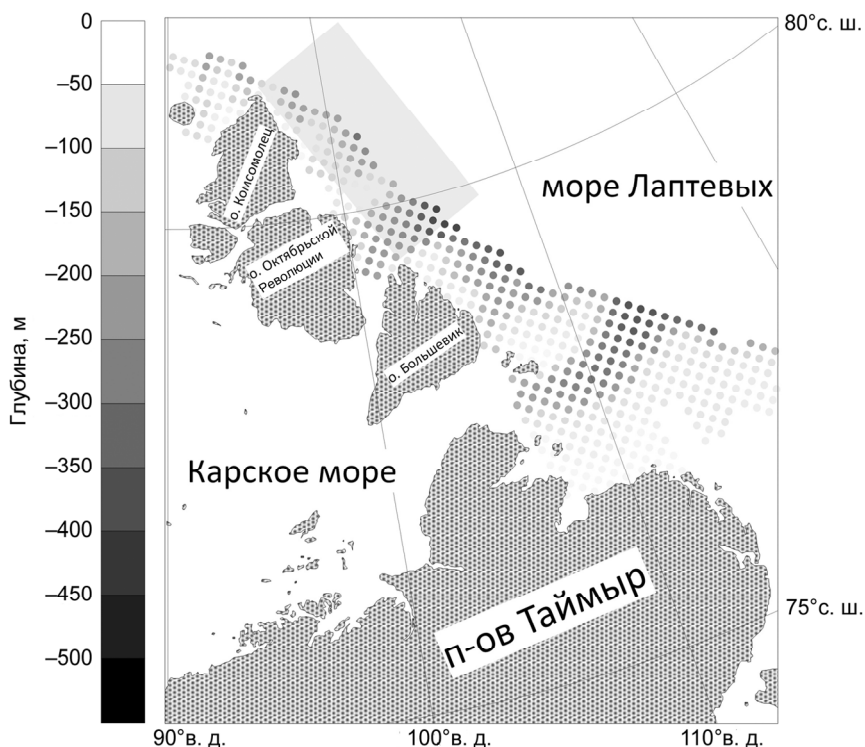


Рис. 5. Район материкового склона моря Лаптевых с областью узлов сетки с глубинами от 0 до 500 м. Серым цветом обозначен полигон, где случай прохождения каскадинга был описан в статье [Ivanov, Golovin, 2007]

Fig. 5. The area of the continental slope of the Laptev Sea with grid nodes with depths from 0 to 500 meters. The polygon where the cascading event is discussed in the article [Ivanov, Golovin, 2007] is highlighted in gray

го горизонта первого узла. По выбранной цепочке узлов было построено распределение плотности на придонном горизонте за весь период модельного расчета (рис. 7). Символами на рис. 7 показаны узлы, в которых наблюдались условия для возникновения каскадинга в определенные временные интервалы.

Всего на полученной цепочке узлов удалось выявить три случая прохождения каскадинга, все – в зимний период, а именно в декабре 1991, 1993 гг. и в декабре 2004 – январе 2005 гг.

17 декабря 1991 г. к востоку от острова Малый Таймыр сложились условия для возникновения каскадинга (рис. 8Б). Именно в эту дату структура плотности воды удовлетворяла всем условиям в системе неравенств (1). Аномалия плотности на придонном горизонте первого узла достигла 27 кг/м^3 . Такая же аномалия плотности наблюдалась на глубине 80–90 м (см. рис. 8Б). В данном случае воды на придонном горизонте первого узла цепочки более плотные, чем на придонном горизонте второго узла, находящегося на большей глубине (66 м). При

этом во всех исследуемых узлах в предыдущий временной интервал 12 декабря наблюдалась устойчивая стратификация плотности, и чем глубже находились придонные горизонты узлов, тем больше была плотность воды в них (см. рис. 8А). 17 декабря температура была близка к температуре замерзания (см. рис. 8Д), а соленость воды повышена в узле начала каскадинга, следовательно, произошло повышение плотности воды из-за осолонения при льдообразовании. На следующих временных интервалах (22 и 27 декабря) можно наблюдать развитие и завершение каскадинга (см. рис. 8В, Г). Вертикальное распределение плотности стало устойчивым, а воды с мелководного участка погрузились на глубину до 60 м (см. рис. 8Г). Распределение солености в следующий после 17 декабря период сходно с распределением плотности (см. рис. 8Б, Д). Каскадинг при осолонении при льдообразовании типичен для арктических морей [Иванов, 2011]. Вклад изменений температуры в плотностные изменения существенно меньше солоностного вследствие малой величины коэффициента термического

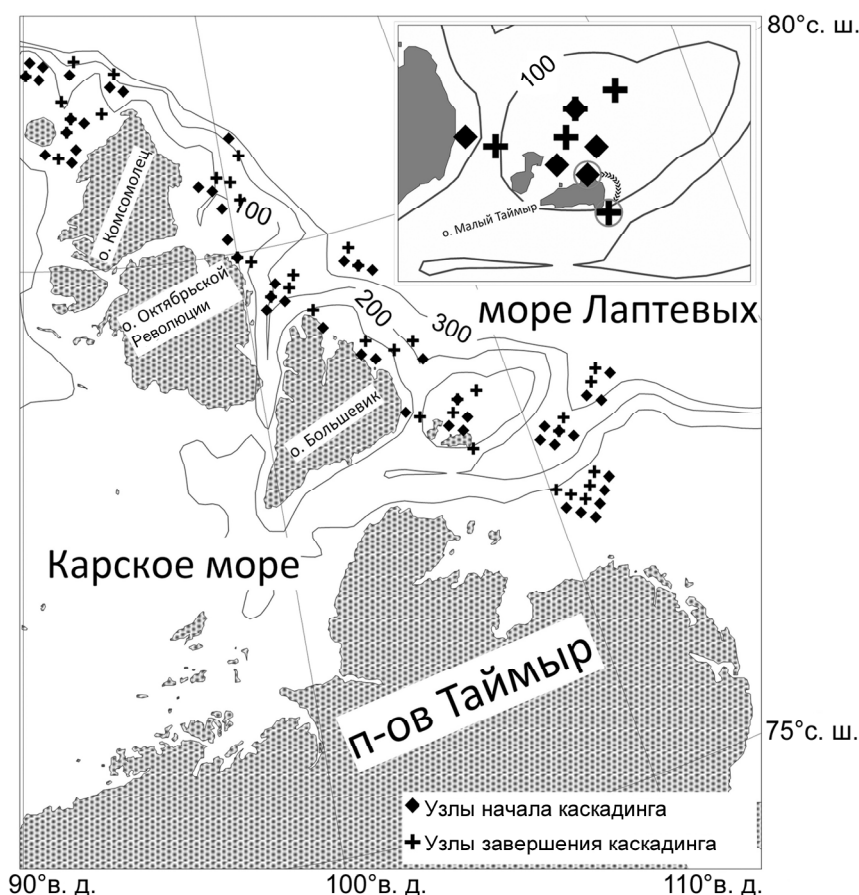


Рис. 6. Распределение узлов начала и завершения каскадинга при минимальной длине цепочки узлов равной двум. Окружностями выделены узлы начала и завершения каскадинга в районе острова Малый Таймыр, по которым были построены распределения температуры, солености и плотности

Fig. 6. Distribution of the nodes where the cascading starts and ends, the minimum length of the chain of nodes is 2. The circles mark the nodes of the beginning and the end of cascading near the Maly Taimyr Island, which were used to draw the temperature, salinity and density distribution

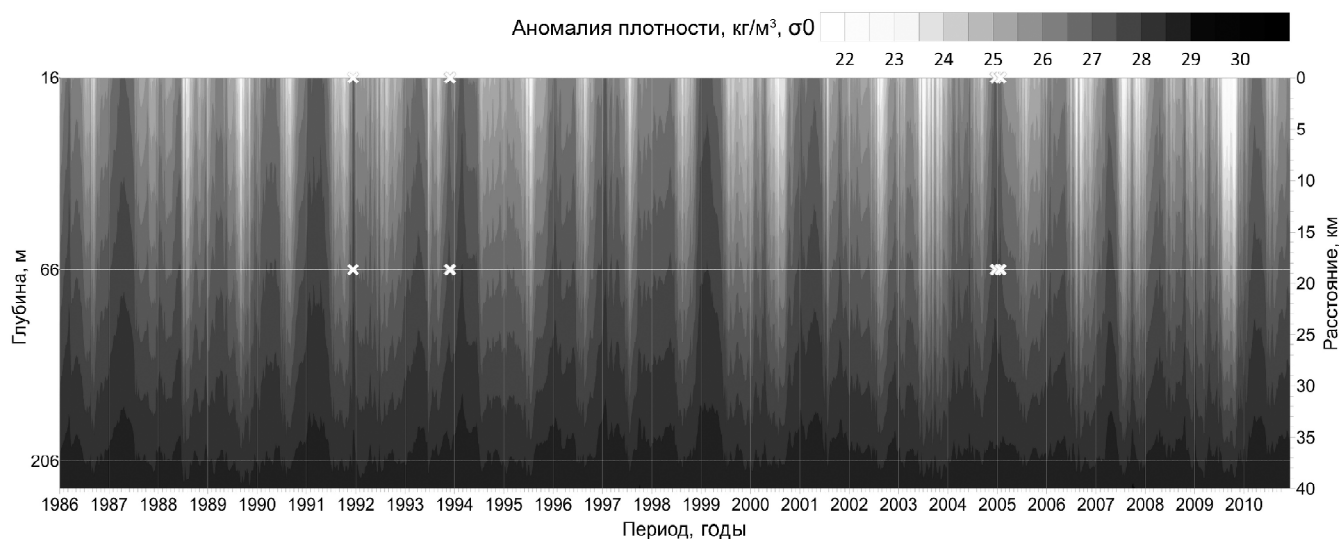


Рис. 7. Распределение придонной аномалии плотности на разрезе у острова Малый Таймыр. Белыми крестиками отмечены узлы с условиями для развития каскадинга

Fig. 7. Distribution of the bottom density anomaly in the section near the Maly Taimyr Island. White symbols mark the nodes where the cascading conditions were observed

расширения при низких температурах. В рассматриваемом случае в последующие после 17 декабря временные интервалы можно проследить стекание осолоненных вод с повышенной плотностью на глубину до 66 м (см. рис. 8Б, В, Г, Д, Е).

В работе [Ivanov, Golovin, 2007] исследуется случай возникновения каскадинга у восточного побережья островов Октябрьской Революции и Большевик. Плотные воды образуются вдоль берега на участках с глубинами около 100 м и затем погружаются на большую глубину. Данные экспедиционных исследований, собранные в октябре 1984 г., показали, что присутствующий осенью на глубине 30–50 м пикноклин препятствует проникновению конвекции до дна. В апреле 1985 г. на мелководных участках конвекция проникает до дна, и погружившиеся на придонные горизонты осолоненные воды стекают на глубину до 250 м. При этом на более глубоководных станциях пикноклин сохраняется. В целом, структура распределения плотности вод соответствует определяемой алгоритмом как случай возникновения каскадинга. Однако при работе с модельными данными не удалось обнаружить каскадинг с разницей глубин между узлами, аналогичной описанному в статье [Ivanov, Golovin, 2007] случаю (около 150 м).

Рассмотренный пример выявления каскадинга с помощью разработанного алгоритма позволяет ожидать, что предложенный методический подход может быть использован для определения областей каскадинга на любом континентальном склоне.

Выводы:

- автором разработан алгоритм определения зон каскадинга на основе данных о плотности воды и рельефе дна. Был разобран пример прохождения каскадинга в определенных алгоритмом узлах в районе острова Малый Таймыр;

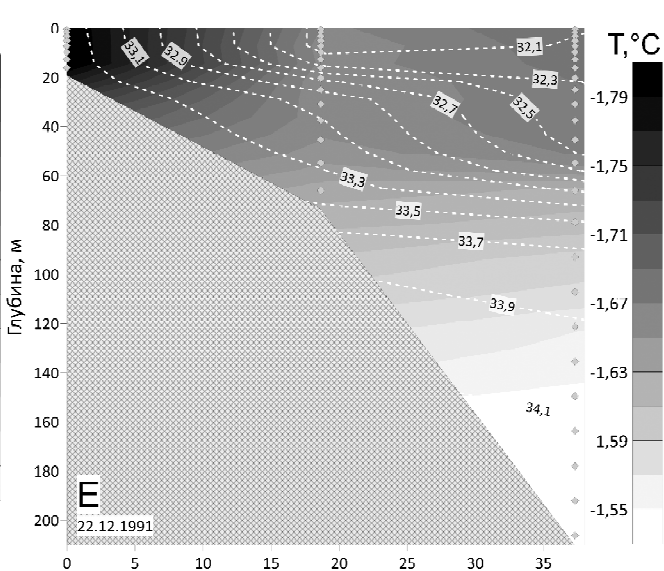
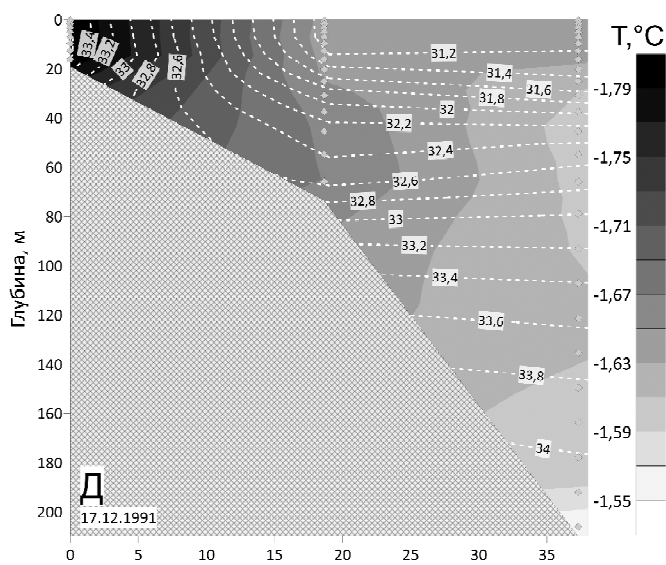
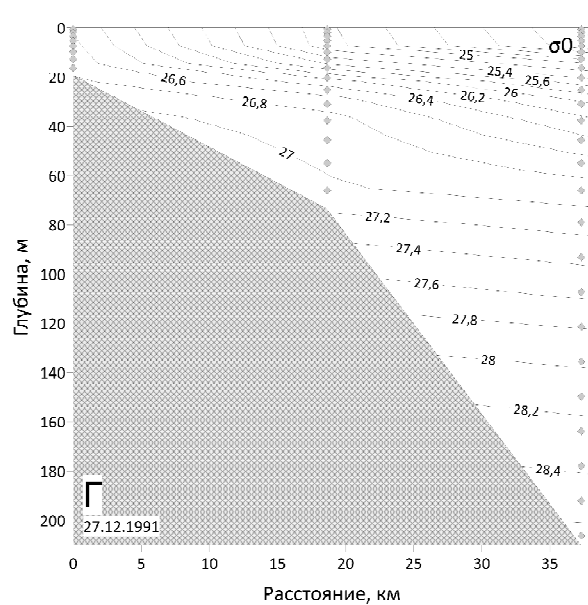
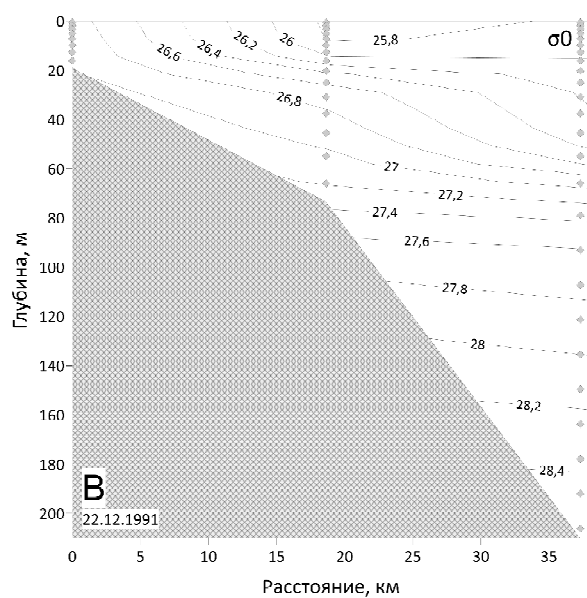
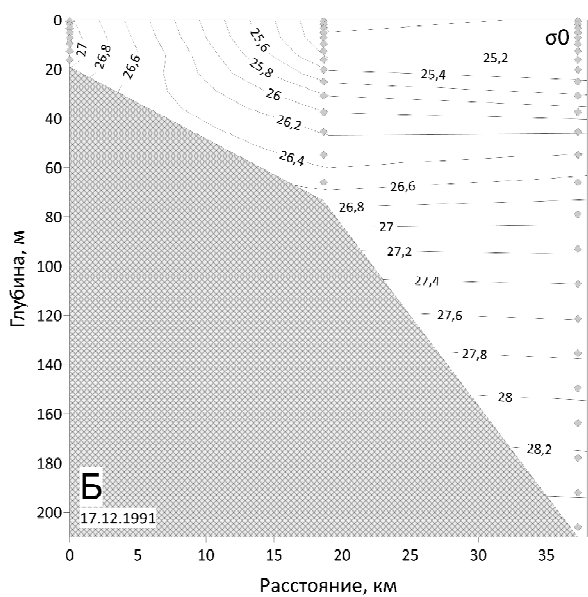
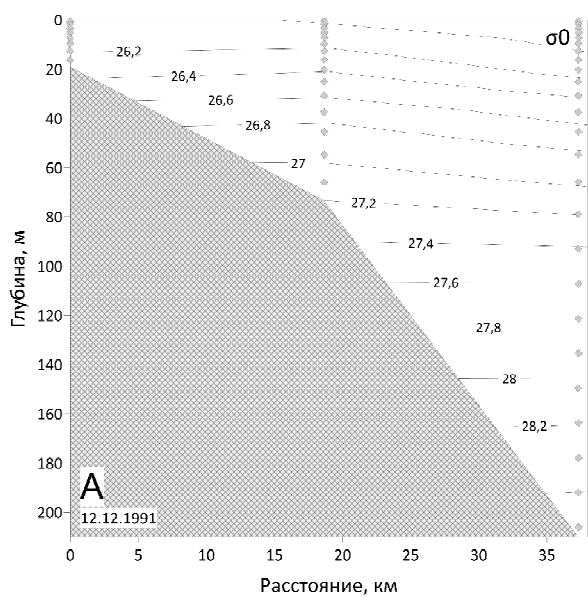
- проведенный при помощи разработанного алгоритма анализ показал возможность идентифицировать зоны каскадинга на основе модельных данных с временным разрешением выдачи пять суток;

- на основе полученных результатов о пространственном распределении районов каскадинга есть возможность получить его качественные и количественные характеристики, а также информацию о предшествующих его образованию процессах. На данном этапе разработки в алгоритме не анализируется структура течений в получаемых цепочках узлов во время прохождения каскадинга. В дальнейшем планируется апробировать разработанный алгоритм на массивах данных с меньшим временным интервалом.

Благодарности. Разработка алгоритма выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-35-90124 «Аспиранты».

Рис. 8. Распределение аномалии плотности на разрезе в декабре 1991 г. (А–Г), распределение температуры и солёности (пунктирные изогаины, епс) на разрезе в декабре 1991 г. (Д, Е)

Fig. 8. Distribution of density anomalies along the section in December 1991 (A–Г), distribution of temperature and salinity (dotted isohalines, psu) along the section in December 1991 (Д, Е)



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Головин П.Н. Конвективный массоперенос в подледном слое зимнего развода в Арктическом бассейне // Океанология. 1995. Т. 35. № 6. С. 854–863.
- Иванов В.В. Усиление водообмена между шельфом и Арктическим бассейном в условиях снижения ледовитости // Доклады академии наук. 2011. Т. 441. № 1. С. 103–107.
- Chapman D.C. The influence of an along slope current on the formation and offshore transport of dense water from coastal polynya, *J. Geophys. Res.*, 2000, vol. 105, no. C10, p. 24 007–24 019.
- Gawarkiewicz G. Effects of ambient stratification and shelfbreak topography on offshore transport of dense water on continental shelves, *J. Geophys. Res.*, 2000, vol. 105, no. C2, p. 3307–3324.
- Ivanov V.V., Shapiro G.I., Huthnance J.M., Aleynik D.L., Golovin P.N. Cascades of dense water around the world ocean, *Progress in oceanography*, 2004, vol. 60, no. 1, p. 47–98.
- Ivanov V.V., Shapiro G.I. Formation of a dense water cascade in the marginal ice zone in the Barents Sea, *Deep Sea Research, part I, Oceanographic Research Papers*, 2005, vol. 52, no. 9, p. 1699–1717.
- Ivanov V.V., Golovin P.N. Observations and modeling of dense water cascading from the northwestern Laptev Sea shelf, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2007, vol. 112, no. C9, p. 1–15, DOI: 10.1029/2006JC003882.
- Ivanov V., Watanabe E. Does Arctic Sea ice reduction foster shelf–basin exchange? *Ecological applications*, 2013, vol. 23, no. 8, p. 1765–1777, DOI: 10.1890/11-1069.1.
- Ivanov V., Maslov P., Aksenov Y., Coward A. Shelf-basin exchange in the Laptev Sea in the warming climate: a model study, *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*, 2015, vol. 109, no. 3, p. 254–280.
- Luneva M., Harle J., Holt J. Evaluation of cascading water formation and pathways from NEMO-shelf Arctic Ocean model. *Geophysical Research Abstracts*, 2018, vol. 20, p. 14156.
- Luneva M.V., Ivanov V.V., Tuzov F.K., Aksenov Y., Harle J.D., Kelly S., Holt J.T. Hotspots of Dense Water Cascading in the Arctic Ocean: Implications for the Pacific Water Pathways, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2020, vol. 125, no. 10, p. e2020JC016044, DOI: 10.1029/2020JC016044.
- Madec G., Bourdallé-Badie R., Chanut J., Clementi E., Coward A., Ethé Ch. NEMO ocean engine (Version v4.0). Notes Du Pôle De Modélisation De L'institut Pierre-simon Laplace (IPSL), Zenodo, 2019, DOI: 10.5281/zenodo.3878122.
- Marquedá M.A., Willmott A.J., Biggs N.R. Polynya dynamics: A review of observations and modeling, *Reviews of Geophysics*, 2004, vol. 42, no. 1, p. 1–37.
- Marshall J., Schott F. Open ocean convection: Observations, theory, and models, *Reviews of Geophysics*, 1999, vol. 37, no. 1, p. 1–64.
- Marson J.M., Myers P.G., Hu X., Petrie B., Azetsu Scott K., Lee C.M. Cascading off the West Greenland Shelf: A numerical perspective, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2017, vol. 122, no. 7, p. 5316–5328.
- Shapiro G.I., Huthnance J.M., Ivanov V.V. Dense water cascading off the continental shelf, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2003, vol. 108, no. C12, p. 1–19, DOI: 10.1029/2002jc001610.

Поступила в редакцию 28.07.2020

После доработки 05.11.2020

Принята к публикации 21.01.2021

F.K. Tuzov^{1,2}

ELABORATION AND APPLICATION OF AN ALGORITHM TO DETECT THE CASCADING NEAR THE SEVERNAYA ZEMLYA ARCHIPELAGO COAST

The article discusses possible processing of data from a mathematical model, which allows identification of areas where cascading is observed. Cascading is a bottom gravity current along and across the bottom topography slopes, that transports denser water formed in the coastal and shelf areas of seas and oceans. The NEMO model calculation for the period 1986–2010 is used as an initial data set for the Severnaya Zemlya Archipelago area with the time resolution of 5 days and the spatial resolution of 1/10°. The choice of the area is due to the availability of hydrological data indicating the occurrence of cascading during 1984 and 1985 expeditions.

The suggested algorithm makes it possible to identify the areas of cascading occurrence, namely three cases in December 1991 and 1993, and December 2004 – January 2005 near the Maly Taimyr Island. The case of cascading in December 1991 was analyzed. The comparison of water densities at the bottom and overlying horizons for the neighboring grid nodes during four consecutive 5-day periods (December 12–31) revealed the transition of stable density stratification of waters to the stratification characteristic of cascading. During the third 5-day period dense waters formed in the nodes with shallow depth (16 m) flow down the slope to a depth of 66 m. The density of water increases as a result of salinization during ice formation in shallow waters near the Maly Taimyr Island. Thus, the depth difference of cascading was 50 m. During the fourth 5-day period after cascading, the density structure becomes stable again. It was found that the 5-day time interval of the model data array applied for the study is sufficient to reveal the cascading process.

Key words: Arctic Ocean, Laptev Sea, mathematical modeling, arrays of discrete data, NEMO model

Acknowledgments. The development of the algorithm was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no. 19-35-90124 "PHD – students").

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, postgraduate student; e-mail: fedor-tuz@mail.ru

² All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, research fellow.

REFERENCES

- Chapman D.C. The influence of an along slope current on the formation and offshore transport of dense water from coastal polynya, *J. Geophys. Res.*, 2000, vol. 105, no. C10, p. 24 007–24 019.
- Gawarkiewitz G. Effects of ambient stratification and shelfbreak topography on offshore transport of dense water on continental shelves, *J. Geophys. Res.*, 2000, vol. 105, no. C2, p. 3307–3324.
- Golovin P.N. Konvektivnyi massopereenos v podlednom sloe zimnego razvod'ya v Arkticheskom basseine [Convective mass transfer in the under-ice layer of winter open water in the Arctic Ocean], *Okeanologiya*, 1995, vol. 35, no. 6, p. 854–863. (In Russian)
- Ivanov V., Maslov P., Aksenov Y., Coward A. Shelf-basin exchange in the Laptev Sea in the warming climate: a model study, *Geophysical & Astrophysical Fluid Dynamics*, 2015, vol. 109, no. 3, p. 254–280.
- Ivanov V., Watanabe E. Does Arctic Sea ice reduction foster shelf–basin exchange? *Ecological applications*, 2013, vol. 23, no. 8, p. 1765–1777, DOI: 10.1890/11-1069.1.
- Ivanov V.V. Usilenie vodoobmena mezhdu shel'fom i Arkticheskimi bassejnom v usloviyah snizheniya ledovitosti [Increasing of water exchange between the shelf and the Arctic basin under the decreasing ice cover], *Doklady Akademii nauk*, 2011, vol. 441, no. 1, p. 103–107. (In Russian)
- Ivanov V.V., Golovin P.N. Observations and modeling of dense water cascading from the northwestern Laptev Sea shelf, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2007, vol. 112, no. C9, p. 1–15, DOI: 10.1029/2006JC003882.
- Ivanov V.V., Shapiro G.I. Formation of a dense water cascade in the marginal ice zone in the Barents Sea, *Deep Sea Research, part I, Oceanographic Research Papers*, 2005, vol. 52, no. 9, p. 1699–1717.
- Ivanov V.V., Shapiro G.I., Huthnance J.M., Aleynik D.L., Golovin P.N. Cascades of dense water around the world ocean, *Progress in oceanography*, 2004, vol. 60, no. 1, p. 47–98.
- Luneva M.V., Ivanov V.V., Tuzov F.K., Aksenov Y., Harle J.D., Kell S., Holt J.T. Hotspots of Dense Water Cascading in the Arctic Ocean: Implications for the Pacific Water Pathways, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2020, vol. 125, no. 10, p. e2020JC016044, DOI: 10.1029/2020JC016044.
- Luneva M., Harle J., Holt J. Evaluation of cascading water formation and pathways from NEMO-shelf Arctic Ocean model, *Geophysical Research Abstracts*, 2018, vol. 20, p. 14 156.
- Madec G., Bourdallé-Badie R., Chanut J., Clement E., Coward A., Ethé Ch. NEMO ocean engine (Version v4.0). Notes Du Pôle De Modélisation De L'institut Pierre-simon Laplace (IPSL), Zenodo, 2019, DOI: 10.5281/zenodo.3878122.
- Marquedda M.A., Willmott A.J., Biggs N.R. Polynya dynamics: A review of observations and modeling, *Reviews of Geophysics*, 2004, vol. 42, no. 1, p. 1–37.
- Marshall J., Schott F. Open ocean convection: Observations, theory, and models, *Reviews of Geophysics*, 1999, vol. 37, no. 1, p. 1–64.
- Marson J.M., Myers P.G., Hu X., Petrie B., Azetsu Scott K., Lee C.M. Cascading off the West Greenland Shelf: A numerical perspective, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2017, vol. 122, no. 7, p. 5316–5328.
- Shapiro G.I., Huthnance J.M., Ivanov V.V. Dense water cascading off the continental shelf, *J. Geophys. Res.: Oceans*, 2003, vol. 108, no. c12, p. 1–19, DOI: 10.1029/2002jc001610.

Received 28.07.2020

Revised 05.11.2020

Accepted 21.01.2021

УДК 332.132: 519.865.7

А.В. Мартыненко^{1,2}

СВЯЗЬ МЕЖДУ ФУНКЦИОНАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЕРАРХИЕЙ ЕЕ ЭЛЕМЕНТОВ (НА ПРИМЕРЕ АВТОДОРОГ СВЕРДЛОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

При изучении транспортных сетей часто используются различные числовые характеристики их топологических и метрических свойств. Одним из наиболее популярных показателей, используемым для описания иерархической структуры элементов сети (дуг и вершин), является показатель промежуточной центральности. Для каждого элемента сети он равен количеству кратчайших путей, проходящих через него. Тем самым он показывает важность элемента для сети в целом.

Показатель промежуточной центральности использовался различными авторами, причем не только как инструмент исследования и анализа конкретных сетей, но и как самостоятельный объект изучения. В частности, многих исследователей интересовал вопрос о том, насколько данный показатель отражает особенности реального функционирования транспортной сети, например загруженность ее элементов. Применение корреляционно-регрессионного анализа для данных по загруженности и промежуточной центральности элементов некоторых конкретных сетей показали, что между этими величинами есть прямая корреляционная связь, однако недостаточно сильная для того, чтобы ее можно было использовать для прогнозирования загруженности элементов сети на основе их промежуточной центральности.

В настоящей работе более глубоко исследован вопрос о взаимосвязи между промежуточной центральностью и загруженностью как часть более общего вопроса о связи морфологических и функциональных свойств транспортной сети. Для сети автомобильных дорог Свердловской области по гравитационной модели транспортных корреспонденций смоделирована загруженность дуг. При разных параметрах гравитационной модели получены различные режимы загруженности, и для каждого из них проанализирована связь с показателем промежуточной центральности.

В результате моделирования и анализа установлено, что на тесноту связи между промежуточной центральностью и загруженностью существенно влияет транспортное поведение пользователей сети, а именно, расстояние, на которое они совершают поездки. Если средняя длина поездки значительно превосходит среднюю длину дуги сети, то между промежуточной центральностью и загруженностью наблюдается сильная корреляция. В противном случае значимой зависимости между промежуточной центральностью и загруженностью нет.

Ключевые слова: промежуточная центральность; центральность по промежуточности; центральность по посредничеству; гравитационная модель; матрица транспортных корреспонденций; морфология сети; загруженность элементов сети

Введение. Морфологические свойства инфраструктурных сетей (транспортных, электроснабжения и т. п.) изучались многими авторами, интерес которых вызывала как непосредственно морфология сети и внутренние закономерности ее развития [Тархов, 2006, 2016, 2019; Панов, 2020; Barthelemy, 2011], так и влияние морфологии на взаимосвязь сети и обслуживаемой ею территории [Бакланов и др., 2018; Бугроменко, 1967; Haggett, Chorley, 1969; Kansky, 1969]. В подобных исследованиях инфраструктурную сеть обычно рассматривают как граф, т. е. как совокупность вершин и соединяющих их дуг, а для ее описания используют различные числовые характеристики, например, такие, которые позволяют выявить иерархическую структуру элементов сети. Одним из наиболее важных и часто используемых показателей такого сорта является *промежуточная центральность* (англ. *betweenness centrality*), которая для вершины сети определяется следующим образом [Barthelemy, 2011]:

$$BC(v) = \frac{1}{n^2 - n} \sum \frac{\sigma_{st}(v)}{\sigma_{st}}, \quad (1)$$

где $BC(v)$ – показатель промежуточной центральности вершины v ; n – количество вершин в сети; σ_{st} – количество кратчайших путей из вершины s в вершину t ; $\sigma_{st}(v)$ – количество кратчайших путей из вершины s в вершину t , которые проходят через вершину v . В формуле (1) суммирование ведется по всем парам различных вершин s и t . Под кратчайшим путем понимается путь, который содержит наименьшее количество дуг (кратчайший в смысле топологического расстояния).

Определение промежуточной центральности дуги выглядит аналогично

$$BC(a) = \frac{1}{n^2 - n} \sum_{s \neq t} \frac{\sigma_{st}(a)}{\sigma_{st}}, \quad (2)$$

¹ Уральский государственный университет путей сообщения, кафедра естественнонаучных дисциплин, доцент, канд. физ.-мат. н.

² Институт экономики УрО РАН, центр развития и размещения производительных сил, ст. науч. с.; e-mail: amartynenko@rambler.ru

но в этом случае $\sigma_{st}(a)$ – количество кратчайших в топологическом смысле путей из вершины s в вершину t , которые проходят через дугу a .

Если дугам приписаны какие-либо веса (чаще всего расстояние или время) и под кратчайшим путем понимается путь, который состоит из дуг с наименьшей суммой весов, то наряду с величинами $BC(v)$ и $BC(a)$ рассматриваются весовые показатели промежуточной центральности

$$BCW(v) = \frac{1}{n^2 - n} \sum_{s \neq t} \frac{\mu_{st}(v)}{\mu_{st}}, \quad (3)$$

$$BCW(a) = \frac{1}{n^2 - n} \sum_{s \neq t} \frac{\mu_{st}(a)}{\mu_{st}}, \quad (4)$$

где $\mu_{st}(v)$, $\mu_{st}(a)$ и μ_{st} – соответствующие количества кратчайших путей с учетом веса дуг, причем в большинстве случаев для реальных сетей $\mu_{st} = \mu_{st}(v) = \mu_{st}(a) = 1$.

Отметим, что в русскоязычной литературе нет устоявшегося термина для обозначения характеристик (1)–(4). Наряду с термином «промежуточная центральность» используются термины «центральность по промежуточности» [Карпачевский, Шиликина, 2019] и «центральность по посредничеству» [Щербакова, 2015; Носырева, 2018]. В настоящей работе мы будем использовать только термин «промежуточная центральность» и там, где это удобно, слово «промежуточная» будем опускать.

Исследования, посвященные непосредственно показателю промежуточной центральности и его применению для анализа инфраструктурных сетей, насчитывают не один десяток работ. Основные результаты в этом направлении, полученные до 2011 г., хорошо освещены в обзорной статье [Barthelemy, 2011]. Среди более поздних работ можно отметить [Носырева, 2018] и [Карпачевский и др., 2019], в которых промежуточная центральность использовалась для анализа сетей электроснабжения Восточной Сибири и Калининградской области, соответственно, а также работу [Сяолин и др., 2016], в которой исследовались взаимосвязи между показателем промежуточной центральности вершин сети и размещением населения Санкт-Петербурга. Применению показателя промежуточной центральности для изучения городской транспортной сети посвящена также статья [Weiyan et al., 2019]. А в [Зинькина и др., 2014] показатели центральности применялись для анализа глобальной миграционной сети. Детальное обсуждение математических свойств промежуточной центральности, а также ее место среди других сетевых мер центральности можно найти в работе [Щербакова, 2015].

Показатель промежуточной центральности BC отражает самые общие (топологические) свойства сети. Более информативный показатель BCW учитывает не только топологию, но также и метрические свойства элементов сети. Однако в любом случае речь идет о количественной характеристике только лишь морфологических свойств сети. Есте-

ственно возникает вопрос о том, насколько показатели промежуточной центральности отражают функциональные свойства сети и могут ли они быть использованы для анализа и прогнозирования ее функционирования. В частности, на интуитивном уровне ожидается, что показатель центральности любого элемента сети должен быть тесно связан с его загруженностью, т. е. с количеством транспортных средств, перемещающихся по элементу за некоторый промежуток времени. Если бы это было так, то показатель центральности можно было бы использовать для прогнозирования загруженности и, тем самым, для, например, обоснования иерархии дорог при проектировании транспортных сетей.

Однако имеющиеся исследования конкретных транспортных сетей показывают отсутствие существенной зависимости между загруженностью элементов и их промежуточной центральностью. Так, в работе [Kurant et al., 2006] изучалась сеть железных дорог Европейского союза, и было показано, что для этой сети коэффициент корреляции Пирсона между показателем BC для вершин сети и их реальной загруженностью равен 0,26. Аналогичный результат был получен для сети автомобильных дорог Израиля в статье [Puzis et al., 2013]. Здесь коэффициент корреляции между BC и загруженностью вершин составил 0,11. В работах [Kazerani, Winter, 2009a, 2009b] слабость связи между загруженностью элементов сети и показателями центральности была продемонстрирована на примере специально сконструированной транспортной сети. Авторы двух последних работ также обосновали, что из двух показателей BC и BCW , значения второго лучше соответствуют реальной нагрузке элементов сети.

Тот факт, что наблюдается более высокий уровень корреляции между BCW и загруженностью элементов сети, подтверждается и расчетами для конкретных сетей. Например, для сети автомобильных дорог Израиля коэффициент корреляции между BCW и реальной загруженностью элементов сети равен 0,36 [Puzis et al., 2013]. Это конечно больше, чем для BC , но все равно недостаточно, чтобы делать какие-либо выводы о функционировании сети, пользуясь значениями BCW .

Исследование зависимости между BCW и функциональными классами дорог реальной сети также не дало каких-то значимых результатов [Мартыненко, 2015]. Было показано, что определенная связь есть, но не настолько сильная, чтобы можно было объяснить существующую иерархию элементов сети на основе их центральности.

Причины того, что показатели центральности слабо коррелируют с загруженностью элементов сети, частично обсуждаются в работах [Kazerani et al., 2009a; Puzis et al., 2013]. Там было показано, что для BC связь с реальной загруженностью будет тем слабее, чем сильнее вариация дуг сети по длине, поскольку в этом случае кратчайший по количеству дуг путь может не быть кратчайшим по длине. Например, для внутригородских транспортных се-

тей BC отражает загруженность гораздо лучше, чем для междугородних, именно потому, что дуги улично-дорожной сети различаются по длине не так сильно, как дуги, соединяющие города. Также связь BC и BCW с реальной загруженностью элементов сети будет слабой, если по сети осуществляется интенсивное движение, а пропускная способность ее элементов не велика. В этом случае кратчайший путь может быть настолько загруженным, что пользователи сети будут выбирать другие пути и тем самым повышать загруженность дуг и вершин, образующих эти пути.

Таким образом, причиной слабой корреляции между показателем BCW и загруженностью элементов сети является то, что транспортные средства могут передвигаться не по кратчайшим путям (в силу ограничений по пропускным способностям). Является ли эта причина единственной (основной) или же есть и другие факторы, приводящие к ослаблению указанной корреляции? Ответ на этот вопрос представляет значительный прикладной и теоретический интерес. В частности, если других значимых факторов нет, то само значение корреляции между BCW и загруженностью может быть использовано на практике как характеристика эффективности сети: если корреляция сильная, то это означает, что большинство перемещений осуществляется по кратчайшим путям, т. е. сеть функционирует эффективно. Если же значение корреляции мало, то это означает, что в силу каких-то недостатков транспортной сети многие перемещения осуществляются не по кратчайшим путям, и для повышения эффективности сети необходимо увеличение пропускных способностей ее элементов.

С теоретической точки зрения сформулированный вопрос является частью более общего вопроса о том, как связаны между собой морфологические и функциональные свойства транспортной сети. Если на корреляцию между загруженностью и BCW влияет только использование (неиспользование) кратчайших путей, связанное с пропускной способностью элементов сети, то это означает, что загруженность (функциональное свойство) обуславливается только лишь морфологией сети и пропускной способностью ее элементов. Из этого, в частности, следует, что существует возможность модифицировать показатель BCW путем «добавления в него» информации о пропускной способности элементов сети так, чтобы новый показатель сильно коррелировал с загруженностью и тем самым позволял прогнозировать функционирование транспортной сети.

К сожалению, описанные перспективы по практическому использованию и модификации показателя BCW невозможно реализовать, поскольку слабая корреляция между загруженностью и BCW вызвана не только неиспользованием кратчайших путей, но и другими факторами. В частности, нами был обнаружен достаточно неожиданный фактор, не имеющий какого-либо отношения к морфологии сети и пропускным способностям ее элементов, но при этом оказывающий очень сильное влияние на кор-

реляцию между загруженностью и BCW . Этим фактором является *средняя длина (продолжительность) поездки* (СДП) в сети, которая является одной из количественных характеристик транспортного поведения пользователей сети и обусловлена только лишь соотношением их транспортных потребностей и возможностей. Как оказалось, СДП оказывает гораздо более сильное влияние на корреляцию между загруженностью и BCW , чем использование (неиспользование) кратчайших путей, и при малых значениях СДП коэффициент корреляции может принимать значения, близкие к нулю.

Поскольку связь между СДП, загруженностью и показателем BCW имеет значение не только в контексте сформулированного выше вопроса, но также представляет и самостоятельный научный интерес, то в настоящей работе мы хотим детально исследовать влияние СДП на корреляцию между загруженностью дуг и их весовой промежуточной центральностью $BCW(a)$ на примере конкретной сети междугородних автомобильных дорог.

Материалы и методы исследования. Общая идея исследования заключается в следующем. Для конкретной транспортной сети на основе гравитационной модели можно рассчитать матрицу транспортных корреспонденций между всеми парами вершин. Предполагая, что все передвижения в сети осуществляются по кратчайшим путям, по матрице корреспонденций можно получить загруженность всех дуг сети. Естественно, результаты всех этих расчетов зависят от параметров гравитационной модели. В частности, гравитационная модель содержит параметр, отвечающий за СДП. Поэтому, проводя расчеты матрицы корреспонденций и загруженности всех дуг сети для различных значений этого параметра, мы тем самым получим загруженности всех дуг сети для различных значений СДП. Значения показателя $BCW(a)$ можно рассчитать для всех дуг сети в соответствии с определением (4). Полученные результаты позволяют сравнить значения $BCW(a)$ и загруженности дуг сети при разных СДП. В частности, для любого значения СДП можно вычислить коэффициент корреляции между загруженностью дуг и $BCW(a)$.

Далее рассмотрим более подробно основные аспекты реализации описанного подхода. Как уже было сказано, мы будем использовать сеть междугородних автомобильных дорог, а объемы корреспонденций между вершинами этой сети (населенными пунктами) будем рассчитывать на основе гравитационной модели

$$Q_{st} = \gamma \frac{P_s P_t}{f(d_{st})}, \quad (5)$$

где Q_{st} – объем транспортной корреспонденции между вершинами s и t ; P_s и P_t – потенциалы вершин s и t ; d_{st} – обобщенная цена взаимодействия по сети между вершинами s и t ; $f(d_{st})$ – функция тяготения, которая задает влияние обобщенной цены на объем корреспонденции; γ – положительный параметр модели.

Гравитационная модель (5) и ее различные модификации используются для расчета объемов взаимодействия географически удаленных объектов. В частности, многочисленные научные исследования посвящены ее применению для оценки распределения товарных потоков в международной торговле [Шумилов, 2017], объемов морских грузоперевозок [Kaluza, 2010], количества сообщений в сетях связи [Krings et al., 2009] и во многих других областях (подробный обзор применения гравитационной модели можно найти в [Barthelemy, 2011]). Достаточно серьезное практическое применение гравитационная модель находит при решении задач по расчету пассажирских корреспонденций, особенно для внутригородской транспортной сети [Ortuzar, Willumsen, 2011]. Кроме того, гравитационная модель используется в теоретико-географических исследованиях. Например, в работе [Бабурин и др., 2016] на ее основе формализовано понятие «экономико-географическое положение города».

В зависимости от характера рассматриваемого взаимодействия, в качестве потенциала P_s используются разные величины, например: валовый продукт, объем промышленного производства, численность населения, совокупный доход и т. п. В качестве обобщенной цены d_{st} может выступать непосредственно тариф на перевозку грузов или пассажиров, время, расстояние или какая-то комбинация этих величин. Что касается функции $f(d_{st})$, то она должна быть неотрицательной и монотонно возрастающей. Чаще всего используют степенную функцию $f(d_{st}) = d_{st}^\beta$ или показательную $f(d_{st}) = e^{\beta d_{st}}$. В обоих случаях параметр β тесно связан с СДП. В частности, для степенной функции СДП вычисляется по формуле

$$\text{СДП} = \text{СДП}(\beta) = \frac{\sum_{s \neq t} Q_{st} d_{st}}{\sum_{s \neq t} Q_{st}} = \frac{\sum_{s \neq t} P_s P_t d_{st}^{1-\beta}}{\sum_{s \neq t} P_s P_t d_{st}^{-\beta}}. \quad (6)$$

Зависимость (6) была подробно исследована в классической работе [Evans, 1971]. Кроме прочего, было установлено, что функция $\text{СДП}(\beta)$ строго убывает при $\beta \in [0, +\infty]$. Отсюда следует, что между значениями β и СДП существует взаимно-однозначное соответствие, и поэтому β можно рассматривать как параметризацию величины СДП: изменение β приводит к однозначному изменению СДП.

Далее под потенциалом P_s мы будем понимать людность населенного пункта, соответствующего вершине s . В качестве d_{st} будем использовать кратчайшее расстояние по сети между вершинами s и t (т. е. длину кратчайшего пути), а функцию тяготения возьмем в виде $f(d_{st}) = d_{st}^\beta$. Также мы будем предполагать, что все пользователи сети перемещаются по кратчайшим путям. Если между двумя вершинами более одного кратчайшего пути, то транспортные средства распределяются между всеми кратчайшими путями поровну. Тем самым мы полностью исключаем возможность снижения кор-

реляции между загруженностью и $BCW(a)$ за счет использования не кратчайших путей. С учетом всех этих допущений загруженность дуги a будет вычисляться по формуле

$$l(a) = \sum_{s \neq t} \frac{\mu_{st}(a)}{\mu_{st}} Q_{st}. \quad (7)$$

Здесь, как и выше, μ_{st} – количество кратчайших путей из вершины s в вершину t с учетом длины дуг, а $\mu_{st}(a)$ – количество тех из них, которые содержат дугу a .

В определении $BCW(a)$ присутствует нормирующий множитель $1/(n^2 - n)$. Поскольку $(n^2 - n)$ – количество кратчайших путей между всеми возможными парами несовпадающих вершин, то нормирующий множитель придает показателю центральности следующий смысл: значение $BCW(a)$ показывает, какую долю от всех этих путей составляют пути, содержащие дугу a . Нормируя аналогичным образом величину (7), получим

$$L(a) = \frac{l(a)}{\sum_{s \neq t} Q_{st}} = \frac{1}{\sum_{s \neq t} Q_{st}} \sum_{s \neq t} \frac{\mu_{st}(a)}{\mu_{st}} Q_{st}, \quad (8)$$

а с учетом (5) и сделанного выбора функции тяготения

$$\begin{aligned} L(a) = L_\beta(a) &= \frac{1}{\sum_{s \neq t} P_s P_t d_{st}^{-\beta}} \sum_{s \neq t} \frac{\mu_{st}(a)}{\mu_{st}} \gamma \frac{P_s P_t}{d_{st}^\beta} = \\ &= \frac{1}{\sum_{s \neq t} P_s P_t d_{st}^{-\beta}} \sum_{s \neq t} \frac{\mu_{st}(a)}{\mu_{st}} \frac{P_s P_t}{d_{st}^\beta}. \end{aligned} \quad (9)$$

Нормированную величину $L_\beta(a)$ можно интерпретировать следующим образом: значение $L_\beta(a)$ показывает, какую долю от суммарного объема всех транспортных корреспонденций составляют корреспонденции, осуществляющиеся по кратчайшим путям, содержащим дугу a .

Далее мы будем применять формулу (9) для расчета нормированной загруженности всех дуг сети при различных значениях параметра β и затем сравнивать получающиеся значения с показателем $BCW(a)$. В частности, нас будет интересовать коэффициент корреляции Пирсона между $L_\beta(a)$ и $BCW(a)$, который мы будем обозначать как

$$\rho(\beta) = \rho(BCW(a), L_\beta(a)). \quad (10)$$

Показатели $L_\beta(a)$ и $BCW(a)$ будут рассчитаны для сети автомобильных дорог Свердловской области. В качестве источника геоданных будем использовать проект OpenStreetMap³. Первичная обработка геоданных, необходимая для целей настоящей работы, подробно описана в статье [Мартыненко, Петров, 2016]. Моделирование и все дальнейшие расчеты будем осуществлять в программе Wolfram Mathematica [Мартыненко, 2016]. Попутно отметим, что пространственная структура сети автомобильных дорог Свердловской области и ее влияние на

³ В формате shape-файлов такие данные доступны на <https://gis-lab.info/qa/data.html>.

показатели транспортной доступности и функциональные классы дорог были исследованы в работах [Мартыненко, 2015; Мартыненко, Петров, 2016].

Сеть автомобильных дорог Свердловской области содержит около 1600 вершин, более 1050 из которых являются населенными пунктами, причем большую часть из них составляют средние и малые сельские поселения. Далее мы будем рассматривать только те населенные пункты, людность которых больше 1000 человек (таких в Свердловской области насчитывается 110), и сеть автомобильных дорог, связывающую только эти пункты. Такую сеть можно выделить из исходной сети, поскольку мы предполагаем, что корреспонденции осуществляются по кратчайшим путям. Следовательно, в выделенную сеть будут включаться только те дуги, из которых состоят кратчайшие пути между всеми возможными парами населенных пунктов, людность которых больше 1000 человек. Исходная и выделенная сети представлены на рис. 1.

Далее мы будем использовать только выделенную указанным образом сеть, называя ее для краткости просто «сеть». В частности, для дуг именно этой сети мы будем вычислять и анализировать показатели $L_p(a)$ и $BCW(a)$. Причина, по которой мы не используем для этого исходную сеть, носит технический характер, связанный с тем, что проводимые расчеты требуют значительных вычислительных ресурсов. Для выделенной сети все расчеты требуют более 4 часов машинного времени (на персональном компьютере с процессором Intel Pentium 1,6 ГГц и объемом оперативной памяти 4 Гб), а для исходной сети это время увеличивается почти в 100 раз. Это связано с тем, что время, затрачиваемое на расчеты, пропорционально квадрату количества вершин, а исходная сеть имеет их примерно в 10 раз больше, чем выделенная ($1050/110 \approx 10$).

Результаты исследования и их обсуждение. Промежуточная центральность $BCW(a)$ была рас-

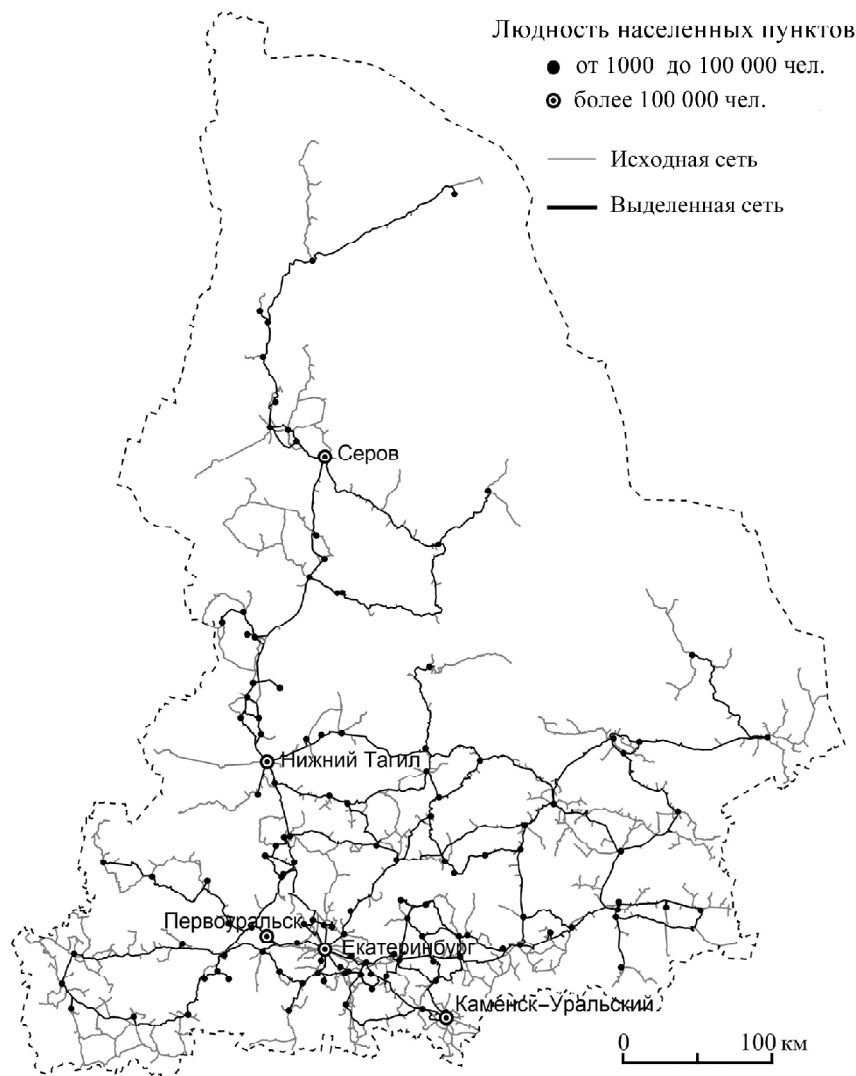


Рис. 1. Сеть автомобильных дорог Свердловской области

Fig. 1. The motorway network of the Sverdlovsk Oblast

считана для всех дуг сети по формуле (4). Полученный результат представлен на рис. 2. Загруженность $L_\beta(a)$ для всех дуг сети была рассчитана по формуле (9) при изменении β от 0 до 8 с шагом 0,01. Некоторое представление о полученных результатах дают картограммы на рис. 3, содержащие визуализацию загруженности дуг для $\beta = 0$, $\beta = 1$ и $\beta = 2$. Более полную картину поведения величин СДП, $BCW(a)$ и $L_\beta(a)$ при всех рассматриваемых значениях β можно увидеть на рис. 4. В частности, на рис. 4А изображен график зависимости СДП(β), заданной формулой (6). Также на нем для сравнения приведено значение средней длины дуги, которая для рассматриваемой сети равна 23,8 км. На рис. 4Б представлена зависимость $\rho(\beta)$, т. е. заданная формулой (10) зависимость коэффициента корреляции между $BCW(a)$ и $L_\beta(a)$ от параметра β . Наконец, на рис. 4В изображена зависимость коэффициента корреляции между $BCW(a)$ и $L_\beta(a)$ от СДП. Ее мы по-

лучили из $\rho(\beta)$ и зависимости, обратной к СДП(β). Полученная таким образом $\rho(\text{СДП})$ дает такую же информацию, что и $\rho(\beta)$, но при этом $\rho(\text{СДП})$ удобнее интерпретировать. Также в таблице приведены значения СДП(β) и $\rho(\beta)$ для некоторых значений β .

Для правильного понимания количественных значений, фигурирующих на рис. 2 и 3, обратим внимание, что в формулах (4) и (8) нормировка выполнена так, что если $BCW(a) = 0,2$ для некоторой дуги a , то это означает, что 20% от общего количества кратчайших путей между всеми парами вершин сети проходит через дугу a . Аналогично, если $L_\beta(a) = 0,2$, то это означает, что 20% от общего количества всех поездок, совершаемых в сети, проходит через дугу a .

Переходя к обсуждению полученных результатов прежде всего отметим, что значения величины $L_0(a)$ (см. рис. 3А) хорошо соответствуют пространственной структуре расселения населения Свердловской области. Наиболее загруженными являют-

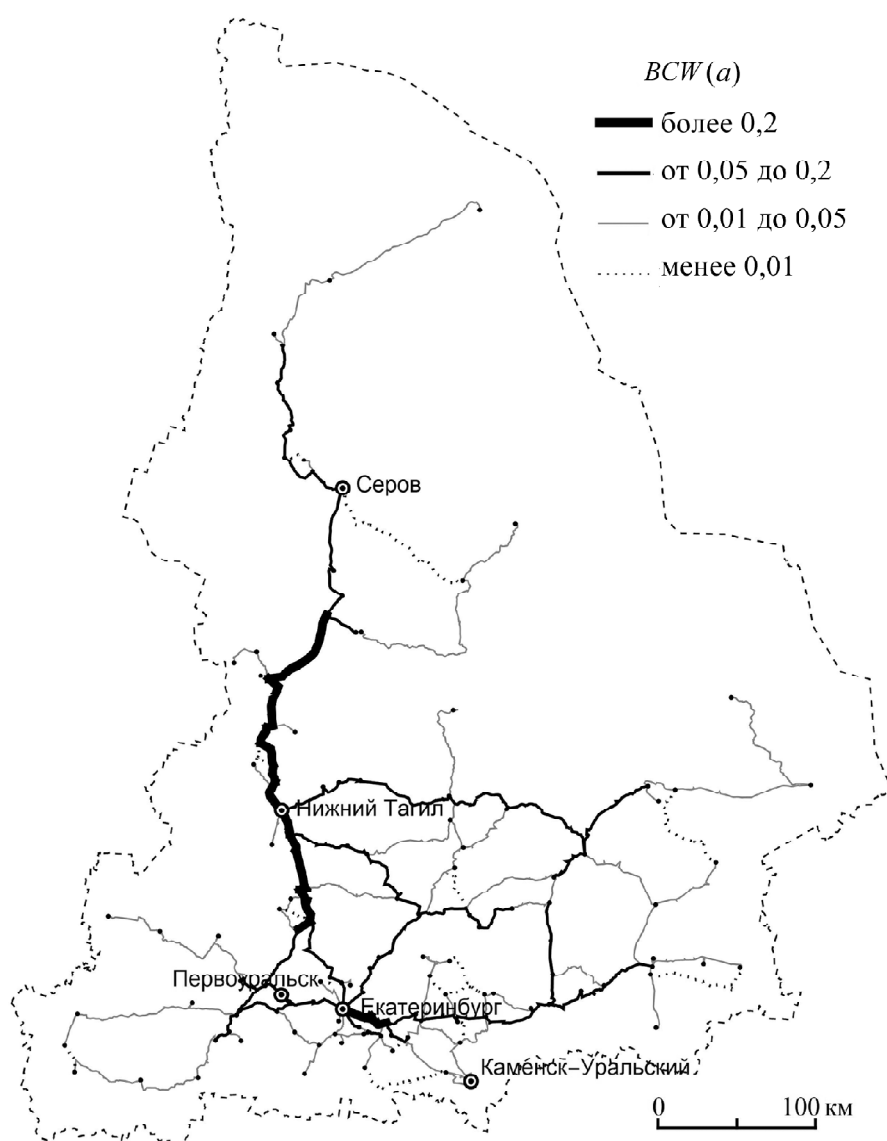
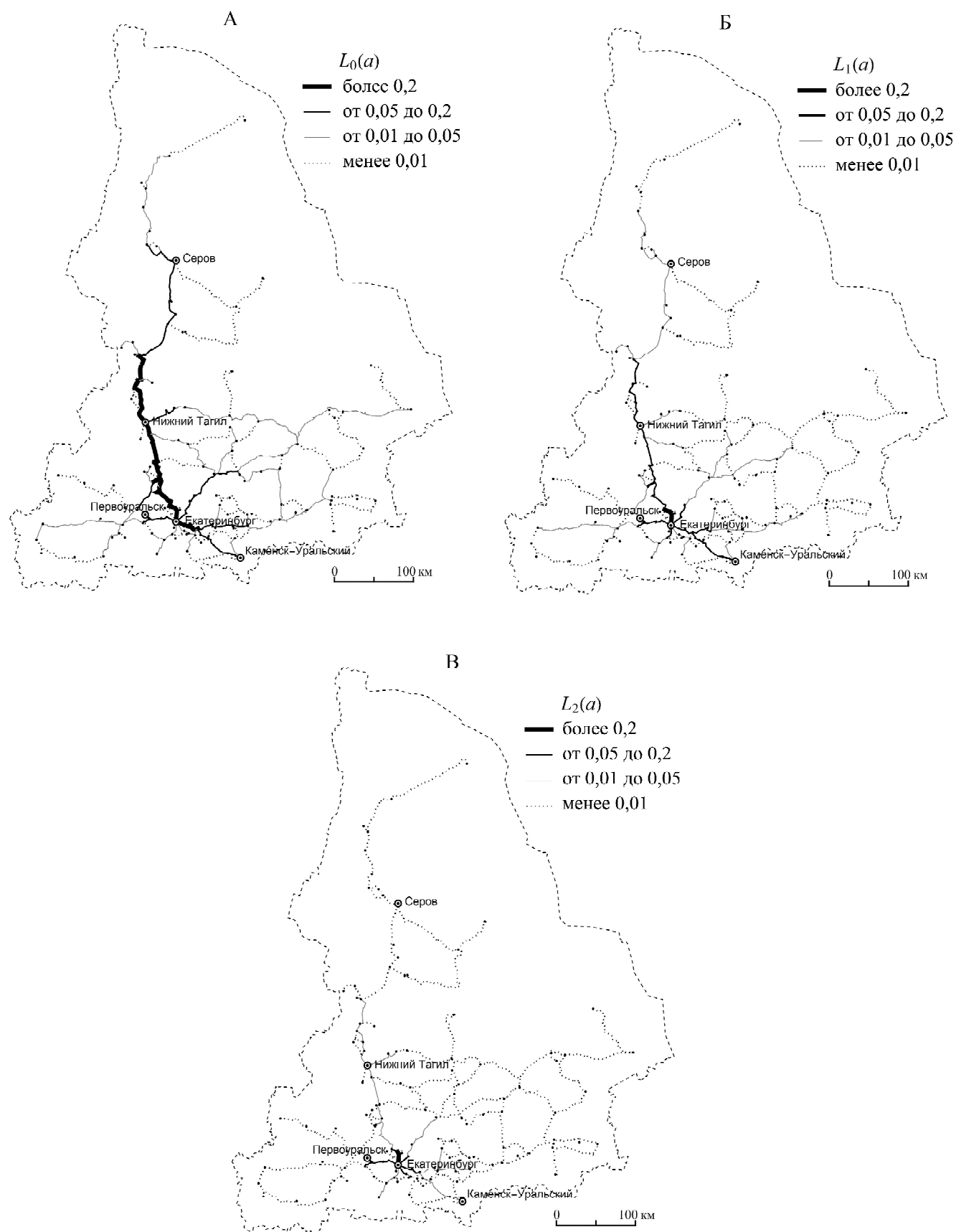


Рис. 2. Значения показателя центральности $BCW(a)$ для дуг сети

Fig. 2. The betweenness centrality $BCW(a)$ for the arcs of the network

Рис. 3. Загруженность $L_\beta(a)$ при $\beta = 0$ (А), $\beta = 1$ (Б) и $\beta = 2$ (В)Fig. 3. The load $L_\beta(a)$ for $\beta = 0$ (A), $\beta = 1$ (B) and $\beta = 2$ (B)

ся дуги, образующие меридиональную транспортную ось Каменск-Уральский–Екатеринбург–Нижний Тагил–Серов, вдоль которой проживает более 70% населения области и расположены все города с населением более 100 тыс. чел. Показатель $BCW(a)$ (см. рис. 2) также выделяет указанную ось: ее дуги имеют наибольшие значения промежуточной центральности. Кроме того, большинство периферийных дуг характеризуются как малыми значениями показателя $BCW(a)$, так и малыми значениями загруженности $L_0(a)$. Таким образом, можно заключить, что самые высокие и самые низкие значения промежуточной центральности $BCW(a)$ имеют дуги с самой высокой и самой низкой загруженностью $L_0(a)$, соответственно. Для дуг со средними значениями показателей $BCW(a)$ и $L_0(a)$ такое сходство визуально заметно гораздо меньше, однако высокое значение коэффициента корреляции $\rho(0) = 0,90$ говорит о том, что оно есть.

Все сказанное относительно качественного сходства $BCW(a)$ с $L_0(a)$ можно перенести на $L_1(a)$. Здесь тоже наиболее и наименее загруженные дуги имеют наибольшие и наименьшие значения промежуточной центральности. Однако с количественной точки зрения сходство между $BCW(a)$ и $L_1(a)$ несколько слабее. Коэффициент корреляции между ними $\rho(1) = 0,78$. Наконец для $L_2(a)$ сходство с $BCW(a)$ уже практически отсутствует. Это следует как из сравнения (см. рис. 2 и 3В), так и из значения коэффициента корреляции $\rho(2) = 0,41$.

Необходимо отметить, что рассматриваемые здесь загруженности дуг сети $L_\beta(a)$ учитывают только лишь объемы транспортных корреспонденций между населенными пунктами Свердловской области и не принимают во внимание их корреспонденции с населенными пунктами соседних регионов, а также между пунктами различных соседних регионов, которые обеспечивают транзитный поток транспортных средств. Учет такого дополнительного трафика естественно вызовет изменение количественных значений $L_\beta(a)$. Однако такое изменение приведет только лишь к уменьшению $\rho(\beta)$ и усилению полученных выше качественных выводов о том, что с ростом β снижается корреляция между $BCW(a)$ и $L_\beta(a)$. Учет дополнительного трафика обеспечит, прежде всего, значительное усиление загруженности периферийных (для сети Свердловской области) дуг и нарушит отмеченное выше соответствие между загруженностью и промежуточной центральностью для дуг с наименьшими значениями промежуточной центральности.

Сравнивая между собой рис. 3А, 3Б и 3В, мы видим, что с ростом β уменьшается количество дуг с высоким уровнем загруженности. Их четкая иерархическая структура (см. рис. 3А) постепенно «размывается» с увеличением β , и мы видим достаточно равномерное распределение загруженности по дугам сети (см. рис. 3В). Чтобы понять, почему так происходит, достаточно сравнить СДП, соответствующие различным значениям β , со средней длиной дуги. Так, для $\beta = 0$ имеем $СДП(0)/23,8 \approx 7$, т. е. в среднем

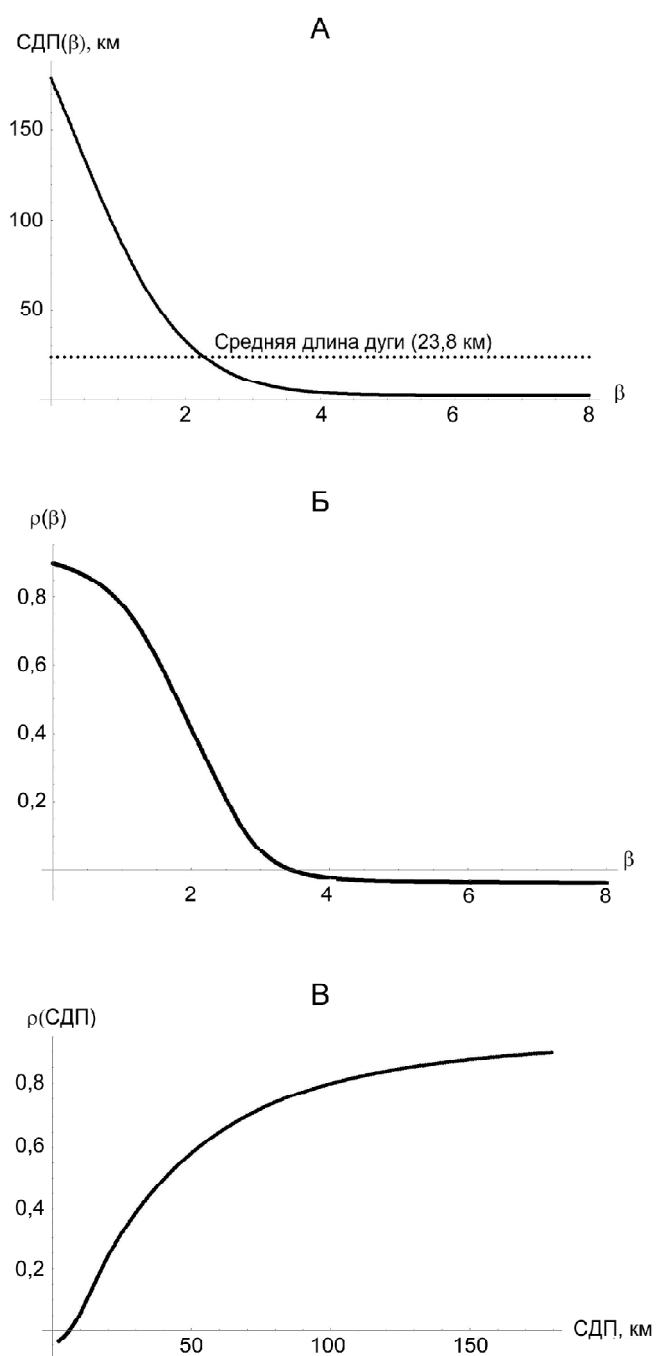


Рис. 4. Зависимости между различными характеристиками сети: А – СДП от β ; Б – коэффициента корреляции ρ от β ; В – коэффициента корреляции ρ от СДП

Fig. 4. Dependences between different characteristics of the network: А – ATL on β ; Б – the correlation coefficient ρ from β ; В – the correlation coefficient ρ from ATL

одна поездка проходит через семь дуг, значит есть большое количество дуг, через которые проходит много поездок и, следовательно, они будут иметь высокие загруженности. Для $\beta = 2$ получаем $СДП(2)/23,8 \approx 1,4$. Это означает, что большинство поездок проходят через одну или две дуги, т. е. фак-

тически основное движение происходит между соседними вершинами. Следовательно, для появления дуг с высоким уровнем загруженности просто нет никаких оснований.

На графиках (см. рис. 4) видно, что с дальнейшим ростом β значения СДП(β) и $\rho(\beta)$ уменьшаются, т. е. отмеченные выше тенденции по равномерной локализации поездов между соседними вершинами сети будут только усиливаться. При этом на графиках хорошо видно, что уже начиная с $\beta = 6$ величины СДП(β) и $\rho(\beta)$ практически выходят на свои асимптотические значения, которые могут быть найдены аналитически – переходом к пределу при $\beta \rightarrow \infty$. Обозначим наименьшую из дуг сети через $a_{\min}$, а ее длину через $d(a_{\min})$, тогда, используя стандартные приемы вычисления пределов (например, [Матейко, Таныгина, 2011]), из формул (6), (8) и (9) получаем

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} \text{СДП}(\beta) = d(a_{\min}), \quad (11)$$

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} L_{\beta}(a) = \begin{cases} 1 & \text{при } a = a_{\min}, \\ 0 & \text{при } a \neq a_{\min}, \end{cases} \quad (12)$$

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} \rho(\beta) = \frac{BCW(a_{\min}) - \overline{BCW(a)}}{\sqrt{k-1} \cdot S(BCW(a))}, \quad (13)$$

где k – количество дуг в сети; $\overline{BCW(a)}$ и $S(BCW(a))$ – среднее значение и среднеквадратическое отклонение величины $BCW(a)$ соответственно. Подчеркнем, что формулы (11)–(13) справедливы для любой сети (а не только для автодорог Свердловской области).

При анализе зависимости $\rho(\beta)$ для рассматриваемой сети достаточно интересным оказывается тот факт, что, начиная с некоторого значения β , коэффициент корреляции между $BCW(a)$ и $L_{\beta}(a)$ становится отрицательным, т. е. имеет место обратная корреляция между показателем центральности и загруженностью дуг. Из формулы (13) легко получить условие такого поведения для любой сети: *коэффициент корреляции $\rho(\beta)$ становится отрицательным, начиная с некоторого значения β , если для сети выполнено неравенство*

$$BCW(a_{\min}) < \overline{BCW(a)}. \quad (14)$$

Таким образом, из формул (11) и (12) следует, что значительное уменьшение СДП приводит к тому, что почти все поездки в сети будут осуществляться между соседними вершинами, соединенными самыми короткими дугами, а по остальным дугам движения почти не будет. И в предельном случае поездки будут осуществляться только по самой короткой дуге.

Рассмотренные особенности поведения $L_{\beta}(a)$, СДП(β) и $\rho(\beta)$ при больших значениях β представляют некоторый теоретический интерес, однако с точки зрения изучения функционирования реальных транспортных сетей их ценность невелика. В реальных сетях значение СДП значительно превосходит асимптотическую величину $d(a_{\min})$ и, по всей види-

мости, не может быть ниже средней длины дуги. Для рассматриваемой сети автодорог Свердловской области СДП равно средней длине дуги при $\beta = 2,27$. Поэтому, при анализе влияния СДП на корреляцию между промежуточной центральностью и загруженностью необходимо ограничиться диапазоном изменения β от 0 до 2,27 (этому соответствует изменение СДП от 179,3 до 23,8 км). Такое ограничение хорошо согласуется с тем, что значения β , полученные в различных исследованиях на основе эмпирических данных, лежат в диапазоне от 0 до 2 [Barthelemy, 2011].

На рис. 4Б хорошо видно, что даже если рассматривать зависимость $\rho(\beta)$ только при β из промежутка $[0; 2,27]$, то мы будем иметь существенное изменение ее значений от 0,9 до 0,3. Более того, $\rho(\beta)$ начинает принимать небольшие значения при β существенно меньших, чем 2,27. Так $\rho(\beta) = 0,5$ при $\beta = 1,7$, что соответствует значению СДП = 45,7 км. Таким образом, мы видим, что изменение СДП приводит к существенному изменению коэффициента корреляции между промежуточной центральностью и загруженностью. Мы здесь не будем подробно обсуждать причины, которые могут приводить к изменению СДП, но очевидно, что они носят в основном экономический и технический характер. Морфология сети если и оказывает влияние на СДП, то косвенное и крайне незначительное в количественном выражении (СДП существенно зависит от размера сети, но не от ее структуры).

Еще один аспект полученных результатов, который мы хотим здесь обсудить, заключается в монотонном характере зависимости $\rho(\beta)$. Дело в том, что большие (т. е. близкие к единице) значения $\rho(\beta)$ свидетельствуют о высокой эффективности морфологической структуры сети. Тесная корреляция между загруженностью и промежуточной центральностью говорит о том, что морфология сети хорошо соответствует ее использованию. С учетом этого весьма неожиданным является тот факт, что $\rho(\beta)$ убывает при всех β и наибольшее значение принимает при $\beta = 0$. На наш взгляд, гораздо более естественным было бы, если бы $\rho(\beta)$ имел один или несколько локальных максимумов и в одном из них достигал своего наибольшего значения. Тогда это бы означало, что есть некое значение СДП (соответствующее β , при котором достигается наибольшее значение $\rho(\beta)$), наилучшим образом соответствующее морфологии сети. Оно было бы результатом адаптации транспортной сети в процессе своей эволюции к перманентному изменению СДП (т. е. к изменению транспортного поведения пользователей сети) с наиболее оптимальным для себя значением. Полученный выше результат говорит о том, что для транспортной сети наиболее оптимальным оказалось $\beta = 0$, т. е. значение, при котором расстояние не влияет на поездки. В этом случае объем транспортной корреспонденции между двумя населенными пунктами зависит только от их людности и не зависит от расстояния между ними ($Q_{st} = \gamma P_s P_t$ при $\beta = 0$). Другими словами, мы получили, что ис-

пользование сети будет наилучшим образом соответствовать ее морфологии, если расстояния не влияют на поведение пользователей сети. На наш взгляд, этот факт нуждается в отдельном глубоком исследовании, выходящем за рамки данной статьи. Мы планируем посвятить этому отдельную работу, в которой прежде всего необходимо будет проверить, насколько такой результат справедлив для других сетей.

Выводы:

– предложенный в работе метод использования гравитационной модели для расчета загруженности элементов транспортной сети позволяет исследовать функциональные свойства сети и их взаимосвязь с ее морфологией. В частности, этот метод позволяет объяснить и количественно описать отсутствие значительной корреляции между загруженностями дуг и показателями их промежуточной центральности, которое имеет место для многих конкретных транспортных сетей;

– применение указанного метода к сети автомобильных дорог Свердловской области показывает, что функциональные свойства транспортной сети соответствуют ее морфологическим свойствам только при определенном транспортном поведении пользователей сети. А именно, если сеть в основном используется для поездок на дальние расстоя-

ния, значительно превышающие среднюю длину дуги сети, то загруженность ее дуг (функциональное свойство) в значительной мере определяется их морфологической иерархией, установленной на основе показателя промежуточной центральности. Если же пользователи используют сеть преимущественно для поездок на небольшие расстояния, сравнимые со средней длиной ее дуги, то загруженности дуг не зависят от значений показателя промежуточной центральности. Таким образом, чем больше «длинных» и меньше «коротких» поездок, т. е. чем больше средняя длина поездки в сети, тем сильнее будет влияние морфологии сети на ее функционирование;

– полученный результат представляет значительный интерес с практической точки зрения, поскольку он позволяет оценить, насколько морфология любой сети соответствует (способствует) ее функционированию. Для такой оценки достаточно установить среднюю длину поездки в данной сети (например, на основе выборочного опроса ее пользователей) и зависимость коэффициента корреляции между загруженностью и центральностью от средней длины поездки (с помощью описанной выше методики). Значение коэффициента корреляции для наблюдаемой средней длины поездки представляет собой меру соответствия морфологии сети ее функционированию.

Благодарности. Статья подготовлена в соответствии с Планом НИР УрГУПС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабуринов В.Л., Земцов С.П., Кидяева В.М. Методика оценки потенциала экономико-географического положения городов России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 1. С. 39–45.
- Бакланов П.Я., Мошков А.В., Романов М.Т. Базисные структурные звенья в долгосрочном развитии транспортных систем Дальневосточного региона России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 4. С. 83–92.
- Бугроменко В.Н. Транспорт в территориальных системах. М.: Наука, 1987. 112 с.
- Зинькина Ю.В., Коротаев А.В., Андреев А.И. Структура глобальной миграционной сети и динамика изменения мир-системы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 27. Глобалистика и геополитика. 2014. № 1–2. С. 18–32.
- Карпачевский А.М., Шилякина М.Н. Изучение динамики структуры калининградской энергосистемы на основе сетевого анализа // Окружающая среда и энергосистемы. 2019. № 2. С. 14–24.
- Мартыненко А.В. Взаимосвязь функциональных классов автомобильных дорог с показателем центральности (на примере автодорожной сети Свердловской области) // Вестник УрГУПС. 2015. № 4. С. 9–16.
- Мартыненко А.В. Программа Wolfram Mathematica как универсальная среда для обработки и анализа географической информации // Географический вестник. 2016. № 4. С. 129–138.
- Мартыненко А.В., Петров М.Б. Влияние начертания транспортной сети на показатели доступности (на примере Свердловской области) // Региональные исследования. 2016. № 2. С. 21–30.
- Матейко О.М., Таныгина А.Н. Высшая математика для географов: учебное пособие для студентов географических и геоэкологических специальностей вузов. Минск: БГУ, 2011. 267 с.
- Носырева Е.В. Сравнительный анализ топологических свойств сетей электроснабжения Италии и Восточной Сибири // Вестник ИРГТУ. 2018. № 11. С. 170–181.
- Панов Р.Д. Эволюция пространственной структуры сетей крупнейших метрополитенов мира // Известия РАН. Серия географическая. 2020. № 1. С. 20–26. DOI: 10.31857/S2587556620010161.
- Сяолин Л., Анохин А.А., Шендрик А.В., Чунлян С. Изменения в пространственном распределении населения и дорожной сети Санкт-Петербурга // Балтийский регион. 2016. № 4. С. 53–77.
- Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск: Универсум, 2006. 386 с.
- Тархов С.А. Пространственные закономерности роста высокоскоростных железных дорог в мире // Региональные исследования. 2016. № 4. С. 90–104.
- Тархов С.А. Анализ топологических дефектов сухопутной транспортной сети регионов Сибири и Дальнего Востока // Региональные исследования. 2019. № 3. С. 53–62.
- Шумилов А.В. Оценивание гравитационных моделей международной торговли: обзор основных подходов // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2017. № 2. С. 224–250.
- Щербакова Н.Г. Меры центральности в сетях // Проблемы информатики. 2015. № 2. С. 18–30.
- Barthelemy M. Spatial networks, *Physics Reports-review Section of Physics Letters*, 2011, no. 1, p. 1–101.
- Evans A.W. The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost function, *Transportation Research*, 1971, vol. 5, p. 15–38, DOI: 10.1016/0041-1647(71)90004-9.
- Haggett P., Chorley R. *Network Analysis in Geography*, London, Edward Arnold, 1969, 348 p.

Kaluza P., Koelzsch A., Gastner M.T., Blasius B. The complex network of global cargo ship movements, *Journal of the Royal Society Interface*, 2010, no. 48, p. 1093–1103.

Kansky K. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics, Chicago, University of Chicago Press, 1969, 155 p.

Kazerani A., Winter S. Can betweenness centrality explain traffic flow? *Proceedings of the 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, Hannover, Leibniz Universität Hannover, 2009a, 9 p.

Kazerani A., Winter S. Modified betweenness centrality for predicting traffic flow, *Proceedings of the 10th International Conference on GeoComputation*, Sydney, University of New South Wales, 2009b, 5 p.

Krings G., Calabrese F., Ratti C., Blondel V.D. A gravity model for inter-city telephone communication networks, *Journal of*

Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2009, vol. 2009, p. L07003, DOI: 10.1088/1742-5468/2009/07/L07003.

Kurant M., Thiran P. Layered complex networks. *Physical Review Letters*, 2006, vol. 96(13), p. 138701, DOI: 10.1103/PhysRevLett.96.138701.

Ortuzar J.D., Willumsen L.G. *Modelling Transport*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2011, 606 p.

Puzis R., Altshuler Y., Elovici Y., Bekhor S., Shifan Y., Pentland A. Augmented Betweenness Centrality for Environmentally Aware Traffic Monitoring in Transportation Networks, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2013, vol. 17, p. 91–105, DOI: 10.1080/15472450.2012.716663.

Weiyang L., Xin L., Tao L., Bin L. Approximating betweenness centrality to identify key nodes in a weighted urban complex transportation network, *Journal of Advanced Transportation*, 2019, Article ID 9024745, 8 p., DOI: 10.1155/2019/9024745.

Поступила в редакцию 06.08.2020

После доработки 05.11.2020

Принята к публикации 21.01.2021

A.V. Martynenko^{1,2}

CORRELATION BETWEEN FUNCTIONAL PROPERTIES OF THE TRANSPORTATION NETWORK AND THE MORPHOLOGICAL HIERARCHY OF ITS ELEMENTS (CASE STUDY OF MOTORWAYS OF THE SVERDLOVSK OBLAST)

Various numerical characteristics of topological and metric properties are often used to study the transport networks. The most popular of them is the betweenness centrality. It is used to describe the hierarchical structure of network elements (arcs and vertices). It equals the number of shortest paths that pass through particular element of the network. Thus, it shows the importance of the element for the whole network.

The betweenness centrality parameter was used by various authors as both an analysis tool and an independent object of study. In particular, many experts were interested in how this indicator reflects the real functioning of a transport network, for example, the utilized capacity of its elements. Correlation and regression analysis of the utilized capacity and betweenness centrality for a number of real networks has shown that there is a direct correlation between these values. However, it is not strong enough to be used to predict the utilized capacity of network elements on the basis of their betweenness centrality.

The paper presents the in-depth study of the relationship between the betweenness centrality and the utilized capacity as a part of more general relationship between the morphological and functional properties of transport network. The utilized capacity of network arcs was modeled for the motorway network of the Sverdlovsk Oblast using the gravity model of origin-destination matrix. Different parameters of the gravity model resulted in different loading modes; each of them was analyzed in terms of their relationship with the betweenness centrality.

As a result of modeling and analysis, it was found that the correlation ratio between the betweenness centrality and the utilized capacity depends much on the transport behavior of network users, namely the distance of their trips. If the average trips length is significantly longer than the average arc length, there is a strong correlation between the betweenness centrality and congestion. Otherwise, there is no significant relationship between the betweenness centrality and the utilized capacity of the network.

Key words: betweenness centrality; gravity model; origin-destination matrix; network morphology; load of network elements

Acknowledgements. The article was prepared under the Plan of research work of the Ural State University of Railway Transport.

¹ Ural State University of Railway Transport, Department of Natural Sciences, Associate Professor.

² Institute of Economics, Russian Academy of Science (the Ural Branch), Center of production forces development and placement, Senior Scientific Researcher, PhD in Physics and Mathematics; e-mail: amartynenko@rambler.ru

REFERENCES

- Baburin V.L., Zemtsov S.P., Kidyayeva V.M. Metodika otsenki potentsiala ekonomiko-geograficheskogo polozheniya gorodov Rossii [Methodology of evaluating the potential of the economic-geographical position of Russia's towns], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 1, p. 39–45. (In Russian)
- Baklanov P.Ya., Moshkov A.V., Romanov M.T. Bazyisnye strukturnye zven'ya v dolgosrochnom razvitii transportnykh sistem Dal'nevostochnogo regiona Rossii [Basic structural links in the long-term development of transport systems of the Far Eastern region of Russia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 4, p. 83–92. (In Russian)
- Barthelemy M. Spatial networks, *Physics Reports-review Section of Physics Letters*, 2011, no. 1, p. 1–101.
- Bugromenko V.N. *Transport v territorial'nykh sistemakh* [Transport in territorial systems], Moscow, Nauka Publ., 1987, 112 p. (In Russian)
- Evans A.W. The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost function, *Transportation Research*, 1971, vol. 5, p. 15–38, DOI: 10.1016/0041-1647(71)90004-9.
- Haggett P., Chorley R. *Network Analysis in Geography*, London, Edward Arnold, 1969, 348 p.
- Kaluza P., Koelzsch A., Gastner M.T., Blasius B. The complex network of global cargo ship movements, *Journal of the Royal Society Interface*, 2010, no. 48, p. 1093–1103.
- Kansky K. *Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics*, Chicago, University of Chicago Press, 1969, 155 p.
- Karpachevskii A.M., Shilyakina M.N. Izuchenie dinamiki struktury kaliningradskoi energosistemy na osnove setevogo analiza [The study of the structure dynamics of the Kaliningrad power system based on the network analysis], *Okruzhayushchaya sreda i energovedenie*, 2019, no. 2, p. 14–24. (In Russian)
- Kazerani A., Winter S. Can betweenness centrality explain traffic flow, *Proceedings of the 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, Hannover, Leibniz Universität Hannover, 2009, 9 p.
- Kazerani A., Winter S. Modified betweenness centrality for predicting traffic flow. *Proceedings of the 10th International Conference on GeoComputation*, Sydney, University of New South Wales, 2009, 5 p.
- Krings G., Calabrese F., Ratti C., Blondel V.D. A gravity model for inter-city telephone communication networks, *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2009, vol. 2009, p. L07003, DOI: <http://dx.doi.org/10.1088/1742-5468/2009/07/L07003>.
- Kurant M., Thiran P. Layered complex networks, *Physical Review Letters*, 2006, vol. 96(13):138701, DOI: 10.1103/PhysRevLett.96.138701.
- Martynenko A.V. Programma Wolfram Mathematica kak universal'naya sreda dlya obrabotki i analiza geograficheskoi informatsii [The Wolfram Mathematica program as a universal tool for processing and analysing geographic information], *Geograficheskii vestnik*, 2016, no. 4, p. 129–138. (In Russian)
- Martynenko A.V. Vzaimosvyaz' funktsional'nykh klassov avtomobil'nykh dorog s pokazatelem tsentral'nosti (na primere avtodorozhnoi seti Sverdlovskoi oblasti) [Relationship between functional classes of motor roads and the centrality factor (case study of motorroad network of the Sverdlovsk Oblast)], *Vestnik UrGUPS*, 2015, no. 4, p. 9–16. (In Russian)
- Martynenko A.V., Petrov M.B. Vliyaniye nachertaniya transportnoi seti na pokazateli dostupnosti (na primere Sverdlovskoi oblasti) [Influence of surface transportation network on accessibility (by the example of the Sverdlovsk Oblast)], *Regional research*, 2016, no. 2, p. 21–30. (In Russian)
- Mateiko O.M., Tanygina A.N. *Vysshaya matematika dlya geografov: uchebnoe posobie dlya studentov geograficheskikh i geokologicheskikh spetsial'nostei vuzov* [Higher mathematics for geographers: textbook for students of geographical and geoecological specialties of higher education institutions], Minsk, BGU Publ., 2011, 267 p. (In Russian)
- Nosyreva E.V. Sravnitel'nyi analiz topologicheskikh svoystv setei elektrosnabzheniya Italii i Vostochnoi Sibiri [Comparative analysis of topological properties of electrical supply networks in Italy and Eastern Siberia], *Vestnik IrGTU*, 2018, no. 11, p. 170–181. (In Russian)
- Ortuzar J.D., Willumsen L.G. *Modelling Transport*, Chichester, John Wiley & Sons Ltd, 2011, 606 p.
- Panov R.D. Evolyutsiya prostranstvennoi struktury setei krupneishikh metropolitenov mira [Evolution of spatial structure of the world's biggest subway networks], *Izvestiya RAN, Seriya geograficheskaya*, 2020, no. 1, p. 20–26. (In Russian)
- Puzis R., Altshuler Y., Elovici Y., Bekhor S., Shiftan Y., Pentland A. Augmented Betweenness Centrality for Environmentally Aware Traffic Monitoring in Transportation Networks, *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 2013, vol. 17, p. 91–105, DOI: 10.1080/15472450.2012.716663.
- Shcherbakova N.G. Mery tsentral'nosti v setyakh [Measures of centrality in networks], *Problemy informatiki*, 2015, no. 2, p. 18–30. (In Russian)
- Shumilov A.V. Otsenivaniye gravitatsionnykh modelei mezhdunarodnoi trgovli: obzor osnovnykh podkhodov [Estimating gravity models of international trade: a survey of methods], *Ekonomicheskii zhurnal Vyshei shkoly ekonomiki*, 2017, no. 2, p. 224–250. (In Russian)
- Syaolin' L., Anokhin A.A., Shendrik A.V., Chunlyan S. Izmeneniya v prostranstvennom raspredelenii naseleniya i dorozhnoi seti Sankt-Peterburga [Changes in the spatial distribution of population and transport network of Saint Petersburg], *Baltiiskii region*, 2016, no. 4, p. 53–77. (In Russian)
- Tarkhov S.A. Analiz topologicheskikh defektov sukhoputnoi transportnoi seti regionov Sibiri i Dal'nego Vostoka [Analysis of topological defects of land transport network of Siberia and Russian Far East regions], *Regional'nye issledovaniya*, 2019, no. 3, p. 53–62. (In Russian)
- Tarkhov S.A. *Evolyutsionnaya morfologiya transportnykh setei* [Evolutional morphology of transport networks], Smolensk, Universum Publ., 2006, 386 p. (In Russian)
- Tarkhov S.A. Prostranstvennye zakonomernosti rosta vysokoskorostnykh zheleznykh dorog v mire [Spatial consistency of world widehigh-speed railways' growth], *Regional'nye issledovaniya*, 2016, no. 4, p. 90–104. (In Russian)
- Weiyan L., Xin L., Tao L., Bin L. Approximating betweenness centrality to identify key nodes in a weighted urban complex transportation network, *Journal of Advanced Transportation*, 2019, Article ID 9024745, 8 p., DOI: 10.1155/2019/9024745.
- Zin'kina Yu.V., Korotaev A.V., Andreev A.I. Struktura global'noi migratsionnoi seti i dinamika izmeneniya Mir-Sistemy [The structure of global migration network and dynamics changes in the world system], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 27, Globalistika i geopolitika*, 2014, no. 1–2, p. 18–32. (In Russian)

Received 06.08.2020

Revised 05.11.2020

Accepted 21.01.2021

ДИНАМИКА ПРИРОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

УДК 551.583

Г.В. Суркова¹, В.А. Романенко²

СЕЗОННЫЕ И МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ТЕПЛА МЕЖДУ МОРЕМ И АТМОСФЕРОЙ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Исследован современный режим турбулентного теплообмена с атмосферой над Баренцевым и Карским морями, рассчитаны оценки его пространственной, сезонной и синоптической изменчивости (1979–2018) по показателям среднеквадратичного отклонения. Показано, что на протяжении последних десятилетий области расположения очагов максимального энергообмена между поверхностью Баренцева моря и атмосферой существенно не изменились по сравнению с серединой и второй половиной XX в. Выявлено, что наибольшая сезонная и синоптическая изменчивость потоков тепла характерна для центральной и западной частей Баренцева моря. Получено, что оба показателя изменчивости в холодное время года в два-пять и более раз выше, чем в теплое, а пространственная неоднородность показателей изменчивости зимой примерно в два раза больше, чем летом. Количественные оценки показали, что в пределах акватории Баренцева моря пространственная изменчивость потоков зимой в пять-десять и более раз может превышать летние значения. Над Карским морем наибольшая неоднородность в поле потоков характерна для осеннего и начала зимнего сезонов. Определено, что годовые суммы потоков явного и скрытого тепла с поверхности Баренцева моря в среднем в три-четыре и в пять-шесть раз, соответственно, превышают значения для Карского моря, а в отдельные годы могут различаться в десятки раз. За исследуемый период единый тренд интегральной по акватории годовой величины потоков явного и скрытого тепла не выражен, хотя присутствуют разнонаправленные декадные колебания. Показано, что, несмотря на существенную разницу термического режима Баренцева и Карского морей и нижней атмосферы над ними, межгодовые изменения суммарных турбулентных потоков довольно хорошо синхронизированы, что свидетельствует об общности крупномасштабных гидрометеорологических процессов, влияющих на энергообмен между морями и атмосферой.

Ключевые слова: Баренцево и Карское моря, теплообмен океана и атмосферы, тренды

Введение. Гидрометеорологический режим Арктики стремительно меняется в последние десятилетия. Так называемое «арктическое усиление» особенно заметно проявляется в положительных трендах температуры воздуха и воды арктических морей [Алексеев, 2015; Второй..., 2014; IPCC..., 2013; Доклад..., 2020; Voeke, Taylor, 2018; Serreze, Barr, 2011]. Турбулентный теплообмен между поверхностью морей и атмосферой, наряду с облачностью, радиационными потоками, тепловым и ледовым режимом морей, циркуляцией атмосферы и океана, представляет один из важных факторов, регулирующих температурный режим Арктики. Количественным оценкам потоков тепла и испарения в этом регионе посвящено много работ, основанных на экспедиционных измерениях, спутниковых данных, результатах пространственных реконструкций и моделирования [Атлас Арктики, 1985; Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990; Лаппо и др., 1990; Репина и др., 2011; Репина, Артамонов, 2020; Ivanov et al., 2019]. Настоящая работа продолжает иссле-

дования в этой области. Оценка пространственно-временной изменчивости турбулентных потоков на масштабе десятилетий является важным вкладом в понимание механизмов взаимодействия океана и атмосферы.

Баренцево и Карское моря расположены в западном морском секторе Российской Арктики. И в атмосфере, и в океане гидрометеорологический режим испытывает активное влияние Атлантики, которое ослабевает с запада на восток. Для теплых атлантических вод, движущихся на восток, естественным препятствием становится архипелаг Новая Земля, в атмосфере же атлантический воздух может достигать восточных окраин Карского моря. Циклоническая деятельность в атмосфере в западном секторе российской Арктики выражена ярко, особенно в зимний период. В этой широтной зоне проходят траектории многих атлантических циклонов [Proshutinsky, Johnson, 1997; Rudeva, Gulev, 2007]. Наличие контрастной в пространстве температуры поверхности в Баренцевом море за счет присутствия

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: galina_surkova@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, студент; e-mail: romanenko.victor.geo@mail.ru

теплых течений и морского льда, а также холодного материка зимой усиливает бароклинность в атмосфере и способствует усилению циклогенеза, который может выражаться в различных синоптических ситуациях и даже при определенных условиях приобретать черты муссонной циркуляции [Kislov, Matveeva, 2020], что влияет на мощность и сплошность морского льда [Ding et al., 2017].

Типичные размеры внетропических циклонов и антициклонов – 800–1000 км. В разных частях этих вихрей адвекция воздуха идет разнонаправленно, создавая определенные погодные условия и вертикальную стратификацию нижней атмосферы, определяя таким образом различную интенсивность турбулентных потоков в разных частях барических образований. Особенно мощная теплоотдача происходит при синоптических ситуациях, способствующих выносу холодного и сухого воздуха с суши на морскую поверхность, приводя к резкому увеличению вертикальных градиентов температуры и влажности. Это может происходить также и при выносе воздуха с морского льда на открытую воду [Тилинина и др., 2016; Селиванова и др., 2016]. Определенные синоптические ситуации приводят к формированию высоких скоростей ветра [Суркова, Крылов, 2016], что усиливает турбулентный теплообмен.

Изменение климата Арктики требует понимания вклада различных факторов обмена энергией между океаном и атмосферой в эти процессы. В настоящей работе представлены результаты оценок современной пространственной, синоптической, сезонной и многолетней изменчивости турбулентных потоков явного и скрытого тепла в западном секторе Российской Арктики, опирающиеся на современные данные реанализа, формирующегося на основе ретроспективного численного моделирования процессов в атмосфере и океане и позволяющего выполнить количественные оценки гидрометеорологических показателей в тех районах, где данные наблюдений отсутствуют или же не позволяют выстроить многолетние ряды.

Материал и методы исследований. Исходным материалом для расчетов и оценки многолетней пространственно-временной изменчивости стали данные о потоках явного и скрытого тепла между морем и атмосферой по результатам реанализа ERA-Interim [Dee et al., 2011; ECMWF..., 2019] за 1979–2018 гг. для территории 65–83° с. ш., 20–110° в. д. с пространственным разрешением $0,125 \times 0,125^\circ$ по широте и долготе (итого 721×145 узлов сетки) за каждые 6 ч. Расчет потоков в модели Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды, на основе которой готовится реанализ ERA-Interim, выполняется с использованием аэродинамических балк-формул [Berrisford et al., 2011; Zhou, Wang, 2016]. Основным исходным фактором, определяющим величину турбулентных потоков, – радиационный баланс, от которого зависит температура поверхности и воздуха. Над морской поверхностью дополнительное влияние оказывает состояние моря (высота волн, период, длина). Эти факторы учитываются при

модельных расчетах для подготовки ERA-Interim с учетом усвоения данных спутниковых наблюдений [Berrisford et al., 2011].

Выполненные в работе [Lindsay et al., 2014] сравнительные оценки разных реанализов показали хорошее соответствие модельных результатов по турбулентным потокам тепла реанализа ERA-Interim с данными независимых наблюдений. В статье [Zhou, Wang, 2016] показано, что корреляция данных наблюдений за турбулентными потоками американской сети Ameriflux (более 80 станций) и результатов ERA-Interim составляет более 80%.

Оценка сезонной и синоптической временной изменчивости потоков, а также их пространственной неоднородности в пределах каждого моря, выполнялась по среднеквадратичному отклонению (СКО):

$$\text{СКО} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (1)$$

где x_i – i -й элемент выборки; n – объем выборки; $\bar{x}$ – среднее арифметическое выборки.

Синоптическое (внутримесечное) СКО ($\text{СКО}_{\text{син}}$) вычислялось по исходным данным (каждые 6 ч) в узлах сетки ежегодно для каждого месяца. Расчет сезонной изменчивости ($\text{СКО}_{\text{сез}}$) был выполнен по среднемесячным значениям потоков во все годы. Далее за весь период (1979–2016) рассчитывались средние многолетние значения каждого показателя.

Для акватории каждого моря оценивалась интегральная годовая сумма энергии обмена теплом с атмосферой. По площади моря выполнялось «взвешивание» суммируемых значений с учетом широты и связанного с этим изменения площади ячейки реанализа.

Для анализа пространственной изменчивости суммарных за месяц потоков тепла функция распределения была представлена в форме диаграммы размаха («ящик с усами»). Диаграмма показывает медиану, нижний и верхний квартили, минимальное и максимальное значения выборки и выбросы. Расстояние между верхней и нижней границами «ящика» позволяет определить разброс данных – это первый и третий квартили, соответствующие 25-му и 75-му процентиллям. Линия в середине – медиана, или 50-й процентиль. Концы «усов» – края статистически значимой выборки, определяемые формулами:

$$X_1 = Q_1 - k(Q_3 - Q_1), \quad (2)$$

$$X_2 = Q_3 + k(Q_3 - Q_1), \quad (3)$$

где X_1 – нижняя граница «уса»; X_2 – верхняя граница «уса»; Q_1 – первый квартиль; Q_3 – третий квартиль; k – коэффициент, равный 1,5 [Benjamini, 1988].

Результаты исследований и их обсуждение. Обобщение многолетних рядов позволило оценить современные условия турбулентного теплообмена между морской поверхностью и атмосферой. Сравнение особенностей пространственного распределения потоков явного и скрытого тепла (рис. 1) с оцен-

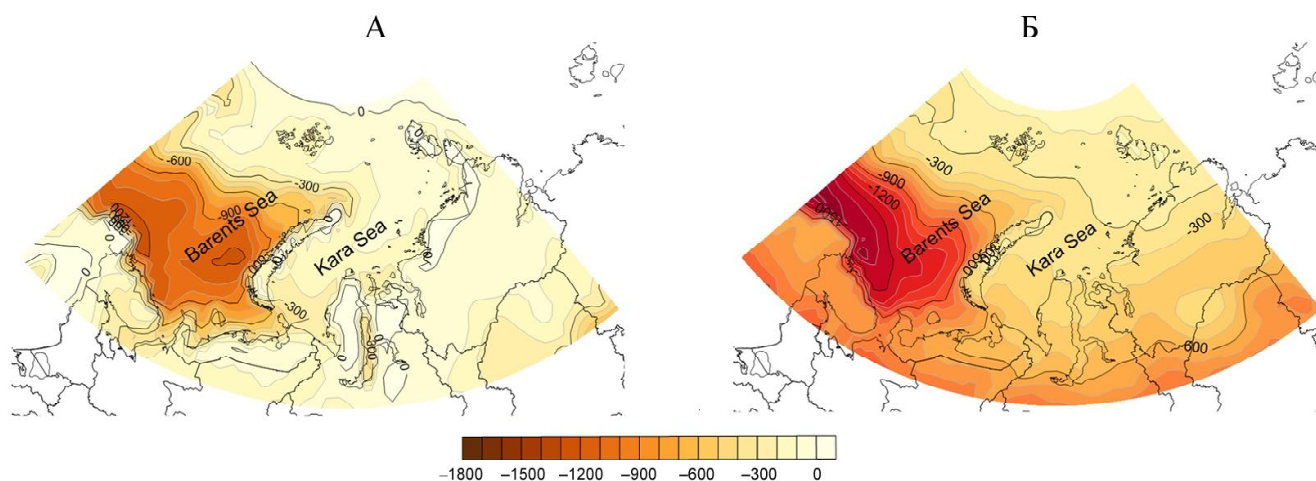


Рис. 1. Средняя годовая сумма потока явного тепла (А) и скрытого тепла (Б), МДж/м². Здесь и далее отрицательный знак перед величиной потока соответствует его направлению снизу-вверх, т. е. от поверхности моря в атмосферу

Fig.1. Average annual surface sensible heat flux SSHF (А) and surface latent heat flux SLHF (Б), MJ/m². Hereinafter, the negative sign in front of the flow value corresponds to its direction from bottom to top, i. e. from the sea surface to the atmosphere

ками, сделанными ранее [Гидрометеорология и гидрохимия..., 1990; Атлас Арктики..., 1985], показывает, что общие закономерности расположения очагов максимальной и минимальной теплоотдачи сохраняются. Но подробность данных реанализа позволила выявить и дополнительные пространственные детали, и особенности многолетних изменений. Максимальные затраты тепла на испарение и потоков явного тепла приходятся на районы теплых течений, проникающих из Атлантики. Их влияние особенно ярко выражено в Баренцевом море, поскольку далее к востоку архипелаг Новая Земля препятствует движению теплых вод в Карское море, что делает принципиально несхожим режим теплообмена морей с атмосферой. Наличие теплых течений в Баренцевом море придает выраженную азональность в картине теплообмена и приводит к большой пространственной изменчивости потоков тепла в атмосферу. Над Карским морем, значительную часть года покрытым льдом, поле потоков тепла гораздо более однородно.

Ежемесячные многолетние оценки пространственной неоднородности потоков по акватории каждого из морей и ее годовой ход представлены на рис. 2. Из результатов видно, что в летний сезон поля наиболее сглажены. Особенности годового хода пространственной изменчивости для обоих морей во многом определяются площадью и сплоченностью морского льда, а для Баренцева моря еще и теплыми течениями. Особенно мощные потоки турбулентного тепла в атмосферу отмечаются в зимнее время, что подтверждается и данными наблюдения [Репина и др., 2014]. Поэтому в холодный сезон для этого моря картина довольно контрастна. А поскольку значительная часть моря свободна ото льда или же он представляет собой не сплошной покров, то сами значения потоков существенно больше, чем в Карском море. Для последнего наибольший разброс

значений в пределах акватории отмечается в свободный ото льда период (в конце лета), а также когда вновь постепенно начинается формирование ледового покрова. В целом за год для обоих морей теплоотдача направлена в атмосферу. Однако над Карским морем в декабре и январе поток, хоть и небольшой, бывает направлен вниз. Это может быть связано с ситуациями инверсионного распределения температуры воздуха в приземном слое над льдом в условиях полярной ночи. Над Баренцевым морем (см. рис. 2) такая направленность потоков тоже возможна, особенно в северной части, но преобладает мощная теплоотдача из моря в атмосферу. Величина потоков явного и скрытого тепла над Карским морем большую часть года близка к нулю, заметной она становится в сентябре–ноябре, но и тогда средние значения редко превышают 40 МДж/мес по суммарной площади одной ячейки пространственной сетки реанализа. Расчеты показали, что суммарные годовые потоки явного тепла со всей акватории Баренцева моря в среднем выше, чем над Карским морем в три-четыре раза, хотя в отдельные годы превышают их и в десятки раз. Поступление тепла в атмосферу за год с поверхности Баренцева моря в пять-шесть раз больше, чем с Карского моря, в некоторые годы величина интегральных потоков может отличаться на порядок.

Оценка внутrigодовой (сезонной) и внутримесячной (синоптической) изменчивости показала, что наибольшие их значения характерны для центральной и западной частей Баренцева моря и зоны шельфа. В перечисленных районах более ярко выражены процессы, влияющие на изменчивость турбулентных потоков: прогрев и выхолаживание, сгонно-нагонные явления, интенсивная динамика, вызванная взаимодействием холодных арктических и теплых атлантических вод.

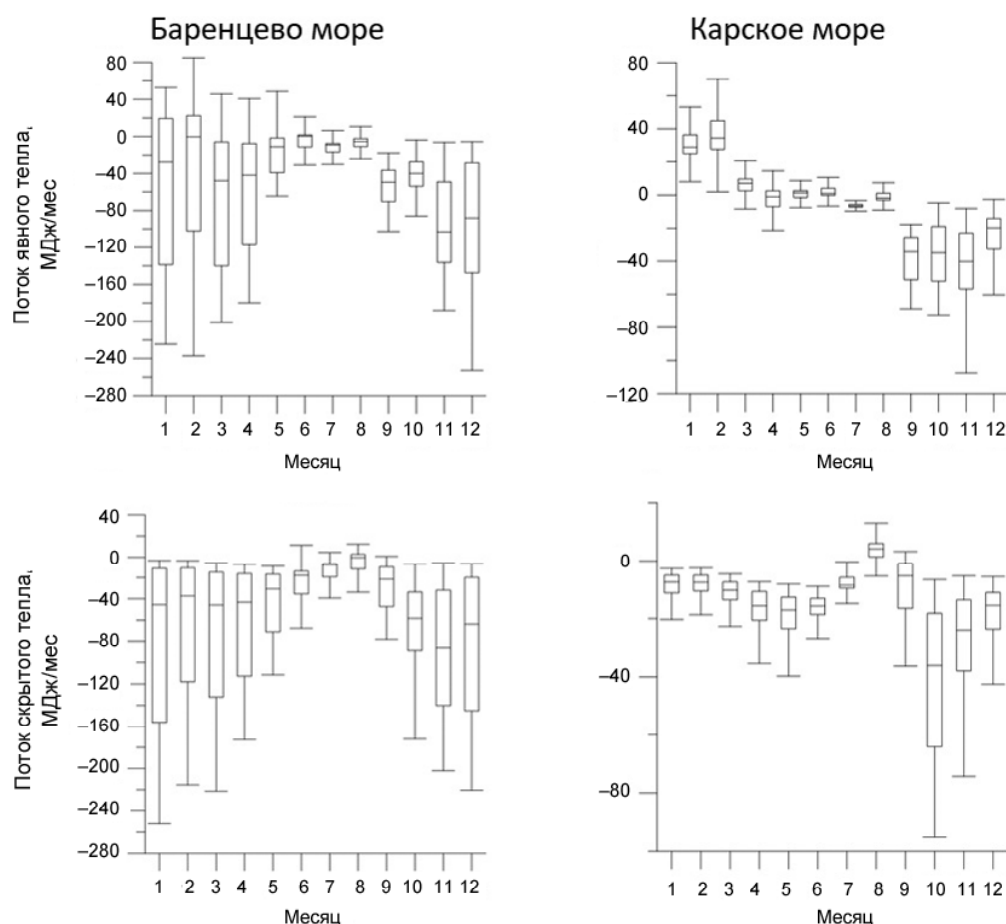


Рис. 2. Сезонные изменения пространственной изменчивости потока явного тепла (наверху) и скрытого тепла (внизу) на акватории Баренцева (слева) и Карского (справа) морей

Fig. 2. Seasonal changes in the spatial variability of the sensible heat flux (top) and the latent heat flux (bottom) within the Barents (left) and Kara (right) seas

Согласно выполненным расчетам наибольшее $СКО_{сез}$ потока явного тепла (свыше 80 Вт/м^2) наблюдается у северных побережий Скандинавского и Кольского полуостровов, недалеко от о. Южный арх. Новой Земли и в шельфовых районах моря. Значительно меньше $СКО_{сез}$ потока явного тепла в более холодных регионах ($40\text{--}50 \text{ Вт/м}^2$), в частности на севере Баренцева моря, на всей территории Карского моря, включая пролив Карские Ворота и Югорский Шар на юге, а также на всем побережье морей. Минимальные значения $СКО_{сез}$ ($30\text{--}40 \text{ Вт/м}^2$) прослеживаются на территориях, круглый год покрытых снегом и льдом: на ледниках Новой Земли и Полярного Урала.

Наибольшие значения $СКО_{сез}$ потока скрытого тепла в Баренцевом море получены для территории Баренцева моря примерно до 75° с. ш. (свыше 60 Вт/м^2). На крайнем севере Баренцева моря, в частности возле Земли Франца-Иосифа, в северной части Карского моря $СКО_{сез}$ скрытого тепла выражено менее всего (около 35 Вт/м^2).

Расчеты по многолетнему ряду синоптической (внутримесячной) изменчивости для каждого месяца показали, что наибольших значений она до-

стигает в декабре–марте. Для потока явного тепла $СКО_{сез}$ в этот период на большей части Баренцева моря (к югу от 75° с. ш.) превышает 100 Вт/м^2 , скрытого тепла $25\text{--}50 \text{ Вт/м}^2$. Над Карским морем в холодный сезон $СКО_{сез}$ в 5–10 и более раз меньше, чем над Баренцевым морем, и величина ее довольно однородна в пространстве. Такие контрасты можно объяснить влиянием активной в зимний период циклонической деятельности на полярном и арктическом атмосферных фронтах, приводящей к меридиональной адвекции воздушных масс, имеющих различную температуру. Их смена определяется синоптическими периодами, продолжительность которых в среднем составляет 5–10 сут. В то же время температура поверхности моря меняется медленнее. Такое сочетание «быстрых» процессов в атмосфере и «медленных» в море приводит к заметной временной изменчивости потоков. Над Карским морем, покрытым льдом, значения потоков малы сами по себе, отсюда мала и их изменчивость.

В июне–августе $СКО_{сез}$ потока явного тепла имеет наименьшие значения, $30\text{--}50 \text{ Вт/м}^2$. Пространственные контрасты выражены очень слабо – изменчивость уменьшается с юга на север, несколь-

ко возрастают в районе Норвежского течения и в прибрежных районах морей. Эти же черты присущи СКО $_{\text{сн}}$ потока скрытого тепла, значения составляют 15–25 Вт/м².

Сопоставление полученных результатов показывает, что временная изменчивость потоков явного тепла на сезонном и синоптическом временных масштабах в два-три раза больше, чем потоков скрытого тепла.

Рассмотрим годовые суммы турбулентных потоков, поступающих в целом с акватории морей в атмосферу (рис. 3). В многолетних изменениях теплоотдачи с поверхности моря за счет потока явного тепла (см. рис. 3А) общий тренд за 1979–2018 гг. выражен слабо. Но в отдельные периоды продолжительные направленные изменения происходили как в сторону уменьшения потерь тепла поверхностью моря (1990–2000), так и в сторону их увеличения (2000–2009) (см. рис. 3А). Это особенно заметно для потоков явного тепла, но проявляется и в потоках скрытого тепла. В последнее десятилетие отдача тепла морской поверхностью вновь несколько уменьшается по сравнению с предыдущим, особенно с 2014 по 2018 г.

Потеря тепла морями за счет испарения на протяжении всего периода характеризуется заметны-

ми межгодовыми колебаниями (см. рис. 3Б), долгосрочные тренды невелики. Но, как и для потоков явного тепла, можно отметить определенные колебания с периодом порядка 10 лет и заметное уменьшение испарения в последнее десятилетие и в Баренцевом, и в Карском море.

При сопоставлении полученных нами результатов с известными данными по изменению площади морского льда в Баренцевом море по данным спутниковых измерений [Заболотских, Мясоедов, 2017; Wang et al., 2019] четкой синхронизации потоков тепла и сплоченности морского льда не обнаружено. Тем не менее сонаправленность процессов во времени присутствует. В середине 1990-х и конце первой декады 2000-х гг. отмечались годы, когда площадь льдов возрастала. В эти десятилетия отмечалось и уменьшение турбулентных потоков. Ускорение снижения ледовитости Баренцева моря отмечается в разных источниках с начала 2000-х гг., например [Wang et al., 2019; NOAA, 2020], что могло способствовать активизации теплообмена в это десятилетие.

Изменение интенсивности потоков может быть вызвано изменением атмосферной циркуляции и положения арктического и полярного фронтов. Оценки арктического индекса атмосферной циркуляции, индекса северо-атлантического колебания и скандинавского индекса циркуляции [NOAA..., 2020] показывают, что в 1990-е гг. происходило ослабление широтного и активизация меридиональных процессов, в 2000-е гг. широтный перенос усиливается, меридиональный ослабевает, а в 2010-е гг. вновь происходит усиление меридиональных процессов.

Температура воздуха над основной частью Баренцева и Карского морей в 1990-е гг. несколько снизилась, в конце 1990-х гг. вновь вернулись тенденции на повышение, которые продолжают в настоящее время. Средняя годовая температура атлантических водных масс в слое 50–700 м, поступающих в Баренцево море на протяжении 1980–2012 гг., по данным наблюдений, повысилась на 1,5°C [Muilwijk et al., 2018; Korablev et al., 2014]. На протяжении 1990-х гг., когда интенсивность теплообмена уменьшалась, можно отметить положительные аномалии температуры, ее резкое уменьшение к концу десятилетия и с 1998 г. усиление роста.

Важными факторами, влияющими на тепловой баланс поверхности и теплообмен, являются облачность и инсоляция подстилающей поверхности. Но в данной работе они не рассматриваются.

Связность во времени годовых сумм потоков явного и скрытого тепла над Баренцевым и Карским морями отражена на диаграммах рассеяния (рис. 4). Видно, что временная корреляция между морями велика для потоков одного вида, при этом заметно большая синхронность свойственна теплоотдаче за счет турбулентных потоков явного тепла.

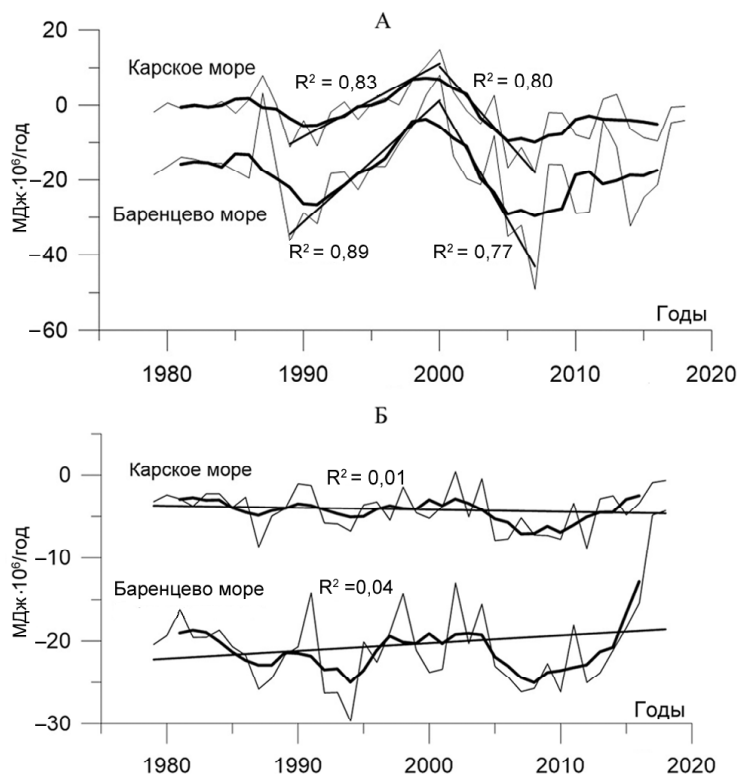


Рис. 3. Ежегодные изменения суммарного потока явного тепла (А) и потока скрытого тепла (Б) над акваториями морей (тонкая линия), скользящая средняя (интервал сглаживания – 5 лет), линии регрессии и соответствующий им коэффициент детерминации R^2 (прямые линии)

Fig. 3. Long-term changes in the total sensible heat flux (A) and the latent heat flux (B) over water areas of the seas (fine line), running average (with 5-year window width), regression lines and corresponding coefficient of determination R^2 (straight lines)

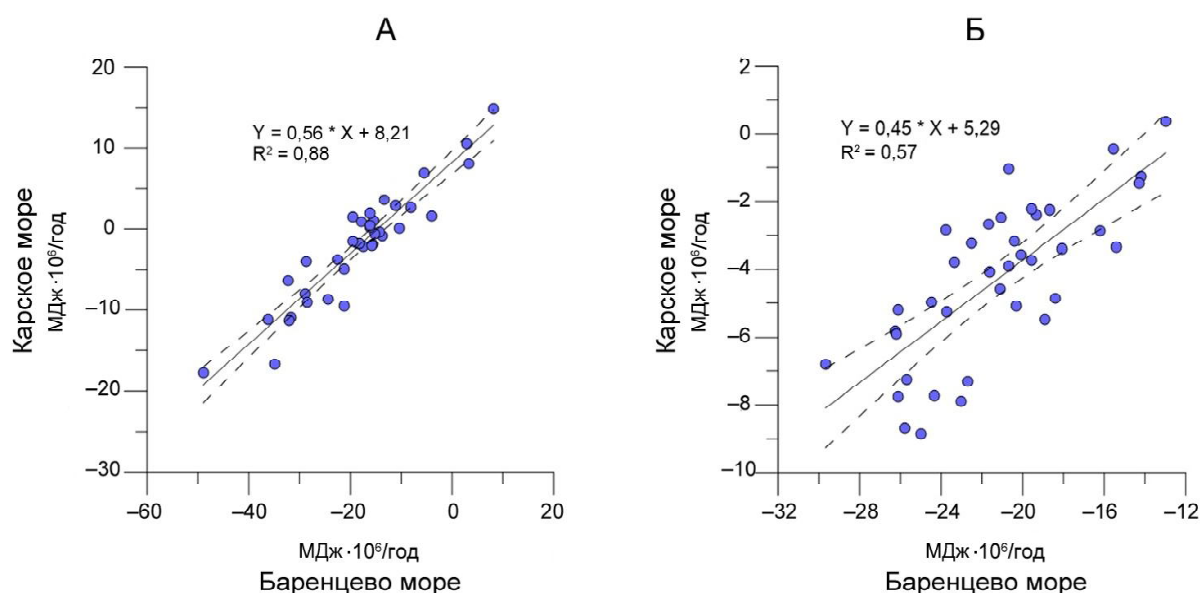


Рис. 4. Диаграмма рассеяния для годовых сумм интегральных по акватории Баренцева и Карского морей потока явного тепла (А) и потока скрытого тепла (Б). Сплошной линией показана линейная аппроксимация, пунктир – 95% доверительный интервал

Fig. 4. Scattering diagram for annual sums of sensible heat flux (А) and latent heat flux (Б) integrated over the Barents and Kara Seas. The solid line shows the linear approximation, the dotted line shows the 95% confidence interval

В то же время изменение потоков явного и скрытого тепла над одним морем не всегда происходит синхронно, коэффициенты корреляции временных рядов не превышают 0,1.

Расчеты показали, что суммарные годовые потоки явного тепла со всей акватории Баренцева моря в среднем за исследуемый период больше, чем над Карским морем в три-четыре раза, а в отдельные годы превышают их в десятки раз. Поступление скрытого тепла в атмосферу за год с поверхности Баренцева моря в пять-шесть раз больше, чем с Карского моря, в некоторые годы величина интегральных потоков может отличаться на порядок.

Выводы:

- пространственная структура очагов максимальной и минимальной теплоотдачи над Баренцевым и Карским морями в последние десятилетия не претерпела существенных изменений по сравнению с серединой и второй половиной XX в.;

- выявлены современные сезонные особенности пространственной изменчивости потоков явного и скрытого тепла, в частности, показано, что в пределах акватории Баренцева моря эта величина зимой в пять–десять и более раз может превышать летние значения, что обусловлено контрастностью температуры воды по пространству за счет теплых течений. Над Карским морем наибольшая неодно-

родность в поле потоков характерна для осеннего и начала зимнего сезонов;

- определено, что годовые суммы потоков явного и скрытого тепла с поверхности Баренцева моря в среднем в три-четыре и в пять-шесть раз, соответственно, превышают значения для Карского моря, а в отдельные годы могут различаться в десятки раз;

- за 1979–2018 гг. единый тренд интегральной по акватории годовой величины потоков явного и скрытого тепла статистически незначим. Тем не менее присутствуют направленные декадные изменения, в том числе наиболее явно выражены уменьшение потоков явного тепла на протяжении 1990-х гг., увеличение их в первом десятилетии XXI в. и вновь уменьшение в 2010-е гг.; показано, что уменьшение турбулентных потоков происходит на фоне ослабления широтного переноса в атмосфере и увеличения площади морского льда;

- показано, что, несмотря на существенную разницу суммарных за год потоков тепла от поверхности Баренцева и Карского морей в атмосферу, межгодовые изменения довольно хорошо синхронизированы, что свидетельствует об общности крупномасштабных гидрометеорологических процессов в этих морях, влияющих на турбулентный энергообмен между морями и атмосферой.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60083), Госзадания (номер ЦИТИС: АААА-А16-116032810086-4), а также при поддержке Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ «Будущее планеты и развитие окружающей среды». Благодарим Крылова А.А. за помощь в подготовке исходных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев Г.В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2015. № 1. С. 11–26.
- Атлас Арктики / под ред. А.Ф. Трешникова. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1985. 204 с.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2014. 1008 с.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1: Баренцево море. Вып. 1: Гидрометеорологические условия / под ред. Ф.С. Терзиева и др. Л.: Гидрометеозидат, 1990. 280 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М., 2020. 97 с.
- Заболотских Е.В., Мясоедов А.Г. Пространственно-временная изменчивость морского льда в Баренцевом море по данным измерений спутниковых микроволновых радиометров // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 5. С. 195–208.
- Ланпо С.С., Гулев С.К., Рождественский А.Е. Крупномасштабное тепловое взаимодействие в системе «океан–атмосфера» и энергоактивные области Мирового океана. Л.: Гидрометеозидат, 1990. 336 с.
- Репина И.А., Артамонов А.Ю. Турбулентный теплообмен атмосферы и подстилающей поверхности в прибрежной зоне Антарктики по данным инструментальных наблюдений // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 2. С. 45–52.
- Репина И.А., Артамонов А.Ю., Смирнов А.С., Чечин Д.Г. Исследование взаимодействия океана и атмосферы в полярных районах в рамках международного полярного года // *Метеорологические и геофизические исследования. Серия «Вклад России в Международный полярный год 2007/08»*, М.; СПб.: Paulsen AARI, 2011. С. 236–250.
- Селиванова Ю.В., Тилинина Н.Д., Гулев С.К., Добролюбов С.А. Влияние ледового покрова в Арктике на турбулентные потоки тепла между океаном и атмосферой // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 18–22.
- Суркова Г.В., Крылов А.А. Синоптические ситуации, способствующие формированию экстремальных значений скорости ветра в Баренцевом море // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2016. № 6. С. 18–25.
- Тилинина Н.Д., Гулев С.К., Гавриков А.В. Формирование экстремально высоких турбулентных потоков тепла из океана в атмосферу в Северной Атлантике // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 5–9.
- Berrisford P., Dee D., Poli P., Brugge R., Fielding K., Fuentes M., Kallberg P., Kobayashi S., Uppala S., Simmons A. The Era-Interim archive. Version 2.0, ERA Rep. Ser. no. 1 (Tech. Rep.), European Centre for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF), UK, Reading, 2011, 27 p.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Kobayashi P., Andrae S.U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.J., Park B.K., Peubey C., de Rosnay P., Tavalato C., Thépaut J.N., Vitart F. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 2011, vol. 137, p. 553–597.
- Ding Q., Schweiger A., L'Heureux M., Battisti D.S., Po-Chedley S., Johnson N.C., Blanchard-Grigglesworth E., Harnos K., Zhang Q., Eastman R., Steig E.J. Influence of high – latitude atmospheric circulation changes on summertime Arctic sea ice, *Nature Climate Change*, 2017, no. 7(4), p. 289–295.
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, USA, 2013, 1535 p.
- Ivanov V.V., Varentsov M.I., Matveeva T.A., Repina I.A., Artamonov A., Khavina E. Arctic Sea Ice Decline in the 2010s: The Increasing Role of the Ocean – Air Heat Exchange in the Late Summer, *Atmosphere, Molecular Diversity Preservation International* (Switzerland), 2019, vol. 10, no. 4, p. 184.
- Kislov A., Matveeva T. The Monsoon over the Barents Sea and Kara Sea, *Atmospheric and Climate Sciences*, 2020, vol. 10, p. 339–356.
- Korablev A., Smirnov A., Baranova O. Climatological Atlas of the Nordic Seas and Northern North Atlantic, D. Seidov, A.R. Parsons (eds.), NOAA Atlas NESDIS 77, 2014, 122 p., dataset, DOI: 10.7289/V54B2Z78.
- Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of Seven Different Atmospheric Reanalysis Products in the Arctic, *Journal of Climate*, 2014, vol. 27, p. 2588–2606.
- Muiliwijk M., Smedsrud L.H., Ilicak M., Drange H. Atlantic Water heat transport variability in the 20th century Arctic Ocean from a global ocean model and observations, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2018, vol. 123, p. 8159–8179, DOI: 10.1029/2018JC014327.
- Proshutinsky A., Johnson M. Two circulation regimes of the wind driven Arctic Ocean, *Journal of Geophysical Research*, 1997, vol. 102, p. 12493–12512.
- Rudeva I., Gulev S.K. Climatology of cyclone size characteristics and their changes during the cyclone life cycle, *Monthly Weather Review*, American Meteorological Society (United States), 2007, vol. 135, p. 2568–2587.
- Serreze M.C., Barry R.G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis, *Global Planet Change*, 2011, vol. 77, p. 85–96.
- Wang Y., Bi H., Huang H., Liu Yanxia, Liu Yilin, Xi L., Fu M., Zhang Z. Satellite-observed trends in the Arctic sea ice concentration for the period 1979–2016, *Journal Ocean. Limnol.*, 2019, vol. 37, p. 18–37, DOI: 10.1007/s00343-019-7284-0.
- Zhou C., Wang K. Evaluation of Surface Fluxes in ERA-Interim Using Flux Tower Data, *Journal of Climate*, 2016, vol. 29, p. 1573–1582.
- Электронные ресурсы
- Boeke R.C., Taylor P.C. Seasonal energy exchange in sea ice retreat regions contributes to differences in projected Arctic warming, *Nat. Commun.*, 2018, vol. 9, p. 5017, URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07061-9> (дата обращения 22.11.2019).
- ECMWF (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды), реанализ ERA-Interim. URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim> (дата обращения 22.11.2019).
- NOAA (Национальное управление океанических и атмосферных исследований, США). URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc> (дата обращения 15.11.2020).

Поступила в редакцию 14.10.2020

После доработки 11.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

G.V. Surkova¹, V.A. Romanenko²

SEASONAL AND LONG-TERM CHANGES OF TURBULENT HEAT FLUXES BETWEEN SEA AND ATMOSPHERE IN WESTERN SECTOR OF THE RUSSIAN ARCTIC

The current regime of turbulent heat exchange with the atmosphere over the Barents and Kara Seas was investigated, and its spatial, seasonal and temporal variability during 1979–2018 was estimated by the root-mean-square deviation values. It is shown that in recent decades the localization of the centers of maximum energy exchange between the sea surface and the atmosphere was practically the same as in the middle and second half of the 20th century. The highest seasonal and synoptic variability of heat fluxes is typical for the central and western parts of the Barents Sea. In the cold season both indicators of variability are 2–5 and more times higher than in the warm season, and the spatial heterogeneity of variability indicators in winter is about twice that in summer. Quantitative estimates have shown that winter spatial variability of fluxes within the Barents Sea may exceed summer values 5 to 10 times or more. The most pronounced heterogeneity of fluxes field over the Kara Sea is typical for autumn and early winter seasons.

Calculated annual amounts of sensible and latent heat fluxes from the surface of the Barents Sea exceed the values for the Kara Sea by an average of 3–4 and 5–6 times, respectively; and in some years they may differ by tens of times. For the period under study no single trend of the annual magnitude of integral sensible and latent heat fluxes over the water area was recorded, although there are multi-years decadal fluctuations. It is shown that, despite the significant difference in thermal regime of the Barents and Kara seas and lower atmosphere above them, the inter-annual changes in the total turbulent flows are quite well synchronized. This indicates the common character of large-scale hydrometeorological processes, influencing the energy exchange between the seas and the atmosphere.

Key words: Barents and Kara seas, ocean – atmosphere heat transfer, trends

Acknowledgements. This work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 18-05-60083), State Assignment (CITIS number: AAAA-A16-116032810086-4), and the Development Program of the Interdisciplinary Scientific and Educational School of Moscow State University "The Future of the Planet and the Development of the Environment". We thank A.A. Krylov for assistance in preparing the initial data.

REFERENCES

- Alekseev G.V. *Projavenie i usilenie global'nogo potepleniya v Arktike* [Manifestation and intensification of global warming in the Arctic], *Fundamental and applied climatology*, 2015, no. 1, p. 11–26. (In Russian)
- Atlas Arktiki* [Atlas of the Arctic], A.F. Treshnikov (ed.), Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR, 1985, 204 p. (In Russian)
- Berrisford P., Dee D., Poli P., Brugge R., Fielding K., Fuentes M., Kallberg P., Kobayashi S., Uppala S., Simmons A. *The ERA-Interim archive. Version 2.0*, ERA Rep. Ser. no. 1 (Tech. Rep.), European Centre for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF), UK, Reading, 2011, 27 p.
- Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J., Berrisford P., Kobayashi P., Andrae S.U., Balmaseda M.A., Balsamo G., Bauer P., Bechtold P., Beljaars A.C.M., van de Berg L., Bidlot J., Bormann N., Delsol C., Dragani R., Fuentes M., Geer A.J., Haimberger L., Healy S.B., Hersbach H., Hólm E.V., Isaksen L., Kållberg P., Köhler M., Matricardi M., McNally A.P., Monge-Sanz B.M., Morcrette J.J., Park B.K., Peubey C., de Rosnay P., Tavolato C., Thépaut J.N., Vitart F. *The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system*, *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 2011, vol. 137, p. 553–597.
- Ding Q., Schweiger A., L'Heureux M., Battisti D.S., Po-Chedley S., Johnson N.C., Blanchard-Wrigglesworth E., Harnos K., Zhang Q., Eastman R., Steig E.J. *Influence of high – latitude atmospheric circulation changes on summertime Arctic sea ice*, *Nature Climate Change*, 2017, no. 7(4), p. 289–295.
- Doklad ob osobennostjakh klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2019 god* [Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019], Moscow, 2020, 97 p. (In Russian)
- Gidrometeorologija i gidrohimija morej SSSR*, t. 1, Barentsevo more, vyp. 1, *Gidro-meteorologicheskie uslovija* [Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of the USSR, vol. 1, The Barents Sea, iss. 1, Hydro-meteorological conditions], F.S. Terziev (ed.), Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, 280 p. (In Russian)
- IPCC. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P.M. Midgley (eds.), Cambridge, Cambridge University Press, United Kingdom and New York, USA, 2013, 1535 p.
- Ivanov V.V., Varentsov M.I., Matveeva T.A., Repina I.A., Artamonov A., Khavina E. *Arctic Sea Ice Decline in the 2010s: The Increasing Role of the Ocean – Air Heat Exchange in the Late Summer*, *Atmosphere, Molecular Diversity Preservation International* (Switzerland), 2019, vol. 10, no. 4, p. 184.
- Kislov A., Matveeva T. *The Monsoon over the Barents Sea and Kara Sea*, *Atmospheric and Climate Sciences*, 2020, vol. 10, p. 339–356.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: galina_surkova@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, student; e-mail: romanenko.victor.geo@mail.ru

Korablev A., Smirnov A., Baranova O. *Climatological Atlas of the Nordic Seas and Northern North Atlantic*, D. Seidov, A.R. Parsons (eds.), NOAA Atlas NESDIS 77, 2014, 122 p., dataset, DOI: 10.7289/V54B2Z78.

Lappo S.S., Gulev S.K., Rozhdestvenskij A.E. *Krupnomasshtabnoe teplovoe vzaimodejstvie v sisteme okean-atmosfera i energoaktivnye oblasti Mirovogo okeana* [Large-scale thermal interaction in the ocean – atmosphere system and the energy-active regions of the World Ocean], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1990, 336 p. (In Russian)

Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of Seven Different Atmospheric Reanalysis Products in the Arctic, *Journal of Climate*, 2014, vol. 27, p. 2588–2606.

Muilwijk M., Smedsrud L.H., Ilicak M., Drange H. Atlantic Water heat transport variability in the 20th century Arctic Ocean from a global ocean model and observations, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2018, vol. 123, p. 8159–8179, DOI: 10.1029/2018JC014327.

Proshutinsky A., Johnson M. Two circulation regimes of the wind driven Arctic Ocean, *Journal of Geophysical Research*, 1997, vol. 102, p. 12493–12512.

Repina I.A., Artamonov A.Ju. Turbulentnyj teploobmen atmosfery i podstilajushhej poverhnosti v pribrezhnoj zone Antarktiki po dannym instrumental'nyh nabljudenij [Turbulent heat exchange of the atmosphere and underlying surface in the coastal zone of Antarctica according to instrumental observations], *Meteorology and Hydrology*, 2020, no. 2, p. 45–52. (In Russian)

Repina I.A., Artamonov A.Ju., Smirnov A.S., Chechin D.G. [Study of the interaction of the ocean and the atmosphere in the polar regions within the framework of the international polar year 2007/08], *Meteorologicheskie i geofizicheskie issledovaniya* [Meteorological and geophysical researches], Moscow, St. Petersburg, Paulsen AARI Publ., 2011, p. 236–250. (In Russian)

Rudeva I., Gulev S.K. Climatology of cyclone size characteristics and their changes during the cyclone life cycle, *Monthly Weather Review. American Meteorological Society (United States)*, 2007, vol. 135, p. 2568–2587.

Selivanova Ju.V., Tilinina N.D., Gulev S.K., Dobroljubov S.A. Impact of Ice Cover in the Arctic on Ocean – Atmosphere Turbulent Heat Fluxes, *Oceanology*, 2016, vol. 56, no. 1, p. 14–18.

Serreze M.C., Barry R.G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis, *Global Planet Change*, 2011, vol. 77, p. 85–96.

Surkova G.V., Krylov A.A. Sinopticheskie situacii, sposobstvujushhie formirovaniju jekstremal'nyh znachenij skorosti vetra v Barentsevom more [Synoptic situations contributing to the formation of extreme wind speed values in the Barents Sea], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 6, p. 18–25. (In Russian)

Tilinina N.D., Gulev S.K., Gavrikov A.V. Formation of Extreme Surface Turbulent Heat Fluxes from the Ocean to the Atmosphere in the North Atlantic, *Oceanology*, 2016, vol. 56, no. 1, p. 1–5.

Vtoroj ocenочnyj doklad Rosgidrometa ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii [Second Assessment Report of Roshydromet on Climate Changes and Their Consequences on the Territory of the Russian Federation], Moscow, Roshydromet Publ., 2014, 1008 p. (In Russian)

Wang Y., Bi H., Huang H., Liu Yanxia, Liu Yilin, Xi L., Fu M., Zhang Z. Satellite-observed trends in the Arctic sea ice concentration for the period 1979–2016, *Journal Ocean. Limnol.*, 2019, vol. 37, p. 18–37, DOI: 10.1007/s00343-019-7284-0.

Zabolotskih E.V., Mjasoedov A.G. Prostranstvenno-vremennaja izmenchivost' morskogo l'da v Barentsevom more po dannym izmerenij sputnikovyh mikrovolnovyh radiometrov [Spatial and temporal variability of the Barents Sea ice retrieved from satellite passive microwave radiometer data], *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovanija Zemli iz kosmosa*, 2017, vol. 14, no. 5, p. 195–208. (In Russian)

Zhou C., Wang K. Evaluation of Surface Fluxes in ERA-Interim Using Flux Tower Data, *Journal of Climate*, 2016, vol. 29, p. 1573–1582.

Web sources

Boeke R.C., Taylor P.C. Seasonal energy exchange in sea ice retreat regions contributes to differences in projected Arctic warming, *Nat Commun.*, 2018, vol. 9, 5017, DOI: 10.1038/s41467-018-07061-9 (access date 22.11.2019).

ECMWF (The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts), ERA-Interim Reanalysis, URL: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era-interim> (access date 22.11.2019).

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, USA), URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc> (access date 15.11.2020).

Received 14.10.2020

Revised 11.12.2020

Accepted 21.01.2021

УДК 556.16; 556.5.048; 556.5.06; 556.5(1/9)

Р.Г. Абдрахимов¹, А.С. Амиргалиева², К.Б. Даулетияров^{3,4}, А.М. Зияров^{5,6}

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ ИЛИ И ЕЕ КРУПНЫХ ПРИТОКОВ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Изменения климатических условий вносят существенные коррективы в водный режим поверхностного стока. В частности, в зоне формирования стока казахстанской территории бассейна реки Или, расположенной в пределах горных систем, вслед за современными трендами характеристик климата меняется сток рек. Анализ динамики величин средних годовых температур воздуха и годовых сумм осадков по данным метеорологических станций, находящихся на разных высотах, в целом позволяет выявить закономерности и тенденции изменений поверхностного стока на стокообразующих площадях водосбора. В работе приведены выводы о значимых изменениях метеорологических показателей и выявлены периоды относительно устойчивого состояния их средних многолетних значений-норм. Рассмотренные пространственно-временные колебания средних годовых температур воздуха и количества годовых сумм осадков позволили отметить, что, начиная с 1970-х гг., средняя годовая температура воздуха в регионе повысилась на 0,74°C. А норма ежегодных сумм осадков на большей части территории бассейна возросла в среднем на 34 мм за период с начала 1990-х гг. В аридных зонах годовой сток не имеет однозначных связей с количеством осадков, однако обусловлен временной и пространственной увлажненностью территорий и является результатом влияния теплбалансовых и воднобалансовых факторов. По выделенным климатическим периодам и цикличности водного режима рек региона рассчитаны характеристики годового стока рек Или, Шарын и Шелек. Выбор расчетных периодов подтвержден результатами анализа однородности рассматриваемых рядов средних годовых расходов воды. Установлено, что на данной территории наблюдается достаточно значимый рост годовых сумм осадков в среднем с начала 1990-х гг., что вызвало интенсивное увеличение средних годовых расходов воды рассматриваемых рек. Так, норма годового стока р. Или возросла на 40 м³/с (9%), а ее значения для рек Шарын и Шелек увеличились, соответственно, на 21 и 18%. Обозначены возможные последствия и перспективы решения водных проблем и вопросов водной безопасности бассейна р. Или.

Ключевые слова: речной бассейн, гидрометеорологические характеристики, расчетный период, расход воды различной обеспеченности, динамика водности водотоков

Введение. Бассейн реки Или является уникальным природным и ресурсным комплексом Казахстана и играет огромную роль в жизнедеятельности республики. В регионе сосредоточены крупные промышленные, сельскохозяйственные и водохозяйственные комплексы и расположены многочисленные населенные пункты и города, а также мегаполис – город Алматы (Алма-Ата). Анализ и оценка состояния водных ресурсов, а также перспективы их количественных изменений, несомненно, важны и требуют внимания при планировании развития региона с учетом темпов роста населения и экономики. Так, с 1990-х гг. прошлого столетия население таких городов, как Алматы, Капчагай (Капчагай), Каскелен и Талгар, увеличилось в среднем в 1,5 раза [Демографический ежегодник..., 2011]. В настоящее время здесь проживают более двух миллионов человек.

Для социальных нужд, развития энергетики и сельского хозяйства в бассейне реки созданы ряд водохранилищ и ирригационных систем. В казахстанской части бассейна озера Балкаш (Балхаш) насчитывается примерно 35 водохранилищ сезонного и многолетнего регулирования с суммарной емкостью около 16 км³ и общей площадью водного зеркала 1475 км² [Достай, 2009]. Наиболее крупные водохранилища созданы на реке Или – Капчагайское (Капчагайское) (1970), на реке Шарын – Бестюбинское (2011), на реке Шелек – Бартогайское (1984) и на реке Курты – Куртинское (1967). В верховьях реки Или в пределах КНР в 2002–2007 гг. возведена плотина водохранилища, которое также принято называть Капчагайским.

Наиболее значимыми ирригационными системами бассейна являются Большой Алматинский канал им. Д. Кунаева (БАК) и Акдалинский рисо-

¹ Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, профессор, канд. техн. н.; e-mail: gustem.abdrahimov@kaznu.kz

² Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, докторант PhD; e-mail: lunnyisvet@mail.ru

³ РГП «Казгидромет», филиал по Актобинской области, директор филиала; e-mail: ot.del.gidrologi@mail.ru

⁴ Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, магистрант.

⁵ РГП «Казгидромет», филиал по г. Алматы, инженер-гидролог отдела гидрологии; e-mail: alisherhydrolog@gmail.com

⁶ Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, факультет географии и природопользования, кафедра гидрологии суши, магистрант.

вый массив орошения. Водозабор БАКа осуществляется из Бартогайского водохранилища, а далее он пересекает притоки р. Или в предгорьях Или Алатау (Заилийский Алатау) и заканчивается в бассейне реки Шамалган (Чемолган). Акдалинский рисовый массив орошения расположен в низовьях долины реки Или.

Таким образом, оценка водных ресурсов р. Или и ее крупных притоков в современных условиях в связи с изменением климата имеет важное значение при решении практических задач водопользования и перспектив дальнейшего развития региона.

Материалы и методы исследований. Основным объектом исследования является многолетний водный режим Или и особенности формирования стока на территории Казахстана. Долина реки делит две горные системы на Джунгарский (Жетысуйский) Алатау и восточную часть Северного Тянь-Шаня (Или Алатау) и протянулась на сотни километров от Синьцзяна (КНР) до озера Балхаш. Высотные отметки Илийской впадины в верховьях у границы с КНР составляют в среднем 600 м, в среднем течении у плотины ГЭС Капшагайского водохранилища – 500 м, а в низовьях – 340 м. Правобережные притоки реки Или – Коргас (Хоргос), Осек (Усек), Борохудзир, берущие начало в горах Жетысуйского Алатау, – маловодны. Наиболее значимы левобережные притоки реки, формирующиеся на склонах Или Алатау, а также отрогов Терской и Кунгей Алатау – Шелек и Шарын. Горы здесь достигают 4000 м и более, например пик Талгир имеют высоту 4951 м. Стокоформирующая часть бассейна расположена в КНР. На территории Казахстана формируется порядка 30% водных ресурсов р. Или. В русло реки попадает лишь часть из них. Сток горных рек используется на хозяйственные нужды, а также расходуется на фильтрацию и испарение [Проблемы..., 2003].

В работе анализируются данные 10 метеорологических станций (МС) и 5 гидрологических постов РГП «Казгидромет». В расчетах использовались значения средних годовых расходов воды по гидрологическим пунктам рек: Или – 164 км выше плотины Капшагайской ГЭС (1957–2018); Шарын – уроч. Сарытогай (1928–2018); Шелек – с. Малыбай (1929–2018); Или – уроч. Капшагай (1911–2018) [Многолетние данные..., 2001, 2006; Ежегодные данные..., 2020]. Соответственно количество лет данных рядов составляют от 90 до 108 лет. Пропуски в наблюдениях составляют для данных пунктов от двух до пяти лет.

Схема расположения расчетных пунктов наблюдений приведена на рис. 1 (ArcGIS, версия 10,6).

Высота местности и экспозиция склонов хребтов по отношению к влагонесущим воздушным массам определяют расходы воды в реках и обуславливают их водное питание. Доля снегового питания рек бассейна р. Или составляет 85% стока, дождевого – 7,5–23% и ледниковая составляющая стока доходит до 12–17,5% [Республика Казахстан..., 2006]. При этом изменения климатических характеристик последних десятилетий приводят к изменени-

ям воднобалансовых характеристик на значительных территориях и отдельных речных бассейнах.

Анализ метеорологических факторов стокообразования. В научной и справочной литературе отмечаются положительные аномалии средних годовых температур воздуха и количества осадков за последние десятилетия в районах Центральной Азии и Казахстана [WMO..., 2018; Седьмое национальное..., 2017; Manning et al., 2013; Asia..., 2007]. Оценка характеристик стока требует определения периодов, характеризующихся относительно установившимися климатическими условиями. Изменившиеся климатические показатели в различных высотных зонах водосборов рассматриваемых рек определяют процессы стокообразования.

Увеличение средних годовых температур воздуха отмечается и в бассейне реки Или (табл. 1).

Тенденция роста средних годовых температур воздуха отчетливо прослеживается по суммарным интегральным кривым данной характеристики (рис. 2).

На фоне глобального потепления средние годовые температуры воздуха в рассматриваемом регионе возросли с начала 1970-х гг. в среднем на 0,74°C. Рост температуры воздуха влечет за собой изменение теплобалансовых и воднобалансовых показателей. В бассейнах со значительной площадью оледенения интенсивное таяние ледников приводит к увеличению доли ледникового стока в водности рек. Как известно, за последние десятилетия площадь ледников Или Алатау сократилась вдвое, а процессы абляции регулируются высотой снеговой линии. Определить влияние исключительно ледникового стока на водность реки Или является сложной задачей. При этом сток малых горных рек с долей талых вод ледников практически и непосредственно в р. Или не попадает. Из-за потепления и более интенсивного таяния высокогорных снежников и ледников в годовом стоке реки Или и ее притоков значимых изменений не наблюдается. В среднем и нижнем течении р. Или, в зоне степных и полупустынных засушливых территорий бассейна, норма условно-естественного годового стока в пунктах реки Или – уроч. Капшагай за 59-летний период до 1970 г. составляла 472 м³/с, за 21 год до 1990 г. – 478 м³/с, за 26 лет (1990–2018) – 519 м³/с, а по посту р. Или (164 км выше плотины Капшагайской ГЭС) за те же периоды – 461, 441, 480 м³/с соответственно.

Ранее авторами оценены водные ресурсы наиболее значимых водотоков бассейна и рассчитаны их основные показатели годового стока за различные периоды с учетом хозяйственной деятельности [Abdrahimov et al., 2020]. Были выявлены основные антропогенные факторы, оказывающие влияние на естественные стоковые характеристики основных рек Или-Балхашского бассейна. При этом оценка водных ресурсов значительных территорий основана на использовании одинаковых приведенных периодов. Поэтому часть статистической информации длиннорядных постов наблюдения в расчетах не использовалась. Анализ же гидрометеорологичес-

Таблица 1

Средние годовые температуры воздуха за многолетние периоды ($t_{\text{ср}}$, °C)

Метеостанция	Высота, м абс. [Справочник..., 2004]	Период осреднения, годы	$t_{\text{ср}}$, °C	Повышение Δt , °C
Алматы	847	1920–1969 1970–2015	8,81 9,79	0,98
Когалы (Кугалы)	1410	1928–1969 1970–2015	4,44 5,21	0,77
Кыргызсай (Подгорное)	1273	1938–1969 1970–2015	13,1 13,7	0,60
Кеген	1845	1948–1969 1970–2015	2,19 3,36	1,17
Мынжилки	3017	1937–1969 1970–2015	–2,15 –1,32	0,83
Нарынкол	1806	1948–1969 1970–2015	10,2 10,9	0,70
Ассы	2216	1952–1969 1970–2015	0,00 0,32	0,32
Шелек (Чилик)	606	1934–1969 1970–2015	9,15 10,4	1,25
Каменское плато (Алматы)	1317	1961–1969 1970–2015	8,50 8,95	0,45
Жаланап	1699	1960–1969 1970–2015	5,45 5,79	0,34
В среднем по бассейну				0,74

кой информации длинных рядов наблюдений позволяет оценить наиболее значимые колебания и изменения воднобалансовых соотношений при формировании поверхностного стока и предусмотреть дальнейшие тенденции развития водности рек.

Большой интерес представляет анализ динамики годовых сумм осадков в бассейне реки Или. Количество осадков, фиксируемых в конкретном пункте наблюдения, зависит от многих факторов. Это и общие циркуляционные процессы, интенсивность циклонической деятельности, рельеф местности, влияющий на направление перемещения влаги, и процессы осадкообразования. В связи с этим, в отличие от повышения температуры воздуха, которое отмеча-

ется повсеместно, количество осадков в многолетнем режиме изменяется неоднозначно. Как видно, исходя из тенденции изменения суммарных интегральных кривых годовых сумм осадков, на примере данных МС (Алматы, Когалы, Шелек), величина нормы данной характеристики в регионе, начиная с 1990-х гг., за последние годы возросла (рис. 3, табл. 2).

Средняя многолетняя величина годовых сумм осадков за последние 25 лет на большей площади зоны формирования стока бассейна на высотах ниже 1500 м в среднем возросла на 34 мм. Таким образом, повышение температуры воздуха и увеличение количества осадков должны привести к увеличению водности рек.

Тенденция увеличения количества годовых осадков наблюдается не по всем рассматриваемым МС. Так, на высотах выше 2000 м (МС Ассы и Мынжилки) среднее многолетнее количество годовых осадков в настоящее время снизилось на 14 и 2%, соответственно. При этом уменьшение величины годовых сумм осадков отмечается начиная с 1990-х гг.

Как известно, в аридных зонах однозначных прямых связей средних годовых расходов и количества осадков нет. Например, для рассматриваемых рек – Или, Шарын, Шелек – коэффициенты парной корреляции (r) годового стока и годовых сумм осадков составляют 0,56, 0,43 и 0,47 соответственно. Сток рек региона обусловлен и степенью увлажненности почвогрунтов, глубиной залегания и запасом подземных вод. Повсеместный рост температуры воздуха не только способствует более интенсивному таянию снежников и ледников, но и влияет на процессы испарения и приводит в целом к истощению влагозапасов.

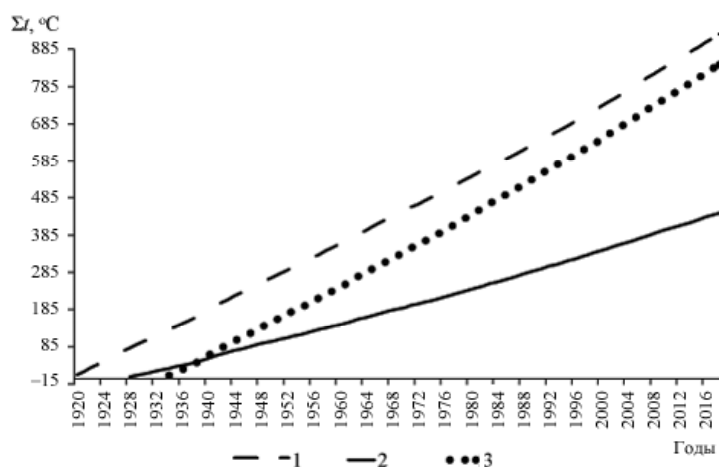


Рис. 2. Суммарные интегральные кривые средних годовых температур воздуха по метеостанциям Или Алатау: 1 – Алматы; 2 – Когалы; 3 – Шелек

Fig. 2. Total integral curves of average annual air temperature for meteorological stations of the Ili Alatau: 1 – Almaty; 2 – Kogaly; 3 – Shelek

Изменения же величин нормы годовых сумм осадков (X_{cp}) и стоковых характеристик основных рек Или-Балхашского бассейна, несомненно, характеризуют воднобалансовые изменения в регионе.

Результаты исследования и их обсуждение. Для анализа динамики водности водотоков региона рассматривались, как уже отмечалось, ряды годового стока рек Или, Шарын и Шелек. В пределах водосбора реки Шелек на высотах 3300–3500 м хребтов Или и Кунгей Алатау находятся ледники Жангырык, Богатырь и Корженевского. В бассейне реки Шарын оледенение отсутствует, а ее сток формируется за счет снегового, дождевого и грунтового питания.

Восстановление пропусков в наблюдениях за стоком рек влечет увеличение ошибки в зависимости от величины коэффициента корреляции, т. е. тесноты используемых связей. Тем более реконструкция рядов стоковых характеристик в условно-естественных условиях требует подходить к выбору пунктов-аналогов в достаточной степени осторожно и внимательно. При этом при анализе реконструированных рядов необходимо помнить, что расчетные характеристики данных рядов содержат примерные оценки, состоящие из ряда допущений. В случае рассматриваемых рядов годового стока рек пропуски в наблюдениях восстановлены по достаточно надежным зависимостям со стоком за период половодья в тех же пунктах наблюдения ($r = 0,90$). При получении связей стоковых характеристик для восстановления отсутствующих величин учитывалось и влияние хозяйственной деятельности, в первую очередь водохранилищ.

Анализ динамики сумм средних годовых расходов воды за многолетний период позволяет выявить следующие тенденции изменения средней многолетней водности водотоков.

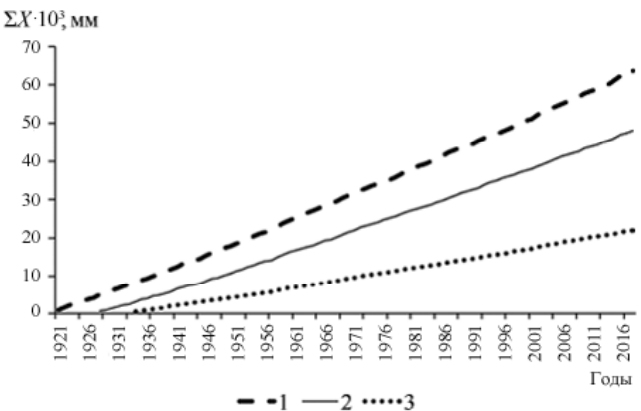


Рис. 3. Суммарные интегральные кривые количества годовых сумм осадков по МС Или Алатау: 1 – Алматы; 2 – Когалы; 3 – Шелек

Fig. 3. Total integral curves of annual precipitation for meteorological stations of the Ili Alatau: 1 – Almaty; 2 – Kogaly; 3 – Shelek

Ряды величин годового стока рек реконструированы исходя из условий условно-естественного состояния стока. Ряд средних годовых расходов воды реки Или в гидрологическом пункте урочище Капшагай имеет наиболее длительный период наблюдений и неоднороден вследствие антропогенных нагрузок и климатических изменений. Реконструкция ряда в условно-естественных условиях с 1971 г., года начала эксплуатации созданного Капшагайского водохранилища, осуществлена по связи со средними годовыми расходами воды, наблюдаемыми на гидрологическом посту 164 км выше плотины Капшагайской ГЭС с коэффициентом корреляции, равным 0,73 [Амиргалиева, 2017].

В многолетней динамике величин средних годовых расходов воды рассматриваемых рек на ос-

Таблица 2

Средние годовые суммы осадков за многолетние периоды (X_{cp} , мм)

Метеостанция	Период осреднения, годы	$X_{\text{ср}}$, мм	Увеличение	
			ΔX , мм	%
а) По данным МС, расположенным на высотах ниже 1500 м				
Алматы	1921–1989	632	50	8
	1990–2015	682		
Когалы (Кугалы)	1928–1989	509	44	8
	1990–2015	555		
Кыргызсай (Подгорное)	1936–1989	406	30	7
	1990–2015	436		
Шелек (Чилик)	1934–1989	252	13	5
	1990–2015	265		
Каменское плато (Алматы)	1961–1989	880	2	0,2
	1990–2015	882		
б) По данным МС, расположенным на высотах выше 1500 м				
Кеген	1948–1989	398	7	2
	1990–2015	405		
Нарынкол	1948–1989	393	6	2
	1990–2015	397		
Жаланащ	1960–1989	520	Уменьшение	
	1990–2015	516	4	0,7
Ассы	1952–1989	433	62	14
	1990–2015	371		
Мынжылки	1937–1989	885	19	2
	1990–2015	866		

нове анализа разностно-интегральных кривых и суммарных интегральных кривых данных значений прослеживаются длительные тенденции циклов водности, характеризующиеся однородным водным режимом. Так, в многолетнем водном режиме всех рассматриваемых рек наблюдается продолжительный, 40–50-летний маловодный период до середины 1980-х и 1990-х гг. (р. Или), который сменился многоводной фазой водности рек. С начала 1990-х гг. отмечается заметное интенсивное устойчивое увеличение годовых величин стока (рис. 4).

Таким образом, прослеживаются четкие изменения в режиме осадков и поверхностного стока рек в регионе в среднем с начала 1990-х гг.

Оценка однородности выбранных в соответствие с анализом периодов цикличности водности и суммарных интегральных кривых годового стока исследуемых рек выполнена с помощью рекомендованных и широко используемых в гидрологии параметрических критериев однородности двух выборок статистического ряда Стьюдента (St) и Фишера (F). В нашем случае гипотеза об однородности исследуемых выборок рядов годового стока по признаку нормы (St) и среднего квадратического отклонения (F) находит подтверждение лишь для средних годовых расходов воды реки Или у урочища Капшагай. Величины годового стока здесь подвержены наибольшему влиянию хозяйственного воздействия и были восстановлены, как отмечалось, с использованием аналогичных значений, наблюдаемых в створе в 164 км выше ГЭС. Остальные исследуемые расчетные ряды стока рек с относительно естественным водным режимом характеризуются неоднородностью выборок в соответствии с выделенными климатическими периодами.

Критерии однородности Стьюдента и Фишера рассчитаны по российской программе StockStat [Магрицкий, 2014]. Результаты анализа однородности выборок рядов в целом подтверждают вывод о

значимых изменениях в формировании водности рек региона в среднем с 1990-х гг.

Анализ тенденций изменения средних многолетних значений годового стока показывает, что норма стока рек Или, Шарын и Шелек, начиная с 1990-х гг., в среднем возросла по сравнению с предыдущими десятилетиями на 13%. Норма средних годовых расходов воды реки Или увеличилась на 7%, а рек Шарын и Шелек, соответственно, на 20 и 18%.

Расчетные характеристики средних многолетних значений годового стока, а также средние годовые расходы воды рек различной обеспеченности приведены в табл. 3.

Как видно, за последние 20 лет величина годового стока реки Или повторяемостью 1 раз в 20 и 100 лет возросла на 16 и 18% соответственно, а рек Шарын и Шелек на 25, 27% и на 21, 23% соответственно.

Выводы:

- климатические изменения характеристик водного и теплового баланса в бассейне реки Или вызывают увеличение годового стока, как показано на примере крупных рек региона – Или, Шарын и Шелек. Наиболее интенсивный рост значений средних годовых расходов воды наблюдается с начала 1990-х гг. со времени значительного увеличения годовых сумм осадков;

- влияние талых вод высокогорных зон на водность рек требует более детальных исследований, оценки и изменения их внутригодовых стоковых величин. При этом повышение средней годовой температуры воздуха и снижение количества осадков в высокогорных областях бассейна может привести к еще большему сокращению площади ледников, а возможно, к их полному исчезновению и изменению водного режима малых горных рек;

- в целом же рост годового стока с увеличением количества осадков несомненно благоприятно скажется на развитии данного региона. Потепление климата и увеличение количества осадков в регионе позволяют предполагать дальнейший рост водности рек. При этом уменьшение объемов ледникового стока, являющегося регулятором водности малых горных рек в многолетнем режиме, должно увеличить изменчивость их стока, т. е. вариацию средних годовых расходов воды, которая в большей степени будет определяться количеством осадков конкретного года. Однако возрастание временной вариации стока приведет к необходимости в хозяйственной деятельности предгорных, наиболее обжитых зон обращать больше внимания вопросам регулирования водного режима и возникновения опасных явлений (наводнений, засушливых периодов, селей и т. п.). Поэтому возможно уже сейчас, в условиях перспектив устойчивого развития и с учетом водной безопасности региона, возникает необходимость в проектировании и создании ряда водохранилищ, в первую очередь на реках с большей долей ледникового стока.

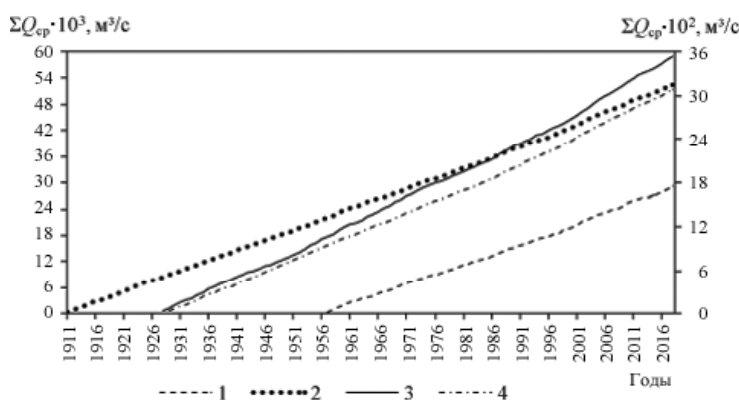


Рис. 4. Суммарные интегральные кривые годового стока р. Или и ее основных притоков на постах: 1 – 164 км; 2 – урочище Капшагай; 3 – р. Шарын; 4 – р. Шелек

Fig. 4. Total integral curves of annual flow of the Ile River and its main tributaries at the stream gauges: 1 – 164 km; 2 – Kapshagaj area; 3 – the Sharyn River; 4 – the Shelek River

Таблица 3

Характеристики средних годовых расходов воды рек в различные климатические периоды

№ п/п	Река – пункт	Расчетный период	$Q_{\text{ср}}, \text{ м}^3/\text{с}$	C_v	Расходы воды различной обеспеченности, %					
					1	5	10	50	75	95
1	Или – урочище Капшагай	1911–1989 (79 лет)	449	0,19	699	607	563	437	387	334
		1990–2018 (29 лет)	480	0,23	855	696	627	452	400	359
2	Или – 164 км выше ГЭС	1957–1989 (33 года)	450	0,20	687	608	567	443	386	314
		1990–2018 (29 лет)	491	0,24	815	703	645	479	406	320
3	Шелек – село Малыбай	1929–1989 (61 год)	32,2	0,11	42,8	38,8	37,0	31,6	30,0	27,5
		1990–2018 (30 лет)	37,9	0,13	53,3	48,0	45,1	37,6	35,0	31,8
4	Шарын – урочище Сарытогай	1928–1989 (62 года)	36,5	0,20	57,0	50,0	46,2	35,6	31,2	26,1
		1990–2018 (29 лет)	44,1	0,23	72,6	62,5	57,6	42,9	36,8	30,0

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Амиргалиева А.С. Реконструкция рядов годового стока рек Иле-Балкашского бассейна // Труды Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: научные образовательные достижения и перспективы развития» (Санкт-Петербург, 19–20 дек. 2017 г.). СПб.: Аграф+, 2017. С. 57–61.

Демографический ежегодник Казахстана: статистический сборник / под ред. А. Смаилова. Астана, 2011. 592 с.

Достай Ж.Д. Управление гидроэкосистемой бассейна озера Балкаш. Алматы: Print-S, 2009. 236 с.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2018. Вып. 7. Бассейны рек оз. Балкаш и оз. Алаколь. Нур-Султан, 2020. 352 с.

Магрицкий Д.В. Речной сток и гидрологические расчеты: практические работы с выполнением при помощи компьютерных программ. М.: Триумф, 2014. 184 с.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1981–1990, 1991–2000 гг. Вып. 4. Бассейны рек оз. Балхаш и бессточных районов Центрального Казахстана. Алматы, 2001; 2006.

Проблемы гидрометеорологической устойчивости в бассейне озера Балхаш / под ред. А.Б. Самаковой. Алматы: Каганат, 2003. 153 с.

Республика Казахстан. Т. 1. Природные условия и ресурсы / под ред. Н.А. Исакова, А.Р. Медеу. Алматы, 2006. 506 с.

Седьмое национальное сообщение и третий двухгодичный доклад РК Рамочной конвенции ООН об изменении климата. ПРООН. Астана, 2017. 304 с.

Справочник по климату Казахстана. Многолетние данные. Раздел 1. Температура воздуха. Вып. 14. Алматинская область. Алматы, 2004. 563 с.

Abdrahimov R.G., Amirgaliyeva A.S., Tastambek K., Zhumalipov A.R., Polyakova S.E. Annual river runoff of the Ile-Balkash basin and prospects of its assessment due to climatic changes and water economy activities, *International Journal of GEOMATE*, 2020, vol. 18, iss. 69, p. 230–239, DOI: 10.21660/2020.69.32068.

Asia. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, p. 469–506.

Mannig B., Müller M., Starke E., Merckenschlager Ch., Mao W., Zhi X., Podzun R., Jacob D., Paeth H. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia, *J. Global and Planetary Change*, vol. 110, pt. A, 2013, p. 26–39, DOI: 10.1016/j.gloplacha. 2013.05.008.

Электронный ресурс

WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017, 2018, no. 1212, 40 p., URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453 (дата обращения 10.02.2019).

Поступила в редакцию 18.02.2020

После доработки 16.10.2020

Принята к публикации 21.01.2021

R.G. Abdrahimov¹, A.S. Amirgaliyeva²,
K.B. Dauletiyarov^{3,4}, A.M. Ziyarov^{5,6}

CURRENT TRENDS IN THE ANNUAL FLOW OF THE ILE (IL) RIVER
AND ITS LARGE TRIBUTARIES UNDER CLIMATE WARMING

Changes in climatic conditions significantly adjust the regime of surface runoff. In particular, current trends in climatic indicators over the zone of runoff formation within the Kazakhstan part of the Ili River basin, located in the mountain systems, change the flow characteristics of rivers. Analysis of the dynamics of average air temperatures and annual precipitation totals using the data of meteorological stations at

¹ Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, Acting Professor, PhD in Technical Sciences; e-mail: rustem.abdrahimov@kaznu.kz

² Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, PhD student; e-mail: lunnyisvet@mail.ru

³ RSE "Kazhydromet", Aktobe Branch, Director; e-mail: otdel.gidrologi@mail.ru

⁴ Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, master student.

⁵ RSE "Kazhydromet", Almaty Branch, Hydrology Department, Engineer; e-mail: alisherhydrolog@gmail.com

⁶ Al-Farabi Kazakh National University, Faculty of Geography and Environmental Sciences, Department of Meteorology and Hydrology, master student.

different heights above sea level, generally allows identifying patterns and trends in surface runoff within the drainage-forming catchment areas. The paper presents conclusions about significant changes in meteorological indicators and identified periods of relatively stable state of their average long-term values, i.e. norms. The considered space-time fluctuations of the average annual air temperatures and the amount of annual precipitation made it possible to reveal that since the 1970s the average annual air temperature in the region has increased by an average of 0,74°C. And the rate of annual precipitation has increased since the early 1990s by an average of 34 mm over most of the basin. The annual runoff is unclearly related to the amount of precipitation in arid zones; however, it depends on the temporal and spatial distribution of moisturizing and results from the influence of heat balance and water balance factors. Parameters of the annual river flow for Ili, Sharyn and Shelek rivers are calculated for the identified climatic periods and with due account of the cyclic water regime of rivers in the region. The choice of calculation periods is confirmed by the analysis of homogeneity of the series of average annual water flow rates under consideration. It was found that since the beginning of the 1990s there was a fairly significant increase in annual precipitation in the region, which caused an intensive increase of the average annual water discharge of the rivers in question. So, the rate of the annual runoff of the Ili River increased by 40 m³/s (9%), and its values for the Sharyn and Shelek rivers increased by 21 and 18%, respectively. Possible consequences and prospects of solving water problems and water security issues within the Ili River basin are indicated.

Key words: river basin, hydrometeorological parameters, calculation period, water discharges of various return periods, flow rate dynamics

REFERENCES

- Abdrahimov R.G., Amirgaliyeva A.S., Tastambek K., Zhumalipov A.R., Polyakova S.E. Annual river runoff of the Ile-Balkash basin and prospects of its assessment due to climatic changes and water economy activities, *International Journal of GEOMATE*, 2020, vol. 18, iss. 69, p. 230–239, DOI: <https://doi.org/10.21660/2020.69.32068>.
- Amirgaliyeva A.S. [Reconstruction of a series of annual runoff rivers of the Ile-Balkash basin], *Trudy Vserossiyskoy konferentsii "Gidrometeorologiya i ekologiya: nauchnye obrazovatel'nye dostizheniya i perspektivy razvitiya"* [Proc. of the All-Russian national conference "Hydrometeorology and ecology: scientific and educational achievements and perspectives"], St. Peterburg, Agraf+ Publ., 2017, p. 57–61. (In Russian)
- Asia. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, 2007, p. 469–506.
- Demograficheskiy ezhegodnik Kazakhstana. Statisticheskii sbornik [Kazakhstan demographic yearbook. Statistical compilation], A. Smailov (ed.), Astana, 2011, 592 p. (In Russian)
- Dostaj Zh.D. *Upravlenie gidroekosistemoi basseina ozera Balkash* [Management of the hydro-ecosystem of the Balkhash Lake], Almaty, Print-S Publ., 2009, 236 p. (In Russian)
- Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. [Annual data on the regime and resources of land surface water], 2018, vyp. 7. Basseiny rek oz. Balkash i oz. Alakol'. Nur-Sultan, 2020, 352 p. (In Russian)
- Magrickij D.V. *Rechnoi stok i gidrologicheskie raschety: prakticheskie raboty s vypolneniem pri pomoshchi komp'yuternykh programm* [River runoff and hydrological calculations: practical works accomplished with computer programs], Moscow, Triumph Publ., 2014, 184 p. (In Russian)
- Mannig B., Müller M., Starke E., Merckenschlager Ch., Mao W., Zhi X., Podzun R., Jacob D., Paeth H. Dynamical downscaling of climate change in Central Asia, *J. Global and Planetary Change*, vol. 110, pt. A, 2013, p. 26–39, DOI: [10.1016/j.gloplacha.2013.05.008](https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2013.05.008).
- Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi. 1981–1990, 1991–2000 gg., vyp. 4. Basseiny rek oz. Balkhash i besstochnykh raionov Tsentral'nogo Kazakhstana [Long-term data on the regime and resources of land surface water. 1981–1990, 1991–2000 years, iss. 4, River basins of Lake Balkhash and closed areas of Central Kazakhstan], Almaty, 2001, 2006. (In Russian)
- Problemy gidrometeorologicheskoi ustoychivosti v basseine ozera Balkhash [Problems of hydrometeorological stability in the basin of the Balkhash Lake], A.B. Samakova (ed.), Almaty, Kaganat Publ., 2003, 153 p. (In Russian)
- Respublika Kazakhsta, T. 1, *Prirodnye usloviya i resursy* [Republic of Kazakhstan, vol. 1, Natural settings and Resources], N.A. Isakov, A.R. Medeu (eds.), Almaty, 2006, 506 p. (In Russian)
- Sed'moe natsional'noe soobshchenie i tretii dvukhgodichnyi doklad RK. Ramochnoi konventsii OON ob izmeneniyakh klimata [Seventh national communication and third biennial report of the Republic of Kazakhstan. United Nations framework Convention on climate change], PROON, Astana, 2017, 304 p. (In Russian)
- Spravochnik po klimatu Kazakhstana. Mnogoletnie dannye, razdel 1, Temperatura vozdukh, vyp. 14, Almatinskaya oblast' [Kazakhstan climate guide, section 1, iss. 14, Almaty's region], Almaty, 2004, 11 p. (In Russian)
- Web source
- WMO Statement on the State of the Global Climate in 2017, 2018, no. 1212, 40 p., URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4453 (access date 10.02.2019).

Received 18.02.2020

Revised 16.10.2020

Accepted 21.01.2021

УДК 556.5; 556.012; 556.043

С.Р. Чалов¹, В.А. Ефимов²

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ: ХАРАКТЕРИСТИКИ, КЛАССИФИКАЦИИ, ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Проанализированы подходы к исследованию гранулометрического состава взвешенных наносов. Рассмотрено соответствие механических, гидромеханических и миграционных классификаций, на этой основе обосновано определение речных наносов, к которым относят нерастворенные вещества с крупностью более 0,001 мкм, являющиеся продуктами разрушения горных пород, почв, органических соединений и трансформирующиеся под воздействием флокуляции и сорбционных процессов. При этом «методологическое» определение, связанное с характеристиками используемых фильтров, предполагает отнесение к речным наносам частиц, перемещаемых в толще воды и имеющих крупность более 0,45 мкм. На основании обработанной базы данных (736 определений на 36 реках) рассмотрены особенности взвешенных наносов рек разных природных территорий. Их средний диаметр составил 0,083 мм; доля фракций менее 0,001 мм – 4%; с диаметром 0,001–0,01 мм – 37%; с диаметром 0,01–0,1 мм – 44%. Среди рек разных природных условий преобладает двумодальный (49% случаев) и одномодальный (46%) гранулометрические составы взвешенных наносов. Равнинные реки имеют преимущественно двумодальные и в некоторых случаях трехмодальные распределения фракций, связанные с наличием третьего максимума крупных фракций (>0,75 мм). Для горных ледниковых рек характерно наличие примерно одинаковых пиков мутности (0,005–0,01 и 0,05–0,1 мм), для полугорных и равнинных рек пики мутности смещаются в сторону более мелких фракций (0,001–0,005 и 0,01–0,03 мм). У полугорных рек максимально выражен пик 0,01–0,03 мм (до 35–50% от общего содержания наносов), который уменьшается по мере роста расходов воды и смены типа русла вниз по течению. Наибольшая степень дискриминации фракций характерна для равнинных и полугорных рек относительно горных ледниковых. Особые группы образуют распределения фракций взвешенных наносов рек лахаровых долин, Терека, Колымы и Лены.

Ключевые слова: речные наносы, крупность частиц, механический состав, формирование взвешенных наносов

Введение. Движение различных материальных сред (жидкости, твердых тел, дисперсных систем) в пределах эрозионно-русловых систем определяет нисходящий литодинамический поток материкового вещества. В постоянном взаимодействии и взаимном влиянии этих сред под действием текущей воды формируется перенос нерастворенных (твердых) веществ – речных наносов [Алексеевский, 1998; Маккавеев, 1955]. К ним относятся, помимо минеральных частиц – продуктов разрушения горных пород, вещества неорганического и органического происхождения, в том числе почвенные конгломераты, продукты разложения органического вещества, водоросли, органические кислоты [Sediment cascades..., 2010]. Они имеют разный минералогический, петрографический и гранулометрический составы, однако участвуют в едином эрозионно-аккумулятивном процессе взаимодействия с грунтами, слагающими водосборы и русла рек.

Гранулометрический состав (ГС) взвешенных наносов – относительное содержание частиц различных размеров в толще воды, интегральная характеристика происхождения и свойств поведения частиц в потоке. Он является главным фактором дифференциации химического состава наносов [Horowitz,

Elrick, 1987; Petersen et al., 1996] и, следовательно, широко востребован в геохимических и геоэкологических исследованиях [Vanmaercke et al., 2010; Касимов и др., 2016], используется для выявления закономерностей формирования и форм переноса материала в речных водах [Bouchez et al., 2011; Lupker et al., 2011]. В результате данные о ГС используются в смежных научных дисциплинах – учении об эрозионно-аккумулятивном процессе [Маккавеев, 1955; Knighton, 1998], эрозиоведении [Заславский, 1983; Современные проблемы..., 2012] и русловедении [Чалов, 2008], гидрологии в целом и науке о стоке наносов [Караушев, 1977; Алексеевский, 1998; Julien, 2010], геохимии ландшафтов (механической миграции веществ или механогенеза) [Перельман, Касимов, 1999] и экогеохимии [Касимов, 2013]. На их основе проводится классификация наносов по признакам гидромеханического [Караушев, 1977; Росинский, Дебольский, 1980; Поздняков, 2011] состава, условиям транспорта [Knighton, 1998; Алексеевский, 1998] и формам миграции микроэлементов (химическому составу) [Линник, Набиванец, 1986; Савенко, 2010]. Однако из-за несогласованности этих подходов понятие речных наносов оказывается довольно размытым. Одновременно при наличии под-

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, аспирант; e-mail: Roxifixat@yandex.ru

робных данных о сезонной изменчивости ГС [Лопатин, 1952; Шамов, 1959] и их изменений по длине отдельных рек, отсутствует единое представление о территориальных факторах его формирования и межбассейновых отличиях. В последние десятилетия развитие технологий вакуумного фильтрования и определения гранулометрического состава наносов методами лазерного рассеяния привели к созданию новых массивов данных о ГС взвешенных наносов. На географическом факультете МГУ накоплена информация о гранулометрическом составе взвешенных наносов на 86 реках России, Монголии и Швеции. На этой основе стало возможным обобщение методов и подходов к его изучению и выявление основных пространственных особенностей его формирования, что и стало основной целью данной статьи. В работе приводится обзор существующих подходов к характеристике гранулометрического состава наносов, дается определение наносов с позиций анализа характерных размерностей переносимых речными потоками частиц, рассматривается пространственная изменчивость распределения фракций взвешенных наносов на основе базы данных натурных наблюдений. Полученные результаты позволяют проследить связь между крупностью взвешенных наносов и характеристиками рек.

Материалы и методы исследований. Работа основана на результатах 916 определений гранулометрического состава проб взвешенных наносов методом лазерного рассеяния с помощью лазерного гранулометра Fritch Analysette 22. Для этого пробы взвешенных наносов отбирались в реках батометром или погружным насосом. Они фильтровались с помощью вакуумной фильтровальной установки через стандартный мембранный фильтр Millipore, представляющий собой смесь эфиров целлюлозы, с диаметром пор 0,45 мкм. Полученный на фильтре осадок высушивался при температуре 105°C. После измерения веса фильтра и определения мутности воды s (мг/л) выполнялась подготовка проб методом растирания с пирофосфатом натрия для достижения десегрегации [Мельников, 1956]. Результаты анализировались в виде кумулятивной кривой, отображающей процентное распределение частиц взвешенных наносов, графика плотности распределения и таблицы с величинами процентного содержания.

При обобщении полученных данных, все результаты определений сводились в базу данных в программе Microsoft Excel 2010. Место отбора наносов идентифицировалось по gps-координатам, определялись площадь водосбора (F , км²), длина реки от истока до створа (L , км), абсолютная высота (H , м) створа отбора пробы. По классификации [Чалов, 2008] на рассматриваемых реках (36 объектов) проявлялись горный ($n = 9$), полугорный ($n = 12$) или равнинный ($n = 15$) типы русловых процессов. В работе использована информация по двум горным рекам, протекающим в районах современного оледенения (р. Тарфала, Скандинавские горы; р. Джанку-

ат, Кавказ) и горным рекам Хибинского горного массива, Монголии и Сахалина. Полугорные реки были классифицированы как крупные и малые (притоки р. Селенги; Кавказ). Равнинные реки подразделялись на средние (бассейны Оки, Западной Двины) крупные (притоки крупнейших арктических рек) и крупнейшие (Енисей, Лена, Колыма, Обь). В рамках выполнения дискриминантного анализа учитывались только продолжительные по времени определения гранулометрического состава наносов рек. Отдельно рассматривались участки рек, на которых ведется хозяйственная деятельность. Так, реки Лангери, Дербыш, Туул, Тугнуй преобразованы масштабной добычей россыпей, а реки Юкспоррийок и Вуоннемйок Хибинского горного массива представляют собой объекты сброса дренажных вод рудников. Отдельный массив информации представлен данными по р. Кабеку, протекающей в долине, сложенной левыми отложениями вулканического происхождения (т. н. лахары) на склоне вулкана Шивелуч. Все реки разделены на следующие группы: Ia – высокогорные ледниковые ($n = 78$); Ib – горные ($n = 16$); IIa – малые полугорные ($Q < 50 \text{ м}^3/\text{с}$) ($n = 42$); IIb – крупные полугорные ($Q > 50 \text{ м}^3/\text{с}$) ($n = 107$); IIIa – средние равнинные ($Q < 500 \text{ м}^3/\text{с}$) ($n = 75$); IIIb – крупные равнинные ($Q = 500\text{--}5000 \text{ м}^3/\text{с}$) ($n = 99$); IIIc – крупнейшие равнинные ($Q > 5000 \text{ м}^3/\text{с}$) ($n = 252$); IVa – реки лахаровых долин ($n = 24$); IVb – водотоки сбросов дренажных вод (техногенные водотоки) ($n = 14$); IVc – реки в районах разработки россыпных месторождений ($n = 29$).

Отборы проб и анализ осуществлялись в период с 2006 по 2020 гг. Данные для рек Швеции, Российской Арктики, Сахалина, а также бассейна р. Селенги собраны как в многоводные, так и маловодные периоды в течение нескольких лет. Часть базы данных (53 объекта, 180 измерений) составляют реки с эпизодическими измерениями ГС (1–2), которые не учитывались при статистическом анализе.

Для всех серий проб считались статистические характеристики, описываемые ниже при обобщении гранулометрического состава взвешенных наносов. Для выявления группировок рек по сходному распределению фракций взвешенных наносов был выполнен дискриминантный анализ в программе Statistica 10. Для проведения дискриминантного анализа выбирались группирующие переменные (группа рек, мутность, высотное положение створа, средний расход, длина водотока выше створа отбора проб) и зависимые, характеризующие доли 12 фракций гранулометрического состава взвешенных наносов. На основе стандартного метода выбора переменных с помощью критерия Уилкса (W) определялся процент верной классификации, проверялся уровень значимости F -критерия ($p < 0,00001$) и вычислялись канонические корни – выражения, каждое из которых объясняет уникальную долю изменчивости между двумя наборами переменных [Халафян, 2007]. Рассматривались группировки, имеющие хорошую или среднюю степень дискриминации ($0,2 < W < 0,6$). По двум наиболее значи-

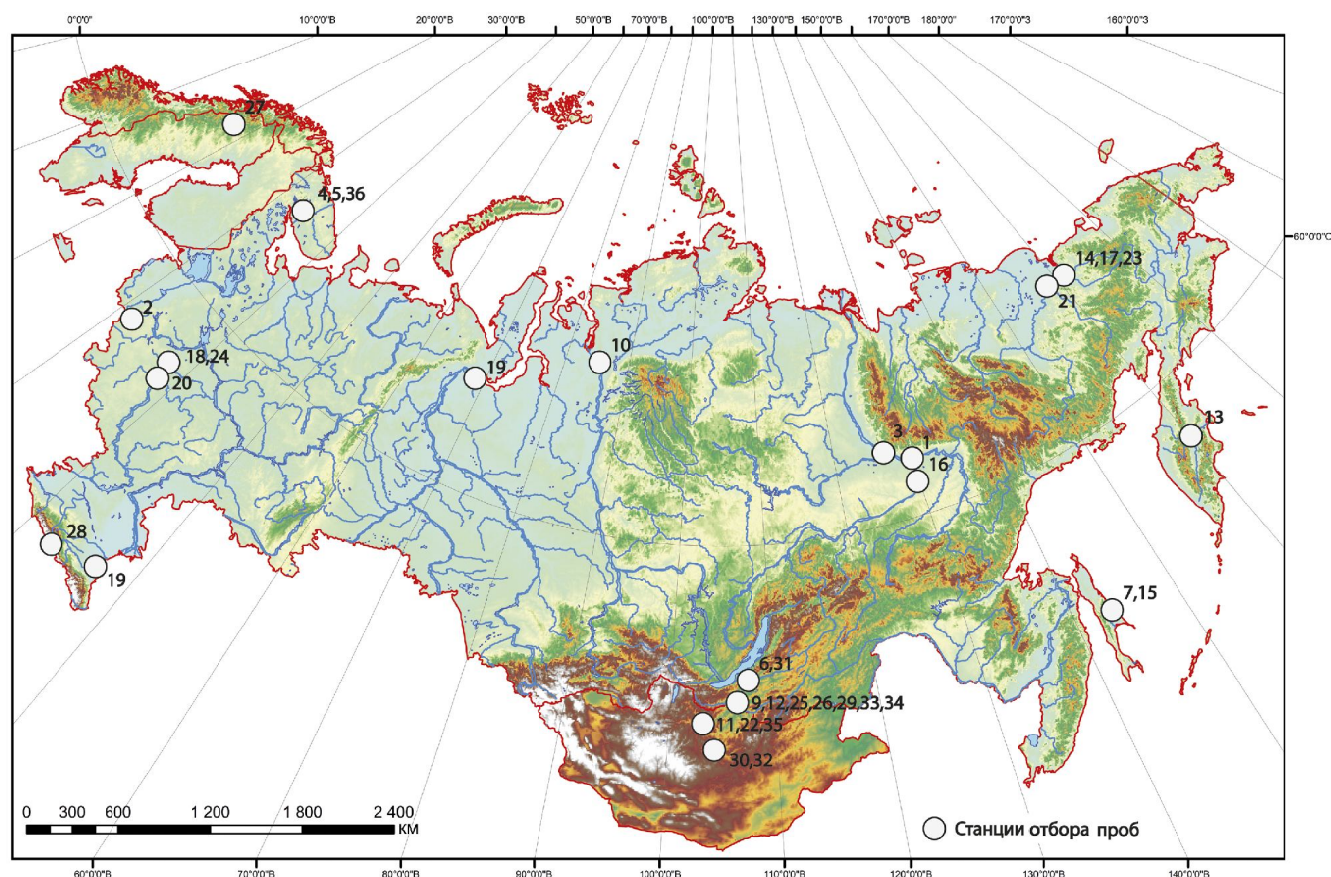


Рис. 1. Места отбора проб, данные по которым использованы в работе (табл. 1)
 Fig. 1. Location of sampling sites, which data were analyzed for the study (table 1)

мым каноническим корням, определяющим максимальные доли дискриминирующей мощности, строились графики распределения канонических значений переменных.

Характеристики гранулометрического состава взвешенных наносов. ГС описывается размером (диаметром) частиц d (мм) – соотношением доли фракций I (мм) разного размера в составе наносов d_i (%). Важнейшим параметром является медианный диаметр (или средняя крупность) d_{50} (мм), который разделяет пробу наносов массой m_s на две равные части по весу и оценивается по соотношению веса m_i разных фракций i , характеризующихся средним диаметром частиц d_{0i} :

$$d_{50} = \frac{\sum m_i d_{0i}}{m_s}. \quad (1)$$

Величина d_{50} может определяться по кривой обеспеченности. Часто используются такие метрики крупности наносов, как d_{84} и d_{90} , соответствующие диаметру, меньше которого находится 84% или 90% частиц пробы. Доля каждой i -фракции в составе речных наносов определяется как

$$m_i (\%) = \frac{m_i}{m_s}. \quad (2)$$

В зарубежных классификациях для характеристики их состава используют логарифмические единицы ϕ [Tipping, 1988], для получения положительных величин принимаемые с отрицательным знаком

$$\phi = -\log_2 d. \quad (3)$$

На основе величины d (мм) характеризуется физическая форма переноса частиц речными потоками: в грубодисперсном состоянии (крупность более 0,0001 мм), в коллоидно-дисперсном состоянии (в составе коллоидов, крупностью от 0,000001 до 0,0001 мм), в молекулярно-(ионно)дисперсном состоянии (в истинно-растворенной форме, или в растворенной форме, соответствующей диаметру частиц менее 0,000001 мм). Наличие поверхности раздела между ними (дисперсная фаза) и водой (дисперсная среда) позволяет относить грубодисперсные и коллоидно-дисперсные системы к гетерофазным (разнофазным) физико-химическим системам [Wilkinson, Lead, 2007]. Они осуществляют постоянное взаимодействие с растворенной фазой компонентов, коллоидной органической гидрофобной фазой и гидробиологической фазой в водной массе (планктон, рыбы, водные растения) и донных осадках (бентос), что определяет гетерогенность состава речных наносов. Нижняя граница, при которой гетерогенная система переходит в гомогенный молеку-

лярный раствор, составляет около 0,001 мкм [Глазовская, Геннадиев, 1995]. Именно этот размер частиц следует считать физической границей речных наносов, которыми в таком случае следует называть нерастворенные вещества (с крупностью более 0,001 мкм – коллоиды, глинистые, илистые, песчаные и крупнообломочные частицы), являющиеся продуктами разрушения горных пород, почв, органических остатков, трансформирующиеся под воздействием флокуляции и сорбционных процессов, которые в данной гидроклиматической обстановке могут перемещаться речными потоками. В практике в качестве нижней границы диапазона речных наносов широко используются размеры пор фильтров, используемых при выделении взвеси (с диаметром пор 0,3 или 0,45 мкм), соответственно проводится разделение «условно растворенных» и нерастворенных форм. Именно частицы, переносимые в толще потока и имеющие диаметр более 0,45 мкм, являются объектом исследования в настоящей работе и в целом при изучении взвешенных наносов в мировой практике. В нашей базе данных их средний диаметр составил $d_{50} = 0,083$ мм, доля наносов крупностью менее 0,001 мм – 4%; 0,001–0,01 мм – 37%; 0,01–0,1 мм – 44%; >0,1 мм – 15%.

Важным свойством наносов являются экстремумы функции распределения i -ой фракции в составе наносов $d_i(\%) = f(d)$. При наличии одного максимума крупности $d_i(\%)$ в ряду всех значений d взвешенные наносы формируют одномодальные системы распределения, при двух максимумах $d_i(\%)$ – двумодальные, при трех – трехмодальные. Критерием выделения пика концентрации определенной фракции в пробе служит достижение локального максимума функции, которое превышает локальные минимумы более чем на 10%. Важность оценки модальности

гранулометрического состава связана с разным химическим составом i -ых фракций наносов.

Результаты исследований и их обсуждение.
Классификации гранулометрического состава взвешенных наносов. Можно выделить несколько групп классификаций, применяемых при изучении речных наносов: механических (для грунтов, наносов, почвенной массы и почв), миграционных (см. табл. 1). Гидромеханические классификации речных наносов, принятые в гидрометрии и используемые на сети Росгидромета [Караушев, 1977], охватывают лишь часть спектра крупности переносимых частиц и предполагают выделение в их составе глинистых (менее 0,001 мм), илистых (0,001–0,01 мм), пылеватых (0,01–0,1 мм), песчаных (0,1–1 мм), гравийных (1–10 мм), галечных (10–100 мм) и обломков горных пород (валуны и глыбы) размером более 100 мм. Классификации гранулометрического состава речных наносов [Friedman, Sanders, 1978; Guy, 1969] основаны на градациях элементов, граничные значения которых связаны с целыми значениями числа ϕ , обычно выделяемых в геометрической прогрессии числа 2, согласно шкале Уэнтворта [Wentworth, 1922]. Эти подходы отличаются от шкал размеров частиц, принятых при типизации элементов почвенной массы и почв. Например, согласно Международной шкале 1926 г., все частицы подразделяются на крупнозем (гравелистая и каменная часть почвенной массы) и мелкозем [Глазовская, Геннадиев, 1995]. Последний состоит из фракций песка крупного и среднего – 2–0,2 мм, мелкого песка – 0,2–0,074 мм, пыли – 0,074–0,002 мм, глины (ила) – <0,002 мм. Одновременно наличие свойств глины у частиц размером менее 0,01 мм определяет отнесение этого класса частиц в почвоведении и грунтоведении к физической глине.

Таблица 1

Основные подходы к классифицированию речных наносов

Классификация	Критерий выделения	Выделяемые типы наносов	Пример классификации
Гидромеханическая классификация частиц речных наносов	Диаметр частиц, мм	Глина Ил Пыль Песок Гравий Галька, валуны	[Караушев, 1977]
Механическая классификация элементов почвенной массы	Диаметр частиц, мм	Крупнозем Мелкозем (глина, пыль, мелкий песок, крупный и средний песок)	[IUSS..., 2015]
Механическая классификация почв	Диаметр частиц, мм (соотношение доли физического песка, пыли и глины)	Тяжелые глины Средние глины Легкие глины Тяжелый суглинок Средний суглинок Легкий суглинок Супесь Связный песок Рыхлый песок	[Глазовская, Геннадиев, 1995]
По физической форме миграции	Форма миграции	Грубодисперсное Коллоидно-дисперсное	[Янин, 2002]

Несогласованность разных подходов определяет тот факт, что разным диапазонам крупности «почвенные» и «гидрологические» классификации предлагают одинаковые термины. Например, под понятие «глина» попадают частицы менее 0,01 мм [Глазовская, Геннадиев, 1995] или менее 0,001 мм [Караушев, 1977]. Для решения этих противоречий

целесообразно использовать классификацию в диапазоне размеров от 0,001 мкм, основанную на численных индексах, задающих нижнюю и верхнюю границы выделяемого диапазона. Такой индекс может иметь название РМ (от англ. Particulate Matter), по аналогии с широко применяемым в смежных науках (в частности, при изучении аэрозолей) обозна-

Таблица 2

Обобщенные сведения о гранулометрическом составе взвешенных наносов исследуемых рек

№ п/п	Река	Бассейн	Количество измерений	Диапазон значений мутности, мг/л	Средний диаметр (d_{50}), мм	±SD	Доля частиц взвешенных наносов в диапазоне РМ0, 45–2500 (0,00045–2,5мм), %					Группа
							РМ0,45–1	РМ1–10	РМ10–100	РМ100–1000	РМ1000–2500	
1	Алдан	Лена	6	3–8	0,17	0,05	3	22	54	11	11	IIIb
2	Велеса	Западная Двина	32	2–50	0,09	0,11	5	32	50	10	3	IIIa
3	Виллой	Лена	6	10–31	0,06	0,02	2	16	54	28	0	IIIb
4	Вуоннемйок ³	Нива	2	3–2000	0,02	0,00	1	72	28	0	0	Ib/IVb
5	Гакман	Нива	2	1–2	0,17	0,16	7	58	18	9	8	Ib
6	Селенга ⁴	Селенга	79	50–436	0,07	0,14	5	48	40	5	2	IIb
7	Дербыш ³	Лангери	4	593–1256	0,04	0,01	5	29	65	2	0	IVc
8	Джанкуат	Терек	42	12–35597	0,05	0,10	2	58	38	2	1	Ia
9	Джида	Селенга	4	7–20	0,11	0,15	4	31	49	16	0	IIIb
10	Енисей	Енисей	53	5–794	0,07	0,09	4	44	43	9	1	IIIc
11	Ероо	Селенга	4	7–10	0,26	0,28	3	36	31	25	5	Ib
12	Загустай	Селенга	3	2–3	0,19	0,14	4	45	31	15	6	Ib
13	Кабеку	Камчатка	24	8–93	0,11	0,08	3	37	35	26	0	IVa
14	Колыма	Колыма	65	3–300	0,07	0,09	6	43	44	3	4	IIIc
15	Лангери ³	Лангери	19	43–14043	0,29	0,39	3	31	44	7	15	Ib/IVc
16	Лена	Лена	69	3–41	0,08	0,07	2	16	49	32	1	IIIc
17	Малый Анюй	Колыма	3	19–44	0,06	0,08	8	48	39	1	4	IIIb
18	Москва ⁵	Волга	16	9–24	0,01	0,01	8	42	35	13	1	IIIa
19	Обь	Обь	65	5–216	0,08	0,08	3	33	52	11	1	IIIc
20	Ока	Волга	11	11–19	0,07	0,05	2	16	69	10	3	IIIa
21	Омолон	Колыма	5	5–6	0,01	0,01	8	56	35	0	0	IIIb
22	Орхон	Селенга	20	1–1699	0,10	0,13	5	40	41	12	2	IIb
23	Пантелеиха	Колыма	4	33–163	0,08	0,13	5	26	54	12	2	IIIa
24	Протва	Волга	12	6–10	0,07	0,09	2	23	62	11	2	IIIa
25	Селенга	Селенга	49	10–197	0,05	0,12	5	45	45	5	0	IIb
26	Тамир	Селенга	3	4–567	0,14	0,15	3	28	45	24	0	IIa
27	Тарфала	Каликсэльвен	36	2000–15872	0,04	0,01	0	42	57	2	0	Ia
28	Терек	Терек	12	3–241	0,02	0,02	16	54	30	0	0	IIb
29	Тугнуй ³	Селенга	10	1–135	0,08	0,07	4	34	48	14	0	IVc
30	Туул ³	Селенга	27	1–289	0,09	0,12	8	39	49	3	0	IIa/IVc
31	Уда	Селенга	9	20–23	0,16	0,19	4	31	40	24	1	IIb
32	Хара	Селенга	14	6–618	0,13	0,22	3	35	47	14	1	IIa
33	Хилок	Селенга	3	3–4	0,02	0,01	4	35	61	0	0	IIb
34	Чикой	Селенга	3	9–11	0,32	0,40	3	29	29	36	3	IIb
35	Шарын-гол	Селенга	4	12–201	0,23	0,39	2	20	53	22	2	IIa
36	Юкспоррийок ³	Нива	16	1–600	0,25	0,34	2	41	33	14	11	Ib/IVb
Прочие (1–3 измерения на объект) ³			180									
Всего			916									

³ В речном бассейне ведется добыча полезных ископаемых.

⁴ Дельта Селенги.

⁵ Река Москва выше г. Москвы.

чением [Hinds, 1999]. Например, для частиц диаметром 0,05–1 мм он может быть записан как PM50–1000, где 50 – нижний диапазон выделяемого интервала (50 мкм), 1000 – верхний диапазон выделяемого интервала (1000 мкм). Частицы с диаметром менее 10 мкм имеют название PM10. Индекс PM1–10 характеризует частицы 0,001–0,01 мм (илистые, по классификации [Караушев, 1977]), PM10–100 – пылеватые (0,01–0,1 мм), PM100–1000 – песчаные (0,1–1 мм), PM1000–10 000 – гравийные (1–10 мм) и PM10 000–100 000 – галечные (10–100 мм). Отдельный класс частиц размером менее 1 мкм (PM1) соответствует классу глинистых частиц, по классификации [Караушев, 1977]. В соответствие с этой записью, средний состав взвешенных наносов по нашей базе данных можно представить в следующем виде: <PM1 = 4%; PM1–10 = 37%; PM10–100 = 44%; PM100–2500 = 15% (табл. 2).

Пространственная неоднородность распределения фракций наносов. Для фракций гранулометрического состава наносов характерны закономерные пространственные изменения. При увеличении размера рек и переходе от горных и полугорных к равнинным участкам происходит увеличение содержа-

ния мелких частиц. Доля PM100–1000 уменьшается с 10–15% до 7–8% (рис. 2), что объясняется уменьшением скоростей потока и снижением его транспортирующей способности. Значительная часть взвешенных частиц, переносимых равнинными реками, принадлежит мелким органическим формам. Это приводит к смещению максимумов функции $d_i(\%) = f(d)$ для горных рек относительно полугорных и равнинных. Наиболее отчетливо разделяются по особенностям состава ледниковые горные (Ia) и полугорные и крупнейшие равнинные реки (IIa–IIb; IIIc): у ледниковых рек максимальная концентрация приходится на фракции PM5–10 и PM50–100, а у полугорных и равнинных рек – на PM1–5 и PM10–30. Для горных (Ib) и малых полугорных рек (IIa) характерно наличие повышенных концентраций PM300–2000.

Во всех рассмотренных объектах преобладают двумодальные распределения состава взвешенных наносов (49% случаев). Одномодальные и трехмодальные распределения наносов характерны для 46 и 5% рек, соответственно (см. рис. 3). Одномодальные распределения наиболее характерны для малых полугорных и равнинных рек (до 70% проб), двумодальные – для ледниковых и крупных равнин-

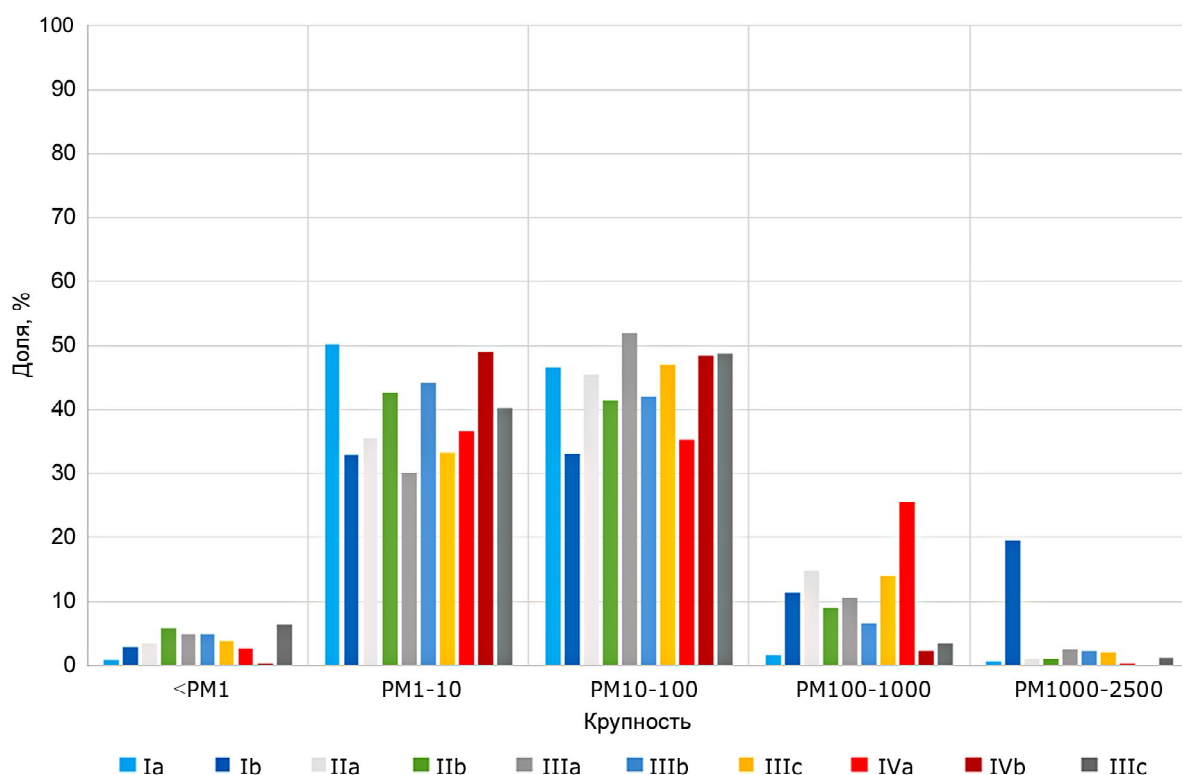


Рис. 2. Распределение содержания фракций взвешенных наносов для выделенных групп рек. Группы рек: Ia – горные ледниковые; Ib – горные; IIa – малые полугорные ($Q < 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIb – крупные полугорные ($Q > 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIa – средние равнинные ($Q < 500 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIb – крупные равнинные ($Q 500–5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIc – крупнейшие равнинные ($Q > 5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IVa – лахаровых долин; IVb – техногенные водотоки; IVc – реки в районах разработки россыпных месторождений

Fig. 2. Distribution of the suspended sediment fractions by the groups of rivers. River groups: Ia – mountain glacial rivers; Ib – mountain rivers; IIa – small semi-mountain rivers ($Q < 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIb – large semi-mountain rivers ($Q > 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIa – medium lowland rivers ($Q < 500 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIb – large lowland rivers ($Q 500–5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIc – the largest lowland rivers ($Q > 5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IVa – rivers of lahar valleys; IVb – technogenic watercourses; IVc – rivers in the areas of placer deposits development

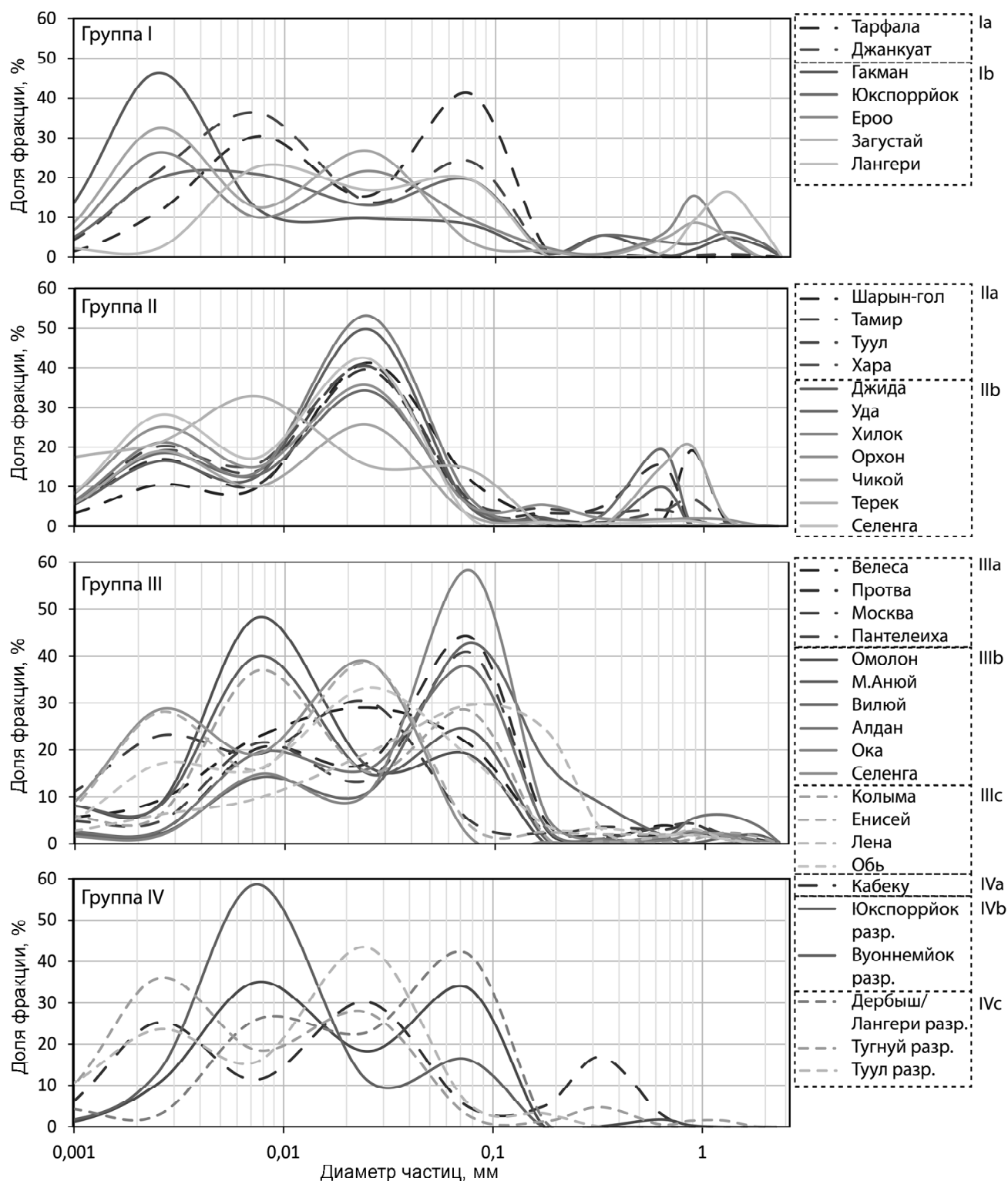


Рис. 3. Осредненные значения гранулометрического состава взвешенных наносов для исследуемых рек. Группы рек: Ia – горные ледниковые; Ib – горные; IIa – малые полугорные ($Q < 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIb – крупные полугорные ($Q > 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIa – средние равнинные ($Q < 500 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIb – крупные равнинные ($Q 500\text{--}5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIc – крупнейшие равнинные ($Q > 5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IVa – лахаровых долин; IVb – техногенные водотоки; IVc – реки в районах разработки россыпных месторождений

Fig. 3. Average grain size values of suspended sediments for the studied rivers. River groups: Ia – mountain glacial rivers; Ib – mountain rivers; IIa – small semi-mountain rivers ($Q < 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIb – large semi-mountain rivers ($Q > 50 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIa – medium lowland rivers ($Q < 500 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIb – large lowland rivers ($Q 500\text{--}5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IIIc – the largest lowland rivers ($Q > 5000 \text{ м}^3/\text{с}$); IVa – rivers of lahar valleys; IVb – technogenic watercourses; IVc – rivers in the areas of placer deposits development

ных рек (55–70% проб). В горных и полугорных реках практически не наблюдаются трехмодальные распределения: третий пик (PM750–1250) составляет всего 2–4% от общего содержания фракций. Единичные повышенные значения этого пика встречаются в нескольких пробах на реках с низкой мутностью, что мы можем объяснить только методическими нюансами определения: единичные частицы диаметром более PM100 могут влиять на результат при детектировании в условиях низкой мутности. В итоге, трехмодальные распределения представлены для 8% проб крупнейших равнинных рек, отобранных в многоводные фазы водного режима. Более обоснованным следует признать наличие трехмодальных распределений для лахаровой р. Кабеку (21% проб). Этому способствует малый вес крупного пирокластического материала и большое количество разнообразных источников поступления наносов в долине лахаровой реки, включая продукты эрозии вулканических отложений [Чалов, Цыпленков, 2017].

Реки районов добычи полезных ископаемых могут представлять все виды распределений. Выраженность пиков зависит от способа добычи полезных ископаемых, а также от близости станции отбора проб к источнику поступления взвешенных наносов. Наличие постоянного источника наносов, связанного с поступлением техногенной взвеси при разработке полезных ископаемых, приводит к формированию ярко выраженной одномодальной структуры (до 60% массы пробы) даже разных по размеру рек, как, например, в среднем течении р. Туул (расходы воды

до 30 м³/с), р. Тугнуй (расходы воды до 10 м³/с), в верховьях р. Лангери и ее притоках (измеренные расходы воды до 5 м³/с). На характерное распределение фракций наносов в них накладывается поступление илистых и пылеватых фракций в результате сброса измельченных вод с промприборов [Чалов и др., 2015]. Поэтому пик растянутый и имеет небольшие, невыраженные максимумы PM8 и PM70. Фракции PM5–90 в этих реках преимущественно поступают с отвалов пустой породы и в результате сброса вод, использующихся для промывки золота.

Результаты дискриминантного анализа характеризуют различие состава взвешенных наносов рек (рис. 4, 5), отличающихся по величине среднего расхода, типу русловых процессов, длине, мутности и высотному положению. Выделено пять сходных по распределению ГС групп рек (см. рис. 4). К группе 1 преимущественно относят техногенные водотоки (Ia; Ib; IVb). Эти реки характеризуются одномодальными и двумодальными распределениями ГС, с повышенной концентрацией PM5–10 и PM50–100. В группу 2 входят реки полугорные и равнинные, а также реки лахаровых долин и россыпных месторождений (IIa; IIb; IIIb; IVa; IVc). По сравнению с группой 1 в реках группы 2 возрастает доля фракции PM10–45 и происходит смещение пиков мутности влево (частицы 0,01–0,045 мм). Для крайних правых точек графика (IIb) характерно наличие пика концентраций для PM500–700 (15–20% от общего содержания наносов) и трехмодальное распределение. В группу 3 отнесены пробы рек IIIa и IIIc, за исключением

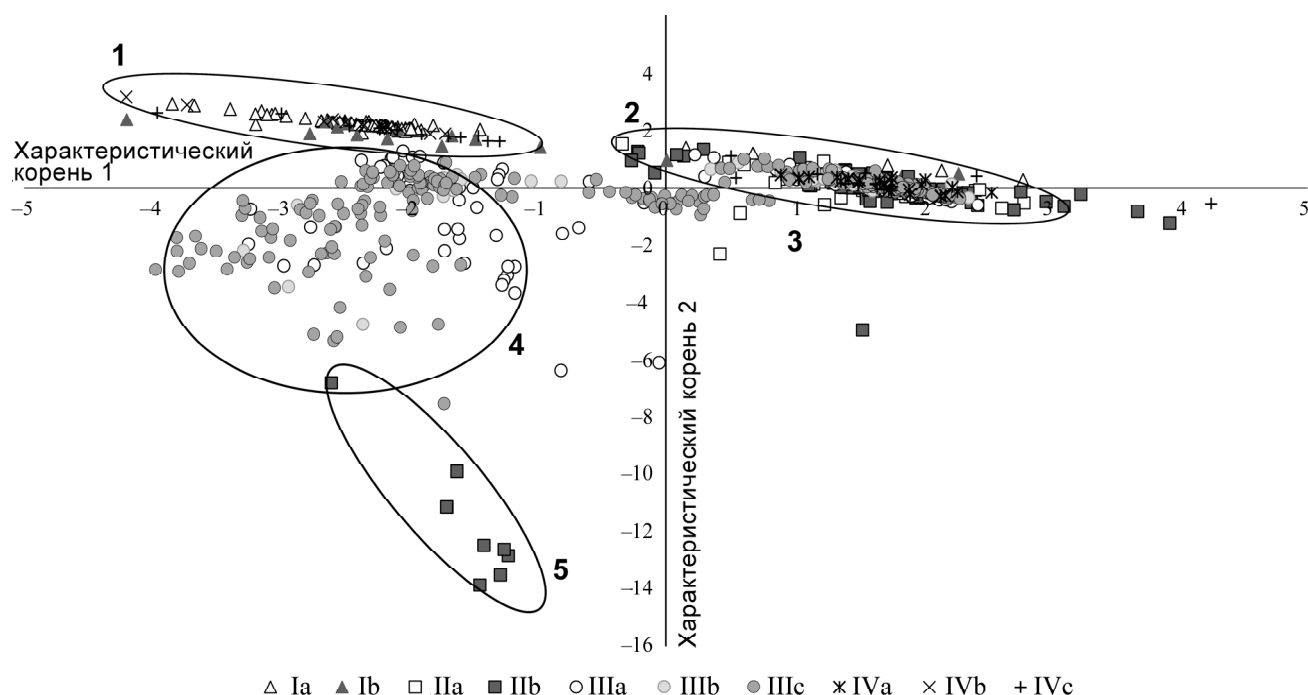


Рис. 4. Совокупность количественных характеристик (диаграмма рассеяния канонических значений) гранулометрического состава наносов рек разного типа (обозначения см. в тексте и на рис. 3)

Fig. 4. Aggregate quantitative characteristics (as a scattering diagram of canonical values) of the grain size of river sediments in different groups of rivers (see description in the text and in Fig. 3)

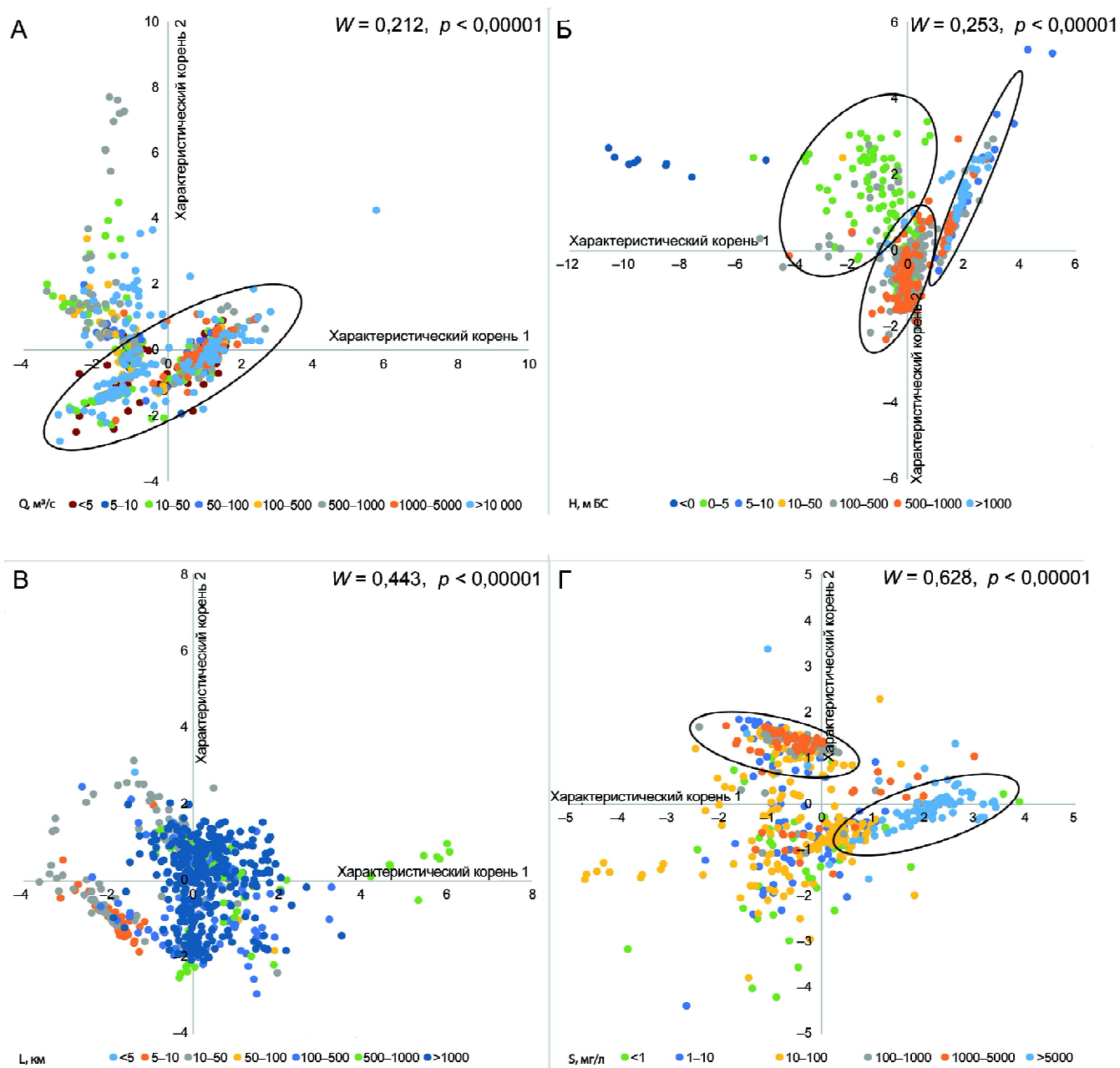


Рис. 5. Дискриминантные группировки рек в створах отбора проб: А – по расходу воды; Б – по высотному положению; В – по длине реки; Г – по мутности воды

Fig. 5. Discriminant groupings of rivers in the sampling points: А – by water discharge; Б – by altitude; В – along the length of the river; Г – turbidity of water

отобранных в многоводный период проб р. Енисей (измеренные расходы воды около 90 000 м³/с) и части проб р. Лены (расходы воды в период отборов проб не превышали 15 000 м³/с). Для рек группы 3 (Велеса, Ока) характерно наличие одномодального и двумодального распределения с невыраженными пиками концентраций. Специфический вид распределения фракций, относительно других групп рек, отмечен для р. Колымы (нижнее течение, расходы менее 8 000 м³/с). Пробы имеют различные виды распределений, но с характерными максимумами РМ5–10 и РМ50–100, составляющими 30–35% от

общего содержания взвешенных наносов. В отличие от горных рек, в большинстве проб также присутствует максимум РМ1000, достигающий 14%. Взвешенные наносы р. Терек (нижнее течение, ниже Каргалинского гидроузла, расходы воды около 200 м³/с) также отличаются от других объектов и характеризуются наличием двух пиков РМ7 (30%) и РМ800 (20%) и значительной долей фракции РМ0,45–3.

Классификация с облучением выявила разную дискриминацию ГС по группам рек. В реках сходного размера часто отмечаются контрастные условия стока наносов, что в особенности характерно

для малых расходов воды (5–50 м³/с), сильно различающиеся по гранулометрическому составу за счет влияния локальных факторов. С увеличением расходов рек (500–10 000 м³/с) разброс распределений уменьшается, за исключением проб, отобранных в период половодья (см. рис. 5). Распределения ГС относительно четко различаются между реками разных высотных зон: 0–10 м, 500–1000 м и более 1000 м. Четкой зависимости от длины реки в представленных результатах не наблюдается. Лучшее всего с ГС взвешенных наносов связана мутность воды. Горные (Ia) реки с высокими значениями мутности (>5000 мг/л) образуют отдельную группу точек в правой части графика. Также можно выделить отдельную группу точек со значениями 500–5000 мг/л, соответствующую р. Кабеку и рекам в районах разработок россыпного золота (Ib; IVa; IVc). Остальные реки не образуют отдельных группировок вследствие сильной зависимости от местных гидрологических условий. Наибольший разброс точек характерен для рек (Ib; IIIa), поскольку они при низкой мутности (<1 мг/л) имеют очень неоднородный гранулометрический состав.

Выводы:

– в работе обобщена информация о гранулометрическом составе взвешенных наносов рек разных природных территорий. Проанализированные данные не охватывают всего многообразия условий, однако, на данный момент это наиболее полный обзор. В этой связи полученные оценки можно рассматривать как репрезентативные, по крайней мере, для рек России. Дальнейшее накопление информации позволит уточнить полученные в работе выводы;

– классификацию крупности частиц предлагается выполнять на основе индекса РМ (от англ. Particulate Matter) в диапазоне единиц от 0,001 мкм и основывать ее на численных индексах, задаю-

щих нижнюю и верхнюю границы выделяемого диапазона;

– на основе существующей базы данных определений гранулометрического состава взвеси ($n = 736$) для 36 рек выявлен характерный состав взвешенных наносов: средний диаметр 0,083 мм; доля фракций менее РМ1 (<0,001 мм) – 4%; РМ1–10 (0,001–0,01 мм) – 37%; РМ10–100 (0,01–0,1 мм) – 44%; более РМ100–2 500 (0,1–2,5 мм) – 15%. Среди рек в разных природных условиях преобладают двумодальный гранулометрический состав взвешенных наносов (49% случаев). Одномодальные и трехмодальные взвешенные наносы для 46 и 5% рек, соответственно;

– равнинные реки имеют преимущественно двумодальные и в некоторых случаях трехмодальные распределения фракций, в связи с наличием третьего максимума крупных фракций РМ750–1250. Для горных ледниковых рек характерно наличие примерно одинаковых пиков мутности РМ5–10 и РМ50–100, для полугорных и равнинных рек пики мутности смещаются в сторону более мелких фракций РМ1–5 и РМ10–30. У полугорных рек максимально выражен пик РМ10–30 (до 35–50% от общего содержания наносов в пробе), который затем уменьшается с увеличением расходов воды в реке и сменой типа русла;

– результаты исследования открывают перспективы для изучения гидролого-геохимических закономерностей химического состава наносов. Интегральная роль крупности взвешенных наносов определяет перспективы исследования гранулометрического состава для объяснения геохимической специализации рек. Наконец, дискриминация гранулометрического состава в реках разных типов позволяет объяснить некоторые глобальные закономерности механической миграции вещества.

Благодарности. Авторы благодарят коллег, работавших в экспедициях, где были отобраны пробы, проанализированные в данной работе. Отдельное спасибо тем, кто участвовал в трудоемкой работе на лазерном гранулометре – в первую очередь М.П. Пашкиной, Е.В. Промаховой, А.О. Романченко, В.О. Базиловой, А.С. Цыпленкову, В.А. Иванову, К.Н. Прокопьевой.

Полевые работы на реках Арктики выполнены в рамках проекта РФФИ 18-05-60219, на притоках Каспийского моря – проекта РФФИ 18-05-80094, на р. Москве – проекта РНФ 19-77-30004, на реках Камчатки проекта – РНФ 18-17-00086, на реке Лене – проекта РНФ 21-17-00181. Обобщение данных выполнено в рамках проекта РФФИ 19-05-50109.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 202 с.
Глазовская М.А., Геннадиев А.Н. География почв с основами почвоведения. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 463 с.
Заславский М.Н. Эрозиоведение. М.: Высшая школа, 1983. 320 с.
Караушев А.В. Теория и методы расчетов речных наносов. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 272 с.
Касимов Н.С., Лычагин М.Ю., Чалов С.Р., Шинкарева Г.Л., Пашкина М.П., Романченко А.О., Промахова Е.В. Бассейновый

анализ потоков веществ в системе Селенга–Байкал // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 3. С. 67–81.

Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов. М.: ИП Филимонов М.В., 2013. 208 с.

Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 272 с.

Лопатин Г.В. Наносы рек СССР. М.: Географиз, 1952. 366 с.

Маккавеев Н.И. Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: АН СССР, 1955. 353 с.

Мельников П.Ф. Исследования по разработке метода подготовки засоленных и карбонатных грунтов к гранулометрическому анализу // Ученые записки МГУ. 1956. Вып. 177. Кн. 4. С. 81–94.

Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрель-2000, 1999. 610 с.

Поздняков Ш.Р. Наносы в реках, озерах и водохранилищах в расширенном диапазоне размера частиц: автореф. ... докт. геогр. наук. СПб., 2011. 40 с.

Росинский К.И., Дебольский В.К. Речные наносы. М.: Наука, 1980. 216 с.

Савенко В.С. О подобию интегрального химического состава материкового стока и верхней части континентальной коры // Геохимия. 2010. № 4. С. 446–448.

Современные проблемы эрозиоведения: монография / Ф.Н. Лисецкий, А.А. Светличный, С.Г. Черный // А.А. Светличный; НИУ БелГУ. Белгород : Константа, 2012. 456 с.

Халяфян А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных. М.: Бином, 2007. 512 с.

Чалов С.Р., Школьный Д.И., Промахова Е.В., Леман В.Н., Романченко А.О. Формирование стока наносов в районах разработок россыпных месторождений // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 22–30.

Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 608 с.

Чалов С.Р., Цыпленков А.С. Сток наносов малых рек районов современного вулканизма (р. Сухая Елизовская, Камчатка) // Геоморфология. 2017. № 1. С. 104–116.

Шамов Г.И. Речные наносы. Л.: Гидрометеиздат, 1959. 378 с.

Янин Е.П. Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава). М.: ИМГРЭ, 2002. 139 с.

Bouchez J., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L., Dutra-Maia P. Grain size control of river suspended sediment geochemistry: Clues from Amazon River depth profiles, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2011, vol. 12(3), p. 1–24, DOI: 10.1029/2010GC003380.

Chalov S., Moreido V., Sharapova E., Efimova L., Efimov V., Lychagin M., Kasimov N. Hydrodynamic controls of particulate metals partitioning along the lower Selenga river – main tributary of the lake Baikal, *Water*, 2020, vol. 12(1345), p. 1–17.

Friedman G.M., Sanders J.E. *Principles of Sedimentology*, NY., Wiley & Sons Publ., 1978, 792 p.

Guy H.P. *Laboratory theory and methods for sediment analysis*. Washington, DC, USA: US G. P. O., 1969, 58 p.

Hinds W.C. Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, *Journal of Aerosol Science*, 1999, vol. 14(2), 175 p., DOI: 10.1016/0021-8502(83)90049-6.

Horowitz A.J., Elrick K.A. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry, *Applied Geochemistry*, 1987, vol. 2(4), p. 437–451, DOI: 10.1016/0883-2927(87)90027-8.

IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World Soil Resources Reports, no. 106, FAO, Rome, 2015, 192 p.

Julien P.Y. *Erosion and sedimentation*, Second edition, Cambridge University Press, 2010, vol. 9780521830386, 371 p.

Knighton D. *Fluvial forms and processes*, London, John Wiley & Sons, 1998, 218 p.

Lupker M., France-Lanord C., Lavü J., Bouchez J., Galy V., Mütivier F., Gaillardet J., Lartiges B., Mugnier J.-L. A Rouse-based method to integrate the chemical composition of river sediments: Application to the Ganga basin, *Journal Geophys. Res.*, 2011, vol. 116, p. 1–24, DOI: 10.1029/2010JF001947.

Petersen L.W., Moldrup P., Jacobsen O.H., Rolston D.E. Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties, *Soil Science*, 1996, vol. 161(1), p. 9–21, DOI: 10.1097/00010694-199601000-00003.

Sediment Cascades: An Integrated Approach, T.P. Burt, R.J. Allison (eds.), NY., Wiley & Sons Publ., 2010, 471 p., DOI: 10.1002/9780470682876.

Tipping E. Colloids in the aquatic environment, *Chem. Ind.*, 1988, vol. 15, p. 485–490.

Vanmaercke M., Zenebe A., Poesen J., Nyssen J., Verstraeten G., Deckers J. Sediment dynamics and the role of flash floods in sediment export from medium-sized catchments: A case study from the semi-arid tropical highlands in northern Ethiopia, *Journal of Soils and Sediments*, 2010, vol. 10(4), p. 611–627, DOI: 10.1007/s11368-010-0203-9.

Wentworth C.K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, *Journal Geol.*, 1922, vol. 30(5), p. 377–392.

Wilkinson K.J., Lead J.R. *Environmental Colloids and Particles: Behaviour, Separation and Characterisation*, NY., Wiley & Sons Publ., 2007, 687 p., DOI: 10.1002/9780470024539.

Поступила в редакцию 13.06.2020

После доработки 02.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

S.R. Chalov¹, V.A. Efimov²

PARTICULATE COMPOSITION OF SUSPENDED SEDIMENTS: CHARACTERISTICS, CLASSIFICATIONS AND SPATIAL VARIABILITY

The approaches to the study of the grain size of suspended sediments are analyzed. The congruency of mechanical, hydromechanical and migratory classifications is considered, and thereupon river sediments are defined as insoluble substances with grain size larger than 0,001 mm, which are the products of destruction of rocks, soils or organic compounds transformed by flocculation and sorption processes. At the same time, the "methodological" definition relevant to the filters parameters considers river deposits to be particles larger than 0,45 mm moving in the water column. Following on the database of processed sediment samples (736 samples for 36 rivers) the features of suspended river sediments of various natural territories are described. The average particle diameter of suspended sediments is 0,083 mm; fractions less

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Associate Professor, PhD in Geography; e-mail: srchalov@rambler.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, PhD Student; e-mail: Roxifixat@yandex.ru

than 0,001 mm account for 4%; 0,001–0,01 mm for 37% and 0,01–0,1 mm for 44%. Two-modal (49% of cases) and single-modal (46%) grain-size compositions of suspended sediments prevail in the rivers of different natural conditions. Lowland rivers have mainly two-modal and in some cases three-modal fraction distributions, due to the presence of a third maximum of large fractions ($>0,75$ mm). Approximately identical turbidity peaks (0,005–0,01 and 0,05–0,1 mm) are characteristic of mountain glacial rivers, while in semi-mountain and plain rivers the turbidity peaks shift towards smaller fractions (0,001–0,005 and 0,01–0,03 mm). The peak of 0,01–0,03 mm (up to 35–50% of the total sediment amount) reaches its maximum in semi-mountain rivers; it decreases as the discharge increases and the channel type changes downstream. The greatest degree of discrimination of fractions is typical for lowland and semi-mountain rivers relative to mountain glacial rivers. The rivers of lakhar valleys, as well as the Terek, Kolyma and Lena rivers, are specific groups in terms of the distribution of fractions of suspended sediments.

Key words: river sediments; particle size; grain size composition, formation of suspended sediments

Acknowledgments. The authors express their gratitude to all colleagues who worked in expeditions, taking samples which were analyzed during the study. Special thanks to those who participated in the laborious work with the laser granulometer, first of all, M.P. Pashkina, E.V. Promakhova, A.O. Romanchenko, V.O. Bazilova, A.S. Tsyplenkov, V.A. Ivanov, K.N. Prokopenko.

Field work was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-05-60219 for the Arctic rivers, project no. 18-05-80094 for the tributaries of the Caspian Sea) and the Russian Science Foundation (project no. 19-77-30004 for the Moscow River, project no. 18-17-00086 for the rivers of Kamchatka), project no. 21-17-00181 for the Lena River. Integration of data was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project no. 19-05-50109).

REFERENCES

- Alekseevskij N.I. *Formirovanie i dvizhenie rechnykh nanosov* [Formation and movement of river sediments], Moscow, MSU Publ., 1998, 202 p. (In Russian)
- Bouchez J., Gaillardet J., France-Lanord C., Maurice L., Dutra-Maia P. Grain size control of river suspended sediment geochemistry: Clues from Amazon River depth profiles, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2011, vol. 12(3), p. 1–24, DOI: 10.1029/2010GC003380.
- Chalov R.S. *Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika, T. 1, Ruslovy protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel* [Channel studies: theory, geography, practice. Vol. 1. Channel processes: factors, mechanisms, forms of manifestation and formation conditions of river channels], Moscow, LKI Publ., 2008, 608 p. (In Russian)
- Chalov S.R., Shkol'nyi D.I., Promakhova E.V., Leman V.N., Romanchenko A.O. Formation of the sediment yield in areas of mining of placer deposits, *Geography and natural resources*, 2015, no. 2, p. 124–131.
- Chalov S.R., Tsyplenkov A.S. Stok nanosov mal'kh rek raionov sovremennogo vulkanizma (r. Sukhaya Elizovskaya, Kamchatka) [Sediment discharge of small rivers in areas of active volcanisms (River Sukhaya Elizovskaya, Kamchatka)], *Geomorfologiya*, 2017, no. 1, p. 104–116. (In Russian)
- Chalov S., Moreido V., Sharapova E., Efimova L., Efimov V., Lychagin M., Kasimov N. Hydrodynamic controls of particulate metals partitioning along the lower Selenga river – main tributary of the lake Baikal, *Water*, 2020, vol. 12(1345), p. 1–17.
- Friedman G.M., Sanders J.E. *Principles of Sedimentology*, NY., Wiley & Sons Publ., 1978, 792 p.
- Glazovskaya M.A., Gennadiyev A.N. *Geografiya pochv s osnovami pochvovedeniya* [Soil Geography with Fundamentals of Soil Science], Moscow, MSU Publ., 1995, 463 p. (In Russian)
- Guy H.P. *Laboratory theory and methods for sediment analysis*, Washington, D.C., USA, US G. P. O., 1969, 58 p.
- Hinds W.C. Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles, *Journal of Aerosol Science*, 1999, vol. 14(2), p. 175, DOI: 10.1016/0021-8502(83)90049-6.
- Horowitz A.J., Elrick K.A. The relation of stream sediment surface area, grain size and composition to trace element chemistry, *Applied Geochemistry*, 1987, vol. 2(4), p. 437–451, DOI: 10.1016/0883-2927(87)90027-8.
- IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015, *International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps*, World Soil Resources Reports, no. 106, FAO, Rome, 2015, 192 p.
- Julien P.Y. *Erosion and sedimentation*, Second edition, Cambridge University Press, 2010, vol. 9780521830386, 371 p.
- Karushev A.V. *Teoriya i metody raschetov rechnykh nanosov* [Theory and methods of river sediments calculation], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1977, 272 p. (In Russian)
- Kasimov N.S. *Ekogeokhimiya landshaftov* [Landscape Ecogeochimistry], Moscow, IP Filimonov M.V. Publ., 2013, 208 p. (In Russian)
- Kasimov N.S., Lychagin M.Yu., Chalov S.R., Shinkareva G.L., Pashkina M.P., Romanchenko A.O., Promakhova E.V. Basseinovy analiz potokov veshchestv v sisteme Selenga – Baikal [Catchment-based analysis of matter flows in the Selenga-Baikal system], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 3, p. 67–81. (In Russian)
- Khalyafyan A.A. *Statistika 6. Statisticheskii analiz dannykh* [Statistica 6. Statistical data analysis], Moscow, Binom Publ., 2007, 512 p. (In Russian)
- Knighton D. *Fluvial forms and processes*, London, John Wiley & Sons, 1998, 218 p.
- Linnik P.N., Nabivanets B.I. *Formy migratsii metallov v presnykh poverkhnostnykh vodakh* [Forms of metals migration in fresh surface waters], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 272 p. (In Russian)
- Lopatin G.V. *Nanosy rek SSSR [Sediments of the USSR rivers]*, Moscow, Geografiz. Publ., 1952, 366 p. (In Russian)
- Lupker M., France-Lanord C., Lavé J., Bouchez J., Galy V., Métiévier F., Gaillardet J., Lartiges B., Mugnier J.-L. A Rouse-based method to integrate the chemical composition of river sediments: Application to the Ganga basin, *Journal Geophys. Res.*, 2011, vol. 116, p. 1–24, DOI: 10.1029/2010JF001947.

Makkaveev N.I. *Ruslo reki i eroziya v ee basseine* [River channel and erosion in the river basin], Moscow, AN USSR Publ., 1955, 353 p. (In Russian)

Mel'nikov P.F. Issledovaniya po razrabotke metoda podgotovki zasolennykh i karbonatnykh gruntov k granulometricheskomu analizu [Studies on the development of a method of preparing salt-affected and carbonate soils for granulometric analysis], *Uchenye zapiski MGU*, 1956, vol. 177(4), p. 81–94. (In Russian)

Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999, 610 p. (In Russian)

Petersen L.W., Moldrup P., Jacobsen O.H., Rolston D.E. Relations between specific surface area and soil physical and chemical properties, *Soil Science*, 1996, vol. 161(1), p. 9–21, DOI: 10.1097/00010694-199601000-00003.

Pozdnyakov Sh.R. *Nanosy v rekakh, ozerakh i vodokhranilishchakh v rasshirennom diapazone razmera chastits* [Sediments in rivers, lakes and reservoirs in a wider range of grain size], Avtoref. dokt. geogr. nauk, St. Peterburg, 2011, 40 p. (In Russian)

Rossinskii K.I., Debol'skii V.K. *Rechnye nanosy* [River sediments], Moscow, Nauka Publ., 1980, 216 p. (In Russian)

Savenko V.S. O podobii integral'nogo khimicheskogo sostava materikovogo stoka i verkhnei chasti kontinental'noi kory [On the similarity between the chemical compositions of the integral continental runoff and the upper continental crust], *Geochemistry International*, 2010, no. 4, p. 419–421.

Sediment Cascades: An Integrated Approach, T.P. Burt, R.J. Allison (eds.), N.Y., Wiley & Sons Publ., 2010, 471 p., DOI: 10.1002/9780470682876.

Shamov G.I. *Rechnye nanosy* [River sediments], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1959, 378 p. (In Russian)

Sovremennye problemy eroziy i eroziy: monografiya [Actual issues of erosion studies], F.N. Lisetskii, A.A. Svetlichnyi, S.G. Chernyi, A.A. Svetlichny (eds.), NIU BelGU, Belgorod, Konstanta Publ., 2012, 456 p. (In Russian)

Tipping E. Colloids in the aquatic environment, *Chem. Ind.*, 1988, vol. 15, p. 485–490.

Vanmaercke M., Zenebe A., Poesen J., Nyssen J., Verstraeten G., Deckers J. Sediment dynamics and the role of flash floods in sediment export from medium-sized catchments: A case study from the semi-arid tropical highlands in northern Ethiopia, *Journal of Soils and Sediments*, 2010, vol. 10(4), p. 611–627, DOI: 10.1007/s11368-010-0203-9.

Wentworth C.K. A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments, *Journal Geol.*, 1922, vol. 30(5), p. 377–392.

Wilkinson K.J., Lead J.R. *Environmental Colloids and Particles: Behaviour, Separation and Characterisation*, N.Y., Wiley & Sons. Publ., 2007, 687 p., DOI: 10.1002/9780470024539.

Yanin E.P. *Ruslovye otlozheniya ravninnykh rek (geokhimicheskie osobennosti uslovii formirovaniya i sostava)* [Channel deposits of lowland rivers (geochemical features of formation and composition)], Moscow, IMGRE Publ., 2002, 139 p. (In Russian)

Zaslavskii M.N. *Eroziy i eroziy* [Erosion studies], Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 1983, 320 p. (In Russian)

Received 13.06.2020

Revised 02.12.2020

Accepted 21.01.2021

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 911.37

А.Г. Махрова^{1,2}, Т.Г. Нефедова³**СМОЖЕТ ЛИ ПАНДЕМИЯ COVID-19 СТИМУЛИРОВАТЬ СУБУРБАНИЗАЦИЮ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ?**

Статья продолжает исследования о соотношении урбанизации и суб- и дезурбанизации в России и специфике двух последних в виде возвратной и сезонной дачной мобильности городского населения. Рассматриваются возможности и особенности массового выезда на дачи в 2020 г. в связи с пандемией и введенными ограничениями. Анализируются финансовые, социально-организационные и бытовые возможности перехода от дачной сезонной мобильности к реальной суб- и дезурбанизации в районах разной степени удаленности от Москвы: в ближних и дальних муниципалитетах Московской области, на юге и на севере Ярославской области и в удаленном районе Костромской области. Показано, что при массовости и разнообразии дач реальная готовность к суб- и дезурбанизации даже в кризисный период зависит от расстояния и обустроенности территории. В Московской области более длительное проживание на дачах в 2020 г., в том числе в холодный сезон, говорит о психологической готовности горожан к переезду за город, когда стрессовая субурбанизация отчасти перерастает в постоянную. На среднеудаленных и дальних дачах условий для дезурбанизации горожан (кроме отдельных энтузиастов) недостаточно. Незаинтересованность местных властей в новых жителях из городов, плохое качество дорог, отсутствие в самом сердце России газа и водопровода, сокращение в последние годы социальной сферы в связи с объединением поселений делают потоки москвичей в сельскую местность и малые города пульсирующими и ненадежными.

Ключевые слова: дача, пандемия, дезурбанизация, обеспеченность инфраструктурой, удаленность от Москвы

Введение. Россия, как большая и относительно слабо освоенная страна, характеризуется сильной концентрацией населения и экономики, которая сочетается с разреженной сетью городов и депопуляцией обширной периферии, что усиливает поляризацию социально-географического пространства [Нефедова, Трейвиш, 2020]. В XX в. в годы потрясений (войн, кризисов) ее население растекалось по пригородам и удаленным деревням, но после их окончания возвращалось в города, стимулируя ускоренный рост крупных центров. После кризиса 1990-х гг. в XXI в., как полагают многие исследователи, процесс концентрации населения в главных городах и агломерациях еще не завершен [Нефедова, Трейвиш, 2017; Антонов, Махрова, 2019; Карачурина, Мкртчян, 2016; Лейзерович, 2008; Мкртчян, 2018]. Тем более важно разобраться, насколько устойчивы признаки деконцентрации населения в связи с охватившей весь мир пандемией и какие специфические факторы стимулируют и дестимулируют актуальную российскую суб- и дезурбанизацию.

Особенность России состоит в том, что в ней исторически сложилась жизнь на два дома: зимой в городе, а летом – сначала в имениях, потом – на дачах [Между домом..., 2016]. Аренда дач в пригородах Москвы и Санкт-Петербурга распространилась

еще на рубеже XIX и XX вв. В советский период государственные дачи и дачи советской элиты пополнились в середине века массовыми садовыми товариществами с небольшими участками и домиками вокруг всех городов. Для пригородов крупных центров были характерны и немногочисленные дачные кооперативы с более либеральными правилами землепользования и строительства. В позднесоветское и постсоветское время разнообразие дач увеличилось благодаря покупке горожанами пустующих домов в деревнях для летнего использования и строительству коттеджей и шикарных вилл. Активная урбанизация, отъезд молодежи из сельской местности и уход стариков оставляли неогорожанам наследные деревенские дома, которые многими также использовались как дачи.

Все эти дачи, которыми владеет около половины городского населения страны, решали не только проблемы отдыха, переключения, самореализации, воспитания детей [Трейвиш, 2014], но и (из-за сильного имущественного расслоения [Смирнов, 2017]) снабжения овощами и фруктами. Для некоторых дача служила местом психологического убежища. При этом не требовалось продавать городскую квартиру, а если уж временно оставлять, то сдавать и зарабатывать на этом. Однако все это лишь тормо-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, вед. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: almah@mail.ru

² Институт географии РАН, отдел социально-экономической географии, вед. науч. с.

³ Институт географии РАН, отдел социально-экономической географии, гл. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: trenel2@yandex.ru

зило реальную субурбанизацию и дезурбанизацию: население по-прежнему стремится в большие города, реализуя потребность в близости к природе на дачах и в поездках.

В 2020 г. горожане осознали и стали активно использовать еще одну функцию дач – убежища при вирусной эпидемии с возможностью свести к минимуму нежелательные контакты с людьми. О влиянии коронавируса на поведение людей и экономику написано немало. В Вестнике Ассоциации российских географов-обществоведов за 2020 г. есть подборка взглядов на пандемию, причем многие из отмеченных в них последствий непосредственно влияют на отношение людей к дачам. Прежде всего, отмечалось увеличение барьерности границ [Герасименко, Герасименко, 2020], запрета выезда за границу и опасности поездок по России в поездах и самолетах, что резко усилило значимость отдыха в своем дачном доме. Увеличение бедности населения [Дружинин, 2020] вследствие свертывания бизнеса и потери многими работы неизбежно вызвало усиление сельскохозяйственной активности на дачах. Сама мобильность населения оказалась фактором риска [Каганский, 2020], что заставило людей на более длительные сроки осесть на дачных участках.

Н.В. Зубаревич и С.Г. Сафронов показали уникальность современного кризиса из-за приостановки деятельности сектора услуг, включая розничную торговлю и малый бизнес, от которого сильнее пострадали крупные центры [Зубаревич, Сафронов, 2020]. При этом изменения, в отличие от предыдущих кризисов 2000-х гг., характеризовались обвальным спадом этого сектора экономики. Пострадали и промышленные предприятия вследствие резкого сжатия спроса. Это бумерангом сказалось и на других территориях, поставлявших трудовых мигрантов в крупные агломерации [Между домом..., 2016]. Резкий спад доходов и увеличение численности незанятого населения заставил многих весной и летом 2020 г. обратиться к дачному образу жизни и домашней экономике.

Наиболее полный обзор влияния эпидемии на отношение к дачам в России и в других странах дан У.Г. Николаевой и А.В. Русановым, которые отмечают разные подходы к регулированию передвижений горожан на дачи [Николаева, Русанов, 2020]. Не вдаваясь в подробности, отметим лишь, что почти все страны Северной Европы, где роль дач велика, реагировали на дачную экспансию горожан противоположным России образом. Так, Норвегия, Швеция, Финляндия выделяются распространенностью дач, а Финляндия занимает второе место в мире после России по числу дач на душу населения [Second home..., 2013, p. 165–201; Second home..., 2015]. Тем не менее правительства этих стран объявили еще весной строгий запрет на перемещения за пределы города из-за опасений распространения вируса и неготовности медицины сельских районов к увеличению числа больных [Николаева, Русанов, 2020]. Бывшие социалистические страны, наоборот, поощряли использование садовых товариществ для

уменьшения скученности населения в городах. Интересно, что и в России после передачи части полномочий по борьбе с вирусом регионам, власти некоторых из них, например Владимирской области, закрывали доступ москвичей в наиболее дачные районы, примыкающие к границе Московской области.

Может ли опыт вынужденного более длительного пребывания на дачах в 2020 г. повлиять на отношение людей к сельской местности, перевести их из временного сезонного пребывания то в городе, то вне его, в постоянное проживание за пределами крупных городов? Ученые давно задались этими вопросами [Покровский, Нефедова, 2013; Алексеев, Воробьев, 2018]. Как пишет А.Н. Пилясов, «COVID-19 парадоксальным образом «растаскил» крупнейшие города мира по атомарным точкам, лишил их агломерационного эффекта, вдруг исчез весь привычный уклад жизни, однозначно завязанный на плотной, ежедневной личной коммуникации каждого с каждым» [Пилясов, 2020, с. 149].

Целью данной статьи является попытка показать на примере ряда регионов Центра России лишь некоторые возможности и ограничения перерастания в условиях пандемии сезонной дачной в реальную суб- и дезурбанизацию населения.

Материалы и методы исследования. Наблюдения авторов в течение 2020 г. дают основание для некоторых предварительных выводов. Были рассмотрены на разных масштабных уровнях три типа территорий вдоль северо-восточного луча на разном удалении от Москвы: 1) Московская область (городские округа Королев, Пушкинский и Сергиево-Посадский); 2) юг и восток Ярославской области (Переславский и Некрасовский районы); 3) восток Костромской области (Мантуровский район). Все эти районы обследовались авторами лично летом 2018–2020 гг., а данные за ноябрь собирались методом телефонных опросов глав администраций и выборочно дачников. Для изучения динамики спроса и предпочтений населения на дачные дома в период пандемии были использованы аналитические материалы компаний, работающих в сфере загородной недвижимости. Анализ перемещений населения и объективных условий жизни за городом на постоянной основе проводился по данным Росстата и сельскохозяйственной переписи 2016 г.

Результаты исследования и их обсуждение. Массовые выезды из Москвы, как и из других крупнейших городов страны, на дачи начались в 2020 г. гораздо раньше майских праздников, как это бывало в предыдущие годы, и отмечались уже в марте после объявления Правительством нерабочих локдаунов. С переводом детей и части работников на дистанционное обучение и занятость число дачников еще больше возросло. Это фиксировали и дорожные службы, и сотовые операторы. Летом 2020 г. количество людей, проводивших время на дачах, было выше, чем в предыдущие годы, и жили они за городом дольше.

Возрос и спрос на загородное жилье, который был характерен для жителей всех крупных городов

страны. Как показывают данные ЦИАН, в июне – середине июля 2020 г. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года продажи загородного жилья возросли в 1,8 раза (рис. 1). При этом спрос на аренду, которая была не очень востребована в последние годы, увеличился еще более существенно, превысив отметку в 2,5 раза. В отличие от покупки загородного дома, приобретение которого требует достаточно много средств и времени, съем дачи позволял быстро перебраться из тесных городских квартир на природу в загородный дом, что привело не только к быстрому вымыванию наиболее дешевых предложений, но и к росту цен [Демидова, 2020].

Попробуем разобраться, могло ли это повлиять на урбанизационные и суб- и дезурбанизационные предпочтения людей на примере некоторых муниципалитетов в Центре России.

Возможности и ограничения суб- и дезурбанизации на разном удалении от Москвы. Прежде чем перейти к описанию ключевых примеров, рассмотрим некоторые характеристики поведения населения и обустроенности территории вдоль северо-восточного вектора от пригородов столицы до восточных окраин Костромской области. На примере этого профиля протяженностью около 600 км можно проследить и направления миграционных по-

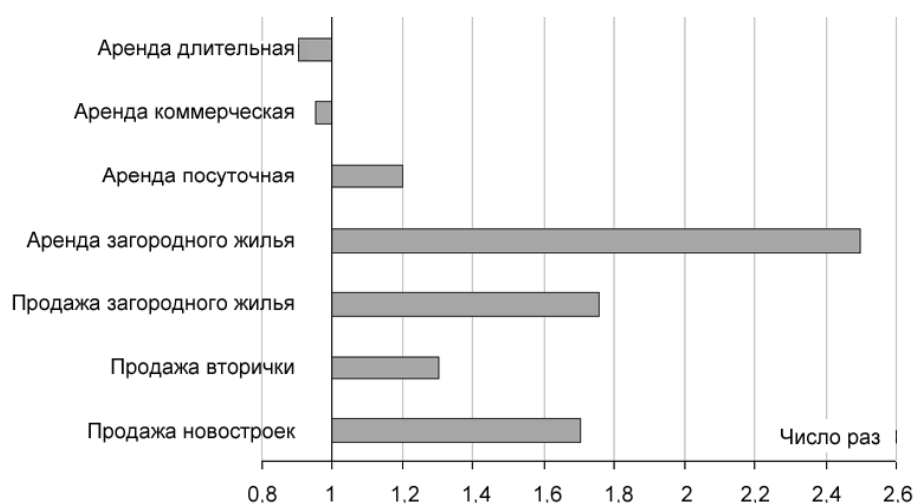


Рис. 1. Динамика спроса на отдельные сегменты рынка недвижимости, июнь – середина июля 2020 г. к соответствующему периоду 2019 г. Составлено по [Демидова, 2020]

Fig. 1. Dynamics of demand for certain segments of the real estate market, June – mid-July 2020 to the corresponding period of 2019. Compiled after [Demidova, 2020]

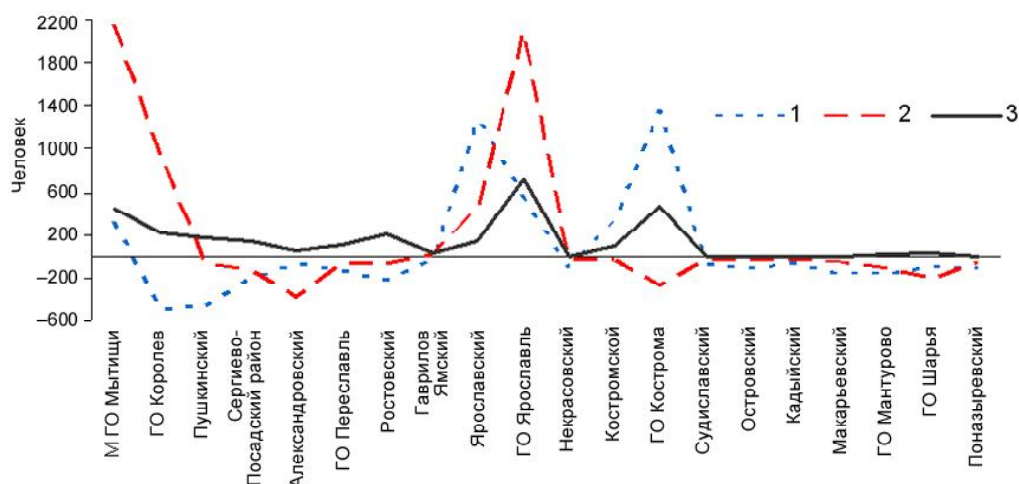


Рис. 2. Миграционные прирост/убыль населения вдоль профиля от МКАД через Московскую и Ярославскую области до восточных окраин Костромской области (в среднем за 2012–2017 г.): 1 – внутрирегиональные; 2 – межрегиональные; 3 – международные [База данных..., 2020]

Fig. 2. Average migration rate along the cross-section Moscow (MKAD) – Moscow oblast – Yaroslavl oblast – Eastern Kostroma oblast for 2012–2017: 1 – inner regional; 2 – interregional; 3 – international [Baza dannyh..., 2020]

токов, и некоторые условия жизни на территориях разной степени удаленности.

Миграционные предпочтения для переезда на постоянное место жительства в последние перед пандемией годы оставались за крупными городами и их пригородами (рис. 2). Наибольший приток межрегиональных и внутрирегиональных мигрантов на ПМЖ характерен для ближайших к Москве городских округов Подмосковья, с которыми соперничает только Ярославль, как крупнейший межрегиональный центр на северо-востоке от Москвы. Ярославский пригород собирает мигрантов преимущественно из своей области, как и Кострома, которая отдает при этом свое население, в основном, Ярославлю и Москве. Происходит явное перераспределение населения от периферии к центрам, от малых городов в крупные и от некоторых центров регионов в межрегиональные центры. И только международные мигранты несколько сглаживают картину продолжающейся активной урбанизации и стягивания населения в крупные центры и ближе к ним.

Центробежные перемещения людей на дачи лишь отчасти нивелируют усиление поляризации, поскольку наиболее массовые поселки дачников также концентрируются ближе к крупным городам. Анализ космических снимков [Махрова и др., 2016] позволил выделить число участков с домом в садовых и дачных товариществах и коттеджных поселках и сравнить возможную плотность сельского и городского дачного населения летом вне населенных пунктов вдоль рассматриваемого профиля (рис. 3). Однако по мере удаления от крупных цент-

ров нарастает значимость иного вида дач – наследных или купленных горожанами домов в деревнях и используемых ими, как правило, также в летнем дачном режиме [Между домом..., 2016, с. 385–404].

Распространение дачников и возможность длительного проживания осложняется бытовыми и социальными условиями жизни за пределами городов. Одни из самых важных показателей, определяющих возможность постоянного проживания на даче, – доступ к дорогам с твердым покрытием и обеспеченность электричеством и сетевым газом (рис. 4). Анализ данных сельскохозяйственной переписи 2016 г. показывает, что далеко не все из них имеют доступ к дорогам с твердым покрытием. Во многих поселках, особенно расположенных на периферии областей, отсутствует электричество, а перебои со светом характерны практически для всех товариществ, даже в Подмосковье. Только некоторые садовые и дачные поселки, расположенные на территории городов или в зоне ближних пригородов Москвы, подключены к сетевому газу, без которого отапливать дом дорого. Все это существенно сдерживает суб- и дезурбанизацию.

Московская область: COVID и изменение востребованности дач. Особенно велика роль дач в Московской области, где население в летний выходной по сравнению с зимним будним днем и до пандемии увеличивалось более чем на 3 млн человек в основном за счет дачников. С учетом того, что это время пика отпусков, когда многие жители столицы уезжали за границу или в другие регионы страны, доля жителей области была даже больше.

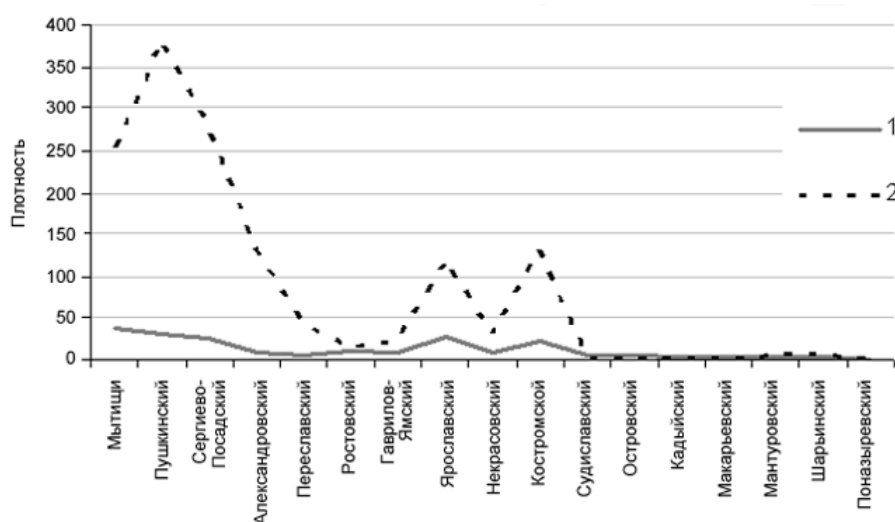


Рис. 3. Плотность сельского населения и горожан-дачников в садовых, дачных товариществах и коттеджных поселках вне населенных пунктов (чел./км²) летом 2014–2016 гг. вдоль профиля от МКАД через Московскую и Ярославскую области до восточных окраин Костромской области: 1 – сельское население; 2 – дачники в СНТ, ДНТ и КП. Данные о числе используемых участков получены А.А. Медведевым в результате дешифрирования космических снимков [Махрова и др., 2016]

Fig. 3. Density of rural population and seasonal urban dwellers in garden, summer dacha associations and cottage settlements in countryside (people/sq. km) along the cross-section Moscow (MKAD) – Moscow oblast – Yaroslavl oblast – Eastern Kostroma oblast, summer periods of 2014–2016: 1 – rural population; 2 – seasonal urban dwellers. Data on the number of the active areas were obtained by A.A. Medvedev from interpretation of space imagery [Makhrova et al., 2016]

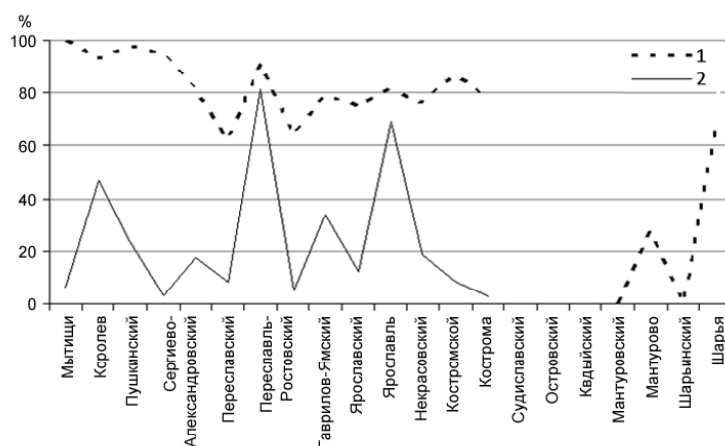


Рис. 4. Инфраструктурная обустроенность садовых и дачных товариществ бытовыми удобствами: 1 – сетевое электричество; 2 – сетевой газ [Итоги Всероссийской..., 2018].

Примечание: на территории Судиславского, Островского и Кадынского муниципалитетов Костромской области нет садово-дачных поселков

Fig. 4. Availability of infrastructure in garden and dacha associations: 1 – mains electricity; 2 – pipeline gas [Itogi Vserossijskoj..., 2018].

Note: there are no garden and dacha settlements within Sudislavl', Ostrovskoe and Kadyj municipalities of the Kostroma oblast

Так, потенциальная селитебная емкость 11,4 тыс. садово-дачных поселков области с 1,4 млн участков составляет 3,6 млн человек, а с учетом других видов дачных владений превышает 4 млн человек.

После ввода режима самоизоляции в марте 2020 г. здесь особенно сильно вырос спрос на покупку или строительство загородного дома, несмотря на то, что Московская область занимала летом третье место по заболеваемости коронавирусом после Москвы и Санкт-Петербурга (рис. 5). По данным ЦИАН число просмотров объявлений о продаже домов в Московской области в марте увеличилось на четверть, в апреле – на 90% по сравнению с соответствующим периодом предыдущего года. Пик спроса был в мае, когда рост составил 2,8 раза, причем в отдельные дни активность была выше в четыре раза [Махнем не глядя..., 2020]. В июне после отмены режима самоизоляции спрос стал плавно снижаться, составив за первые две недели 115% к уровню прошлого года. Всплеск заболеваемости осенью и ввод ограничений на перемещения вместе с осознанным населением угрозами эпидемий сезонного характера пролонгируют востребованность дач.

Опрос аудитории ЦИАН показал, что пандемия повлияла на планы покупки загородной недвижимости почти у 40% респондентов. Естественно, что в качестве самых важных причин были выделены две, связанные с коронавирусом: лучшие условия жизни за городом при изоляции (44%) и распространение удаленного режима работы (15%). Больше половины опрошенных загородная недвижимость интересует как основное жилье, но из них лишь около 40% планируют жить в загородном доме постоянно. Остальные рассматривают его как второе постоянное жилье: четверть намерены ездить регулярно, а около 30% проводить большую часть времени [Суда-

кова, 2020]. Данные компаний, работающих на загородном рынке недвижимости, показывают, что подавляющее большинство (70–80%) хотят купить дом, таунхаус или коттедж, чтобы можно было сразу в нем жить. Однако из-за дефицита ликвидного предложения 70% покупателей вынуждены останавливать свой выбор на участках без подряда, что увеличило спрос на услуги строительных компаний в 2,5 раза, образовав очереди на несколько месяцев вперед [Судакова, 2020].

Благоприятные перспективы реальной субурбанизации москвичей связаны с высокой стоимостью московских квартир. По расчетам ЦИАН средняя стоимость двухкомнатной квартиры площадью 52 м² на вторичном рынке в спальном районе Москвы превышает среднюю цену благоустроенного коттеджа в области площадью до 200 м². Однако для покупки дома в ближнем Подмосковье, где наиболее развита инфраструктура и откуда можно ездить на работу в Москву, этих денег не хватит. При покупке дома в среднем Подмосковье средств будет достаточно для приобретения и коттеджа, и машины, а в зоне дальних пригородов можно купить уже два дома. У жителей городов Московской области финансовые возможности для переезда в загородный дом скромнее. Денег от продажи квартиры им не хватит для покупки дома поблизости, а доплата составит уже от 1,5 до 6,5 млн руб. [Махнем не глядя..., 2020].

Готовность дачников к субурбанизации на примере подмосковных дач. Изменение востребованности подмосковных дач в «ковидный» период и оценки возможностей для субурбанизации можно проследить на примере четырех муниципалитетов, расположенных вдоль Ярославского шоссе на разном удалении от Москвы. Несмотря на весомую «городскую» составляющую (уровень урбанизации варьирует от 100% в Королеве до 77% в Сергиево-

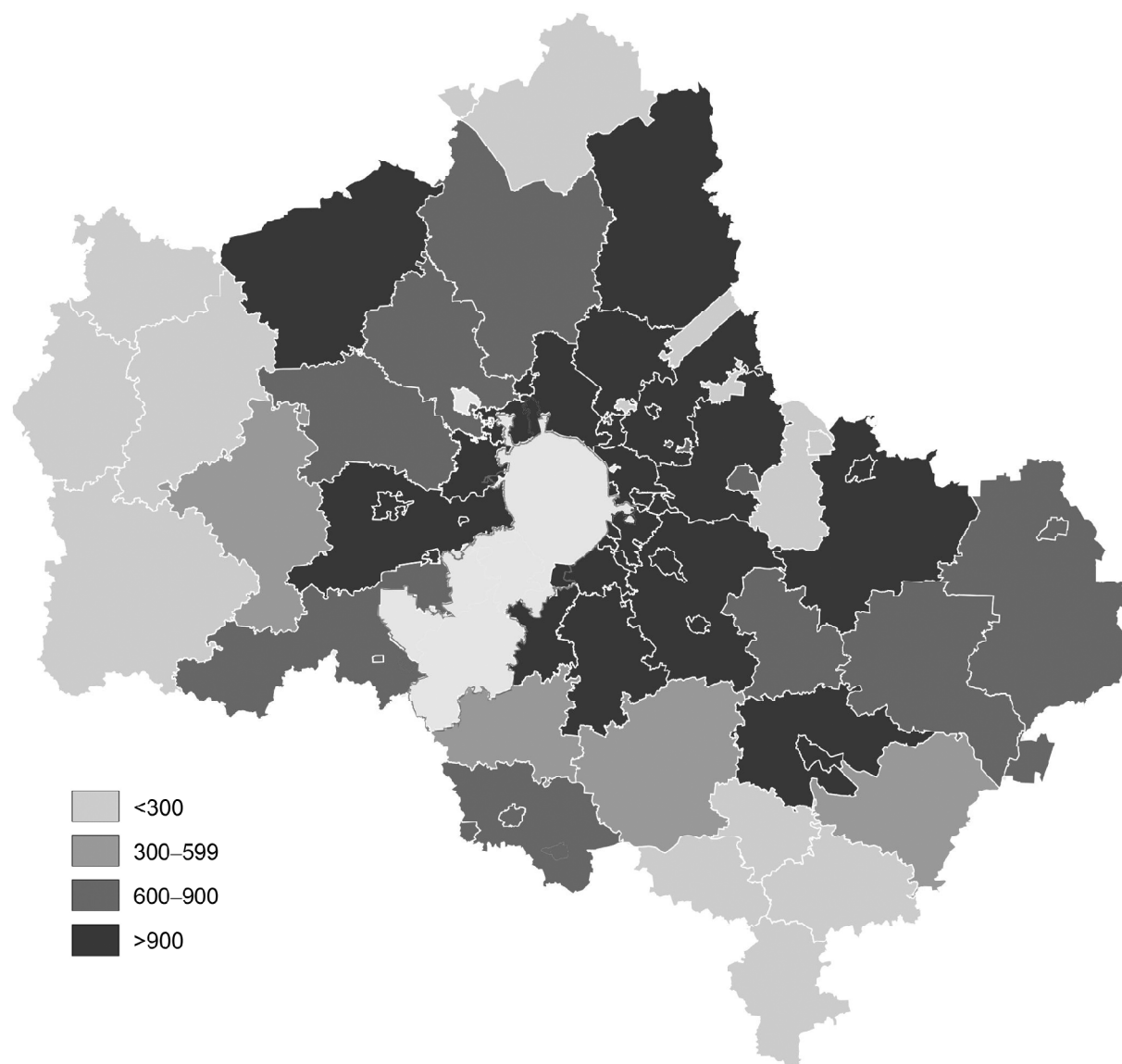


Рис. 5. Распространение COVID-19 по районам Московской области на середину июня 2020 г., число случаев заражения. Составлено по [COVID-19..., 2020]

Fig. 5. The spread of COVID-19 in municipal districts of Moscow oblast in mid-June 2020, number of cases. Compiled after [COVID-19..., 2020]

Посадском округе), на территории этих образований расположены значимые сегменты дачных владений. Так, в Королеве находится 26 садово-дачных товариществ, в Мытищах – 93. В менее урбанизированных Пушкинском и Сергиево-Посадском округах число дачных объединений увеличивается до 277 и 602 поселка.

Мытищи и Королев – два крупных города с населением более 200 тыс. человек каждый, расположенные по разные стороны Ярославского шоссе. Территория этих округов уже во второй половине XIX – начале XX в. стала популярным дачным местом, сохранив свою востребованность в этом качестве и в настоящее время, несмотря на наступление высотной застройки. Близость к Москве сочетается с природным окружением: Пироговский лесопарк, Лосиный Остров, Клязьминское водохра-

нилище, канал им. Москвы, река Клязьма. Почти все дачные поселки, которые находятся непосредственно в границах городов Королев и Мытищи, кроме транспортной доступности отличается обеспеченностью социально-бытовой инфраструктурой, включая возможность подключения к сетевому газу. Многие из дачных поселков советского времени распались, а дачные дома стали обычными объектами городской недвижимости, хотя и используются как второе жилье, внешний вид которого определяется лишь предпочтениями и финансовыми возможностями их владельцев. При этом часть поселков сохранили свой статус, как, например, дачно-строительные кооперативы «Малый театр» и «Чайка» с дачами многих известных актеров, расположенные в стародачном поселке Валентиновка. Это почти идеальное место для проживания на даче

расположено всего в 7–8 км от МКАД, но удалено от главной трассы. Рядом река Клязьма и Лосиный Остров. Электричка от Ярославского вокзала до платформы «Валентиновка» идет примерно 45 минут. В «доковидный» период использование дач для постоянного проживания осложняли только давка в электричках в час-пик и пробки при въезде в Королев. Многие из обитателей этих мест строили или совершенствовали свои дома, чтобы жить именно здесь на постоянно-периодической основе. Сейчас увеличилось как само время проживания на даче, захватывая раннюю весну и позднюю осень, так и число тех, кто живет постоянно или на два дома.

Примерно такая же ситуация характерна и для дач в черте *городского округа Пушкино* с населением более 100 тыс. человек. Его отличает только большая удаленность от Москвы и, соответственно, худшая транспортная доступность. Так, в садовом товариществе «Завилово» в 30 км от МКАД также есть практически все условия для постоянного проживания: электричество, газ, летний водопровод, асфальтированный подъезд. Сетевого водопровода и канализации нет, но у многих установлены автономные системы (колодцы или скважины и септики). Однако из-за высокой стоимости подключения (от 1 млн руб.) газифицирована лишь половина участков. Автобусного сообщения в этой части округа нет, до станции «Заветы Ильича» – 1,5–2 км, до центра Пушкино – 15 км, а до Москвы на электричке – 50 минут. В поселок приезжают автолавка и фермер, ближайший магазин расположен примерно в 2 км, в окружении находятся сетевые магазины. Здесь уже создана инфраструктура, ориентированная на дачников, причем с каждым годом, чутко реагируя на спрос, она расширяется при росте разнообразия предоставляемых услуг (досуговые центры, бассейны и многое другое). Живущие на дачах постоянно водят/возят детей в местные или соседние детские сады и школы. Первичную поликлиническую и экстренную стационарную медицинскую помощь можно получить на месте, в сложных случаях нужно ехать в Москву, так как качество системы здравоохранения в области уступает столице.

В теплый сезон используется большая часть дач (160 из 175 домовладений), в том числе на 35 участках живут постоянно; примерно столько же семей приезжает в выходные круглогодично. В 2020 г. жило больше и ранней весной, и поздней осенью: это хорошо видно по объему мусора, для вывоза которого пришлось заказывать дополнительные контейнеры. При этом число постоянно проживающих в ноябре 2020 г. увеличилось всего на 10 человек: кроме пенсионеров и лиц творческих профессий появилось несколько семей на удаленной занятости. Как и в Подмоскovie в целом, в поселке был отмечен повышенный спрос на дачи, когда были проданы все участки, которые много лет не могли найти своих покупателей, а в аренду пустующие дачи сдали все желающие. Стоит отметить, что кроме москвичей среди покупателей были и жители Пушкино, причем эта тенденция характерна и для дру-

гих крупных подмосковных городов, население которых пандемия простимулировала к приобретению собственного дома на окраинах городов, позволяя сохранить привычное окружение, но жить в собственном доме с лужайкой. Как показали другие интервью и уже приведенные данные опроса ЦИАН, коронавирус сделал привлекательным приобретение загородных домов именно по своему лучу проживания.

Но и недалеко от Москвы можно увидеть дачные поселки с отсутствием коммуникаций, кроме электричества. Это характерно для поселков, расположенных на границах соседних муниципалитетов, как, например, в СНТ «Весна» и «Весна-2» в Щелковском округе на границе с Пушкинским. Территории обеих округов покрыты сетью садово-дачных и коттеджных поселков, образующих «агломерации» дачной застройки [Щепеткова, 2018]. Хитросплетения границ городских округов и населенных пунктов отражаются и на составе их владельцев, среди которых есть жители Королева, Щелково, Черноголовки, Фрязино, Софрино и Москвы, хотя первоначально участки в указанных СНТ давались именно фрязинцам. Поселки расположены примерно в 35 км от МКАД, рядом с Малым бетонным кольцом и ЦКАД, но до Фрязино надо ехать на автобусе, а до станции железной дороги – 10 км. Ближайшие магазины только в соседнем коттеджном поселке в 1–2 км. Вода на участках из скважин, в каждом пятом доме печное отопление. Поскольку земля выделялась на неудобьях, грунты не позволяют вкопать даже септики. Тем не менее на двух участках живут круглый год. Еще семь владельцев приезжают на дачи в выходные зимой, а в теплый сезон живут постоянно. В 2020 г. летом активно использовались на 10% больше участков, чем в предыдущие годы. В ноябре еще жили на четырех дачах, хотя зимовать собираются в тех же двух домах. Коронавирус, как и везде в области, активизировал и продажи: весной 2020 г. состоялись сделки по купле-продаже пяти участков, еще один был взят в аренду. Несмотря на возросшую привлекательность дач, их владельцы не готовы переезжать на ПМЖ из-за бытовых сложностей: нет перспектив газификации и подведения других коммуникаций, хотя совсем рядом коттеджный поселок со всеми удобствами. Таким образом, и для ближнего Подмоскovie характерна очаговость обустройства территории как преграда для реальной субурбанизации.

Дачи, расположенные в Московской области на большем удалении от Москвы, имеют, как правило, худшие характеристики обустроенности, а многие – и транспортной доступности, что сказывается на их востребованности. В СНТ «Дубининские дачи» в Сергиево-Посадском районе можно доехать за 1,5 часа на машине и на электричке (платформа 81 км Ярославского направления), причем от остановки идти пешком 5 минут. Рядом несколько прудов, три магазина, рассчитанные на жителей села Дубининское и дачников нескольких СНТ. Однако из инфраструктуры есть только электричество, все

остальное – индивидуальное, что сдерживает возможность круглогодичного проживания. Проблемы с инфраструктурой характерны и для других поселков, причем в некоторых добавляются и проблемы с дорогами: на дачи вблизи деревни Спас-Торбеево того же Сергиево-Посадского района в дождливую погоду проехать на машине почти невозможно.

Роль дачников и их готовность к дезурбанизации на примере среднеудаленных и дальних дач. Переславский район Ярославской области примыкает к Московской области, а Переславль-Залесский находится в 140 км от Москвы. Весь район и даже окраины районного центра все больше становятся дачной зоной Москвы. Из 44 садовых товариществ 18 – московские, концентрирующие в среднем по 150 участков каждый. В остальных СНТ половина владений перекуплена москвичами. По оценкам местной администрации в летний сезон горожане только в организованных садовых товариществах добавляют 13 тыс. человек при 20 тыс. местного сельского населения. В последнее время вокруг Переславля-Залесского появляется все больше коттеджных поселков.

После объединения сельских администраций района с Переславлем-Залесским в единый городской округ информацию о городских дачниках собирают по собственной инициативе лишь отдельные энтузиасты – бывшие главы сельских администраций. Подробное обследование бывшей Веськовской сельской администрации, расположенной в 5 км от районного центра, во время экспедиций 1995 и 2018 гг. позволило выявить тренды соотношения местного и дачного населения. На рис. 6 видна произошедшая за 23 года поляризация сельских населенных пунктов (НП): выросли относительно крупные и потеряли население мелкие, при этом промежуточные НП людностью 30–100 человек исчезли. Зато население увеличивается в сезон в разы за счет дачников. Число дачников в небольших деревнях выросло незначительно, в последние годы горожане все больше тяготеют к более крупным деревням или к садовым товариществам с лучшим обустройством ближе к городу. Число горожан, купивших дома в деревнях, примерно равно численности местных сельских жителей и немного меньше числа обитателей в летний сезон садовых и коттеджных поселков (рис. 7). Однако с окончанием дачного сезона ситуация меняется кардинально. Обычно остается около 5% горожан, имеющих дома в деревнях, и около 7% владельцев домов в садовых товариществах и коттеджных поселках. И даже стрессовая ситуация 2020 г. не изменила общую тенденцию, хотя число решивших переждать COVID в середине ноября увеличилось в два раза. Главным препятствием также остается бытовая необустроенность. Дороги, кроме главной магистрали Москва–Ярославль, в плохом состоянии. Газ подведен лишь к 30% НП, в том числе к 17% деревень. Но из-за дороговизны подсоединения отдельных домов даже там, куда подведена труба, газифицировано лишь 10–15% домовладений. Сетевой водопро-

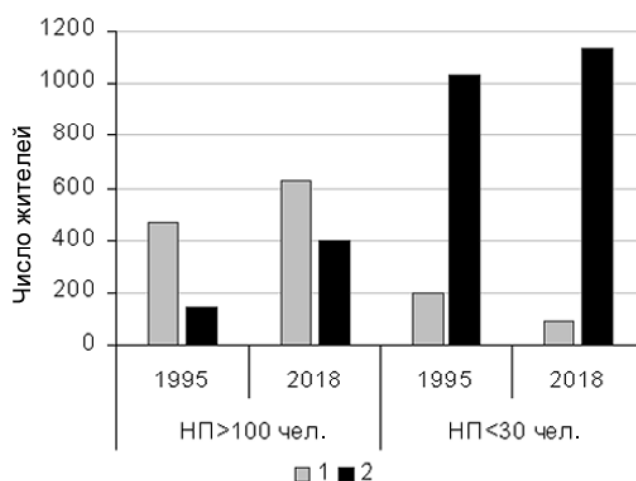


Рис. 6. Численность сельских жителей и горожан-дачников в населенных пунктах разного размера в 1995 и 2018 гг. на территории бывшей Веськовской сельской администрации Переславского района Ярославской области: 1 – сельские жители; 2 – горожане-дачники

Fig. 6. Number of rural residents and seasonal urban dwellers by the size of settlement, former Ves'kovo rural administration (Pereslavl' municipal district, Yaroslavl oblast), 1995 and 2018: 1 – rural population; 2 – seasonal urban dwellers

вод есть лишь в центрах поселений и в крупных коттеджных поселках. Местные власти жалуются, что Ярославль из-за обилия московских дачников перестал рассматривать Переславский район как только свою территорию, считая, что Москва сама должна принимать участие в его обустройстве.

Некрасовский район Ярославской области расположен между Ярославлем и Костромой и удален от Москвы на 250 км. Новодашковское сельское поселение расположено на берегу Волги, а его центр (село Новодашково) – старое купеческо-мещанско-крестьянское старообрядческое село. До революции хозяйства здесь были крепкие, торговали лесом, было два частных крахмало-терочных заводов на местном картофеле. Однако и это село не избежало в XX в. сильной депопуляции. Из сохранившихся 270 домов круглый год обитаемы только 32, в которых живут 39 человек, в основном одинокие женщины. Но все дома раскуплены горожанами, сначала питерцами и ярославцами, а в последние годы среди дачников преобладают москвичи. Летом население увеличивается до 700–800 человек. Эти дачи, несмотря на удаленность, напоминают подмосковные. Появились высокие заборы, сельским хозяйством дачники почти не занимаются. Они мало знают друг друга, ощущают себя временными жителями, особенно молодежь, и в развитии села не заинтересованы. К зиме село пустеет. В ноябре 2019 г. здесь оставалось 19 горожан, в основном одинокие пенсионеры и всего одна семья. Это 3% от их числа в выходные дни июля–августа. Кризис 2020 г. увеличил внесезонное пребывание горожан на даче в два раза – до 40 человек, в том числе ос-

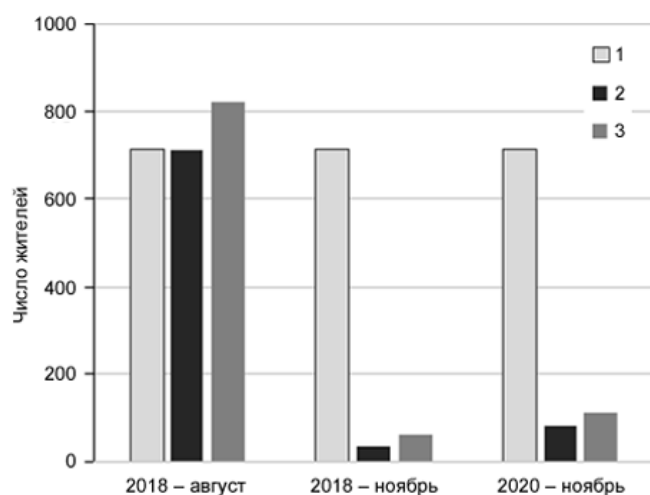


Рис. 7. Число сельских жителей и горожан-дачников в разные сезоны года в 2018 и 2020 гг. на территории бывшей Веськовской сельской администрации Переславского района Ярославской области: 1 – местные жители; 2 – дачники в деревнях; 3 – дачники в СНТ и КП

Fig. 7. Number of rural residents and seasonal urban dwellers during different seasons of 1995 and 2018, former Ves'kovo rural administration (Pereslavl' municipal district, Yaroslavl region): 1 – local residents; 2 – seasonal dwellers in villages; 3 – seasonal dwellers in garden associations and cottage settlements

талось несколько семей с маленькими детьми, однако и они не уверены, что смогут прожить всю зиму (рис. 8). До центра района – поселка городского типа Некрасовское с населением менее 6 тыс. человек – 9,5 км, рейсового автобуса нет. Село газифицировано, однако трубу приватизировали местные бизнесмены. Подключение дома стоит 1,3 млн руб., поэтому газифицировано только 11 домов, так что о дезурбанизации говорить не приходится, в том числе из-за бытовых условий.

Мантуровский район Костромской области – самый удаленный. От Москвы до Мантурово – 550 км, от Костромы – 250 км. Здесь до XX в. среди глухой тайги по берегу реки Унжа (приток Волги) вдоль Вятского тракта узкой полосой тянулись деревни, переходя одна в другую. Рассмотрим бывшее Угорское сельское поселение, которое в 2018 г. было объединено с остальными поселениями и с райцентром в Мантуровский городской округ. В течение XX в. здесь произошла очень сильная депопуляция: от 2,7 тыс. человек осталось в деревнях бывшего поселения лишь 280 человек на 10 деревень, при этом часть населения периодически находится на отходе в Костроме, Ярославле и Москве [Потенциал Ближнего..., 2014, с. 15–73]. Зато деревни на высоком берегу реки очень популярны у московских дачников, которые владеют более 40% всех земельных участков поселения. Участки здесь большие (от 0,5 до 1 гектара), заборов как правило, нет. Дачники – это в основном интеллигенция, которая летом может проводить в сохранившихся добротных крестьянских домах от двух недель до 2–4 месяцев. Строительство новых домов – редкость. Са-

мые благоприятные для дачников месяцы в континентальном климате южной тайги – июль и август, когда доля горожан в населении достигает 20–30%. С окончанием сезона обычно остаются зимовать лишь в четырех-пяти домах. Более того, пожилых местных жителей дети часто забирают в города, и деревни пустеют. Стрессовая ситуация 2020 г. увеличила численность горожан незначительно, а с окончанием сезона к ноябрю еще были обитаемы девять домов (около 4% населения). Социально-бытовые условия для дезурбанизации здесь еще более суровые. Отопление только дровяное, школу закрыли, Интернет не надежен, до районного центра 35 км, до палатки с минимальным набором продуктов – 6 км. Даже наличие машины не всегда спасает, так как грунтовые дороги осенью и весной размывает, а зимой до малых деревень их не чистят.

Выводы. Проведенный в статье анализ привел к следующим результатам:

- 2020 год показал, что дачи могут стать убежищем от стрессов, снимая социальное и психологическое напряжение, и основой для реальной субурбанизации жителей крупных городов;

- на фоне пандемии наиболее популярно как убежище Подмосковье, где COVID только ускоряет процесс перерастания дачной субурбанизации в постоянную. Как и в окружении других крупнейших городов страны, здесь в 2020 г. увеличивался спрос на загородную недвижимость. Однако более половины потенциальных покупателей рассматривают дачу как второе жилье, что означает сохранение сложившейся модели жизни на два дома (в городской квартире и в загородном доме);

- в Подмосковье, особенно в садово-дачных поселках, расположенных на территории городов области, есть условия для постоянного проживания (электричество, газ, асфальтированный подъезд,

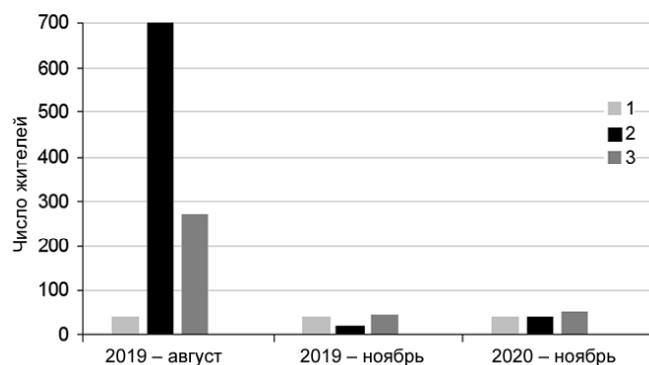


Рис. 8. Численность сельских жителей (1) и горожан-дачников (2), а также число обитаемых домов (3) в разные сезоны года в 2019 и 2020 гг. на территории Новодашковского поселения в Некрасовском районе Ярославской области

Fig. 8. Number of rural residents and seasonal urban dwellers and the number of inhabited houses during different seasons of 2019 and 2020, Novodashkovskoye settlement (Nekrasovskoe municipal district, Yaroslavl oblast)

автономные системы водоснабжения и водоотведения). В поселках вне границ населенных пунктов с меньшей инфраструктурной обеспеченностью лишь немногие готовы к постоянному переезду на дачи. Все это делает субурбанизацию ячеистой даже на небольшом удалении от Москвы, сохраняя ее сезонную форму;

– вне Подмоскovie на более удаленных дачах (особенно в небольших деревнях) для дезурбанизации горожан, даже в такой сложный эпидемиологический период проживания в мегаполисе, бытовые условия и возможности социальной и транспортной инфраструктуры недостаточны, а дистанционная работа и учеба часто ограничены возможностями локального Интернета;

– однако главным остается человеческий капитал. В садовых, дачных и коттеджных поселках

многое зависит от наличия лидера, способного организовать дачное сообщество [Щепеткова, 2018]. В деревнях лишь единичные энтузиасты-горожане готовы вписаться в местную жизнь, в том числе заниматься сельским хозяйством. Чаше это пенсионеры, которые образуют свое параллельное сообщество, разбросанное по удаленным деревням, что осложняет их общение, даже при наличии машины;

– мешает и нежелание местных властей поддерживать городское население, имеющее на их территории сельские дома, хотя бы для сохранения сети расселения и поиска новых путей развития территории. Плохие дороги, отсутствие (в сердце России!) газа и водопровода, сжатие социальной сферы при объединении поселений делают приток горожан в сельскую местность сезонным и пульсирующим.

Благодарности. Авторы благодарны всем руководителям сельских администраций, СНТ и дачникам, откликнувшимся на просьбу обрисовать ситуацию в их поселках в 2020 г.

Статья написана при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00174 «Развитие районов старого освоения в условиях социально-экономической поляризации и сжатия освоенного пространства Европейской России»), выполняемый в Институте географии РАН).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.А., Воробьев М.И. Сколько сельских жителей в России зимой? // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 2. С. 104–106.
- Антонов А.В., Махрова А.Г. Крупнейшие городские агломерации и формы расселения наднагломерационного уровня в России // Известия РАН. Сер. геогр. 2019. № 4. С. 31–45. DOI: 10.31857/S2587-55662019431-45.
- Герасименко Т.И., Герасименко А.С. Некоторые географические аспекты пандемии коронавируса // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2020. № 9. С. 124–126.
- Дружинин А.Г. Общественно-географические метаморфозы в «зеркале» пандемии COVID-19 // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2020. № 9. С. 129–131.
- Зубаревич Н.В., Сафронов С.Г. Регионы России в острой фазе коронавирусного кризиса: отличия от предыдущих экономических кризисов 2000-х // Региональные исследования. 2020. № 2. С. 4–17. DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-1.
- Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т. Т. 6: Технические средства, производственные помещения и инфраструктура. М.: ИИЦ «Статистика России», 2018. 525 с.
- Каганский В.Л. Пандемия коронавируса. Тестирование антропоферы // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2020. № 9. С. 138–140.
- Карачурина Л.Б., Мкртчян Н.В. Роль миграции в усилении контрастов расселения на муниципальном уровне в России // Известия РАН. Сер. геогр. 2016. № 5. С. 46–59.
- Лейзерович Е.Е. Ход концентрации населения в центральных частях субъектов РФ после 1990 года // Трансформация российского пространства: социально-экономические и природно-ресурсные факторы (полимасштабный анализ): сб. докл. XXV секции МАРС / под ред. С.С. Артоболевский, Л.М. Синцеров. М.: ИГ РАН, 2008. С. 173–181.
- Махрова А.Г., Медведев А.А., Нефедова Т.Г. Садово-дачные поселки горожан в системе сельского расселения // Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 2. С. 64–74.
- Между домом и... домом. Возвратная пространственная мобильность населения России / под ред. Т.Г. Нефедовой, К.В. Аверкиевой, А.Г. Махровой, М.: Новый Хронограф, 2016. 504 с. URL: <http://ekonom.igras.ru/data/bhah2016.pdf>.
- Мкртчян Н.В. Региональные столицы России и их пригороды: особенности миграционного баланса // Известия РАН. Сер. геогр. 2018. № 6. С. 26–38. DOI: 10.1134/S2587556618060110.
- Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Перестройка расселения в современной России: урбанизация или дезурбанизация? // Региональные исследования. 2017. № 2(56). С. 12–23.
- Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Поляризация и сжатие освоенных пространств в центре России: тренды, проблемы, возможные решения // Демографическое обозрение. 2020. Т. 7. № 2. С. 31–53. URL: <https://demreview.hse.ru/article/view/11138/12300>.
- Николаева У.Г., Русанов А.В. Самоизоляция на даче: Нельзя? Можно? Нужно? // Население и экономика. 2020. № 4(2). С. 182–198. DOI: 10.3897/porecon.4.e54577.
- Пилясов А.Н. Арктикой стала вся Россия: как жить без агломерационного эффекта? (пять уроков Арктики) // Социально-экономическая география. Вестник Ассоциации российских географов-обществоведов. 2020. № 9. С. 147–150.
- Покровский Н.Е., Нефедова Т.Г. «Клеточная глобализация» и новые тенденции в сельских сообществах Ближнего Севера // Новые идеи в социологии: монография / под ред. Ж.Т. Тощенко. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2013. С. 314–339.

Потенциал Ближнего Севера: экономика, экология, сельские поселения / под ред. Н.Е. Покровского, Т.Г. Неведовой. М.: Логос, 2014. 492 с.

Смирнов С.Н. Региональные факторы социального неравенства и его следствия: Пример современной России // Экономические и социальные проблемы России: сб. науч. тр. / ИНИОН РАН. Центр социал. науч.-информ. исслед. № 2. Неравенство в современном мире: экономический и социальный аспекты. М., 2017. С. 46–66.

Трейвиш А.И. «Дачеведение» как наука о втором доме на Западе и в России // Известия РАН. Сер. геогр. 2014. № 4. С. 22–32. DOI: 10.15356/0373-2444-2014-4-22-32.

Щенеткова И.О. Территориальная организация садоводческих образований в пригородах Перми // Известия РАН. Сер. геогр. 2018. № 4. С. 46–54. DOI: 10.1134/S2587556618040131.

Second Home Tourism in Europe: Lifestyle Issues and Policy Responses, Z. Roca (ed.), Farnham, Ashgate Publ., 2013, 331 p.

Second home tourism in Finland, Reports of the Finnish Environment Institute, 2015, 96 p.

Электронные ресурсы

База данных показателей муниципальных образований Росстата. URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/munst.htm> (дата обращения 15.10.2020).

Демидова Т. «Не успеваем продавать!». Где в России ажиотажный спрос на недвижимость. URL: <https://www.cian.ru/stati-ne-uspevayem-prodavay-gde-v-rossii-azhiotazhnyj-spros-na-nedvizhimost-308049/> (дата обращения 10.11.2020).

Махнем не глядя: можно ли поменять квартиру на коттедж без доплаты? URL: <https://www.cian.ru/stati-mahnem-ne-gljadja-mozhno-li-pomenjat-kvartiru-na-kottedzh-bez-doplatty-306791/> (дата обращения 01.11.2020).

Судакова Ю. Спрос на «загородку» не спадает. У строителей очереди на месяцы. URL: <https://www.cian.ru/stati-spros-na-zagorodku-ne-spadaet-u-stroitelej-ocheredi-na-mesjatsy-306891/> (дата обращения 05.11.2020).

COVID-19 в Подмосковье 12 июня 2020 г. URL: <https://covid.mz.mosreg.ru> (дата обращения 25.09.2020).

Поступила в редакцию 02.12.2020

После доработки 16.01.2021

Принята к публикации 21.01.2021

A.G. Makhrova^{1,2}, T.G. Nefedova³

CAN THE COVID-19 PANDEMIC INSPIRE SUBURBANIZATION IN CENTRAL RUSSIA?

The paper continues research of balance between urbanization, sub- and de-urbanization in Russia, with two latter processes in a specific form of recurrent and seasonal suburban mobility of urban population. Possibilities and specific aspects of the mass drain of urban population to suburban residences in 2020 are considered in connection with the pandemic and introduced restrictions. Financial, socio-institutional and residential potential of transition from seasonal suburban mobility to actual sub- and de-urbanization are analyzed for the areas at different distances from Moscow, in particular the nearest and outer municipalities of the Moscow Oblast, northern and southern areas of the Yaroslavl Oblast, and the most distanced from Moscow municipality in the Kostroma Oblast. Despite a large number and variety of summer cottages, possible start of sub- and de-urbanization even during the crisis period depends on distance and local amenities. As for the Moscow Oblast, a longer 2020 stay in the countryside including the cold season shows that the urban population is psychologically ready to move outside the cities, and the stress suburbanization partly becomes a permanent one. The drivers for de-urbanization are insufficient within the mid- and long-distance locations (except for individual enthusiastic cases). Lack of interest in new residents from the local authorities, low quality of roads, general absence of piped gas and water supply in the center of Russia, decline of the social environment caused by the merger of smaller municipalities, all of this make flows of the Muscovites to rural territories and small towns rather irregular and unsteady.

Key words: dacha, pandemic, de-urbanization, availability of infrastructure, distance from Moscow

Acknowledgements. The authors are grateful to all heads of rural administrations and dacha settlements, and to dacha residents who responded to the authors' request to describe the situation in their communities in 2020. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 19-17-00174 "Development of areas of old development under socio-economic polarization and compression of the developed space of European Russia" carried out at the Institute of Geography RAS).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia; Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Department of Economic and Social Geography; Leading Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: almah@mail.ru

² Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Department of Economic and Social Geography; Leading Scientific Researcher.

³ Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Department of Economic and Social Geography, Chief Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: trenel2@yandex.ru

REFERENCES

- Alekseev A.I., Vorobiev M.I. Skol'ko sel'skikh zhitel'ev v Rossii zimoj? [How many rural residents are there in Russia in winter?], *Vest. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, no. 5, p. 104–107. (In Russian)
- Antonov E.V., Makhrova A.G. Krupnejšie gorodskie aglomeratsii i formy rasseleniya nadaglomeratsionnogo urovnya v Rossii [Largest Urban Agglomerations and Super-Agglomerations in Russia], *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2019, no. 4, p. 31–45, DOI: 10.31857/S2587-55662019431-45. (In Russian)
- Druzhinin A. Socialno-geograficheskie metamorfozy v "zerkale" pandemii COVID-19 [Socio-geographical metamorphoses in the "mirror" of the COVID-19 pandemic], *Socio-economic geography, Bulletin of the Association of Russian Geographers and Social Scientists*, 2020, no. 9, p. 129–131. (In Russian)
- Gerasimenko T.I., Gerasimenko A.S. Nekotorye geograficheskie aspekty pandemii koronavirusa [Some geographical aspects of the coronavirus pandemic], *Socio-economic geography, Bulletin of the Association of Russian Geographers and Social Scientists*, 2020, no. 9, p. 124–126. (In Russian)
- Itoji Vserossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy perepisi 2016 goda, v 8 t., t. 6, *Tekhnicheskiye sredstva, proizvodstvennyye pomeshcheniya i infrastruktura* [The results of the All-Russian agricultural census of 2016, in 8 volumes, vol. 6, Technical means, production facilities and infrastructure], Moscow, Statistics of Russia Publ., 2018, 525 p. (In Russian)
- Kagansky V.L. Pandemiya koronavirusa. Testirovanie antroposfery [Coronavirus pandemic. Testing the anthroposphere], *Socio-economic geography, Bulletin of the Association of Russian Geographers and Social Scientists*, 2020, no. 9, p. 138–140. (In Russian)
- Karachurina L.B., Mkrtchyan N.V. Rol' migratsii v usilenii kontrastov rasseleniya n munitsipal'nom urovne v Rossii [Role of Migration in Enhancing Contrasts of Settlement Pattern at Municipal Level in Russia], *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2016, no. 5, p. 46–59, DOI: 10.15356/0373-2444-2016-5-46-59. (In Russian)
- Leizerovich E.E. [The course of population concentration in the central parts of the constituent entities of the Russian Federation after 1990], *Transformatsiya rossiyskogo prostranstva: sotsial'no-ekonomicheskiye i prirodno-resursnyye faktory (polimasshtabnyy analiz)* [Transformation of the Russian space: socio-economic and natural resource factors (poly-scale analysis)], Sb. dokl. XXV sektsii MARS, S.S. Artobolevsky, L.M. Sinserov (eds.), Moscow, IG RAN Publ., 2008, p. 173–181. (In Russian)
- Makhrova A.G., Medvedev A.A., Nefedova T.G. Sadovodachnye poselki gorozhan v sisteme selskogo rasseleniya [Gardening and dacha communities of urban dwellers in the settlement system], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 2, p. 64–74. (In Russian)
- Merzdu domom i... domom. *Vozvratnaya prostranstvennaya mobilnost' naseleniya Rossii* [Between home and... home. Return spatial mobility of population in Russia], Moscow, New Chronograph Publ., 2016, 504 p. (In Russian)
- Mkrtchyan N.V. Regionalnye stolitsy Rossii i ih prigriridy: osobennosti migratsionnogo balansa [Regional Capitals and Their Suburbs in Russia: Net Migration Patterns], *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2018, no. 6, p. 26–38, DOI: 10.1134/S2587556618060110. (In Russian)
- Nefedova T., Treyvish A. Polyarizatsiya i szhatie osvoennykh prostranstv v tsentre Rossii: trendy, problem, vozmozhnye resheniya [Polarization and shrinkage of active space in core of Russia: trends, problems and possible solutions], *Demographic Review*, 2020, vol. 7, no. 2, p. 31–53, URL: <https://demreview.hse.ru/article/view/11138/12300>. (In Russian)
- Nefedova T.G., Treyvish A.I. Perestrojka rasseleniya v sovremennoj Rossii: urbanizatsiya ili dezurbanizatsiya? [The transformation of settlement in modern Russia: urbanization or de-urbanization?], *Regional'nye issledovaniya*, 2017, no. 2(56), p. 12–23. (In Russian)
- Nikolaeva U.G., Rusanov A.V. Samoizolyatsiya na dache: Nel'zya? Mozhno? Nuzhno? [Self-isolation at the dacha: Can't? Can? Have to?], *Population and economics*, 2020, no. 4(2), p. 182–198. (In Russian)
- Piliashov A.N. Arktikoj stala vsya Rossiya: kak zhit' bez agglomeratsionnogo effekta? (pyat' urokov Arktiki) [The whole of Russia became the Arctic: how to live without agglomeration effect? (five lessons in the Arctic)], *Socio-economic geography, Bulletin of the Association of Russian Geographers and Social Scientists*, 2020, no. 9, p. 147–150. (In Russian)
- Pokrovsky N.E., Nefedova T.G. ["Cellular Globalization" and New Trends in Rural Communities of the Middle North], *Novyye idei v sotsiologii* [New ideas in sociology], Zh.T. Toshchenko (ed.), Moscow, UNITY-DANA Publ., 2013, p. 314–339. (In Russian)
- Potentsial Blizhnego Severa: ekonomika, ekologiya, sel'skiye poseleniya [Potential of the Middle North: economy, ecology, rural settlements], N.E. Pokrovsky, T.G. Nefedova (eds.), Moscow, Logos Publ., 2014, 492 p. (In Russian)
- Second Home Tourism in Europe: Lifestyle Issues and Policy Responses, Z. Roca (ed.), Farnham, Ashgate Publishers, 2013, 331 p.
- Second home tourism in Finland, Reports of the Finnish Environment Institute, 2015, 96 p.
- Shchepetkova I.O. Territorialnaya organizatsiya sadovodachnykh obrazovaniy v prigorodakh Permi [Territorial organization of garden and dacha formations in the suburbs of Perm], *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2018, no. 4, p. 46–54. (In Russian)
- Smirnov S.N. [Regional factors of social inequality and its consequences: case study of contemporary Russia], *ekonomicheskiye i sotsial'nyye problemy Rossii: Sb. nauch. trudov*, no. 2, Neravenstvo v sovremennoy mire: ekonomicheskiy i sotsial'nyy aspekty [Economic and social problems of Russia, Collection of scientific works, no. 2, Inequality in the modern world: economic and social aspects], Moscow, Tsentr sotsial. nauch.-inform. issled. INION RAN Publ., 2017, p. 46–66. (In Russian)
- Treyvish A.I. "Dachevedenie" kak nauka o vtorom dome na Zapade i v Rossii ["Dacha Studies" as a Science on Second Home in the West and in Russia], *Izv. Ross. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 4, p. 22–32, DOI: 10.15356/0373-2444-2014-4-22-32. (In Russian)
- Zubarevich N.V., Safronov S.G. Regiony Rossii v ostroj faze koronavirusnogo krizisa: otlichia ot predydushih ekonomicheskikh krizisov 2000-h [Regions of Russia in the acute phase of the COVID crisis: differences from previous economic crises of the 2000s], *Regional'nye issledovaniya*, 2020, no. 2, p. 4–18, DOI: 10.5922/1994-5280-2020-2-1. (In Russian)
- Web sources
- Baza dannykh pokazateley munitsipal'nykh obrazovaniy Rosstat [Rosstat municipalities indicators database], URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/munst.htm> (access date 05.11.2020). (In Russian)
- COVID-19 v Podmoskov'ye 12 iyunya 2020 g. [COVID-19 in the Moscow Region June 12, 2020], URL: <https://covid.mz.mosreg.ru> (access date 25.09.2020). (In Russian)
- Demidova T. "Ne uspevayem prodat'!" Gde v Rossii azhiotazhnyy spros na nedvizhimost' ["We don't have time to sell!" Where is the rush demand for real estate in Russia?], URL: <https://www.cian.ru/stati-ne-uspevaem-prodat-gde-v-rossii-azhiotazhnyy-spros-na-nedvizhimost-308049/>. (In Russian)
- Makhnem ne glyadya: mozhno li pomenyat' kvartiru na kottedzh bez doplaty? [Let's wave without looking: is it possible to change an apartment for a cottage without additional payment?], URL: <https://www.cian.ru/stati-makhnem-ne-gljadja-mozhno-li-pomenjat-kvartiru-na-kottedzh-bez-doplaty-306791/>. (In Russian)
- Sudakova Yu. Spros na "zagorodku" ne spadayet. U stroiteley ocheredi na mesyatsy [Demand for the "fence" does not subside. The builders have a queue for months], URL: <https://www.cian.ru/stati-spros-na-zagorodku-ne-spadaet-u-stroiteley-ocheredi-na-mesyatsy-306891/> (access date 05.11.2020). (In Russian)

Received 02.12.2020

Revised 16.01.2021

Accepted 21.01.2021

УДК 910.3

А.О. Агibalов¹, В.А. Зайцев², А.А. Сенцов³, А.В. Полещук⁴, Е.А. Мануилова⁵

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЛЬЕФА И ЛОКАЛИЗАЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

В работе описан сложный характер взаимосвязи между рельефом и нефтегазоносностью Волго-Уральской антеклизы. Проведенные нами геоморфологические исследования показали, что восточная часть этой структуры, в пределах которой расположено большое количество нефтяных и газовых месторождений, выделяется повышенными значениями следующих морфометрических параметров: 1) разность базисных поверхностей первого и второго порядков, построенных по методике В.П. Философова в масштабе 1:2 500 000; 2) длина водотоков второго порядка; 3) плотность водотоков первого порядка; 4) глубина вертикального расчленения; 5) крутизна склонов; 6) максимальная кривизна поверхности рельефа; 7) плотности линий вытянутости, построенных в программе А.А. Златопольского LESSA. Установлено, что медианные значения этих показателей в пределах месторождений превышают соответствующие величины, рассчитанные для всей территории Волго-Уральской антеклизы, а доверительные интервалы медиан не пересекаются. С помощью автоматизированного анализа цифровой модели рельефа выявлена общая закономерность ориентировок контуров линейно вытянутых месторождений углеводородов и простирааний склонов: она заключается в преобладании двух главных направлений – северо-западного и северо-восточного – и объяснима активизацией диагональной системы планетарной трещиноватости. На наш взгляд, связь рельефа и нефтегазоносности обусловлена характером новейших тектонических движений, влияющих на облик рельефа и миграцию углеводородов. О значимости неотектонических движений как факторов рельефообразования свидетельствует установленная нами приуроченность эпицентров современных землетрясений к участкам, отличающимся повышенной горизонтальной и вертикальной расчлененностью рельефа. Методом компьютерного геодинамического моделирования в программе RMS 2013 компании Rohaг рассчитаны относительные амплитуды сжимающих напряжений, между величинами которых и коэффициентом суммарной эрозивной расчлененности рельефа существует численная корреляция (коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен 0,48). Она достигается в том случае, если в качестве внешней нагрузки задано широтное горизонтальное сжатие. Вероятно, указанный тип напряженного состояния проявляется в новейшее время и связан с влиянием горного сооружения Урала.

Ключевые слова: морфометрический анализ рельефа, нефтегазоносность, геодинамика

Введение. В настоящее время район Волго-Уральской антеклизы достаточно хорошо изучен в геолого-геоморфологическом отношении. Он находится на территории Северорусской и Среднерусской провинций Русской равнины. Северная часть антеклизы располагается на юго-востоке Двинско-Мезенской области, центральная и южная части – в пределах нескольких областей (перечислены с запада на восток): низменности Волжско-Оско-Донского междуречья, Приволжской возвышенности и Ергеней, Низкого и Высокого Заволжья [Щеглов, Громовик, 2017]. Основными макроформами рельефа Волго-Уральской антеклизы являются низменности со средними высотами более 100 м (Камско-Кельтминская, Марийская и другие низины) и возвышенности со средними высотами от 140–180 м

(Вятский Увал, Елабужская) до 300 м и более (Сылвинский кряж и Артинское плато) [Мещеряков, 1972]. Восточнее антеклизы располагаются области развития низко-среднегорного рельефа Урала.

Особый интерес представляет восточная часть антеклизы, в пределах которой расположено большое количество месторождений нефти и газа – Ромашкинское, Арланское, Шкаповское, Оренбургское и др. В ряде работ, например [Горелов, 1972; Морозов и др., 2012], показано, что новейшие тектонические напряжения оказывают влияние на миграцию углеводородов (УВ) и, следовательно, на локализацию месторождений. В то же время неотектонические движения традиционно рассматриваются как один из факторов рельефообразования [Корчуганова, 2007]. В этой связи анализ рельефа Волго-Ураль-

¹ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, VII отделение: Координационно-прогностический центр ИФЗ РАН, лаборатория методов прогноза землетрясений, ст. науч. с., канд. геол.-мин. н.; e-mail: Agibalo@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, зав. лабораторией исследования геокатастроф, канд. геол.-мин. н.; e-mail: v.zaitsev@mail.ru

³ Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН, VII отделение: Координационно-прогностический центр ИФЗ РАН, лаборатория методов прогноза землетрясений, науч. с.; e-mail: alekssencov@yandex.ru

⁴ Геологический институт РАН, отдел тектоники, лаборатория тектоники консолидированной коры, ст. науч. с., канд. геол.-мин. н.; e-mail: anton302@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра динамической геологии, аспирант; e-mail: manuilovaekaterina139@gmail.com

ской антеклизы представляется актуальной и интересной задачей, имеющей не только научное, но и прикладное значение. Вопросы взаимосвязи рельефа и нефтегазоносности этой территории рассматривались разными исследователями. Так, практическая значимость метода В.П. Философова при поиске месторождений нефти и газа в пределах Волго-Уральской антеклизы отмечалась еще его основоположником [Философов, 1960]. В монографии С.К. Горелова [1972] показана приуроченность залежей УВ к крупным положительным морфоструктурам изометричной формы. Расчеты морфометрических параметров для ряда нефтегазоносных структур приведены в работе [Копылов, 2019]. Влияние активных разломов на локализацию зон поступлений УВ проанализировано в статье [Горюнов и др., 2015]. Приуроченность ряда месторождений к кольцевым структурам отмечена в публикации [Судариков, Калинина, 2015]. Оценка перспектив нефтеносности осадочных пород палеозоя по данным неотектонических исследований проводилась М.Н. Мингазовым [2004]. Признаки восполнения запасов УВ, обусловленные новейшими тектоническими движениями, описаны в статьях [Казанцев, Казанцева, 2008; Мингазов и др., 2012].

Проведенный нами морфометрический анализ рельефа позволил дополнить существующие представления о его связи с особенностями расположения месторождений нефти и газа. Новизна выполненных исследований заключается в том, что некоторые из рассмотренных нами морфометрических показателей (например, плотность линий вытянутости) не были изучены другими авторами. Кроме того, анализ взаимосвязи между рельефом и особенностями локализации месторождений УВ был выполнен на количественном уровне с использованием современных данных и средств обработки.

Материалы и методы исследований. Исходными материалами для проведения морфометрического анализа являлась цифровая модель рельефа (ЦМР) разрешением 1 минута [Цифровая..., 2020], схема гидросети масштаба 1:2 500 000 [Цифровые..., 2020] и карта расположения месторождений УВ Волго-Уральской нефтегазоносной провинции [Лозин, 2002]. На основе этих данных проведены расчеты ряда морфометрических показателей рельефа, среди которых в качестве наиболее информативных были выбраны следующие: 1) разность базисных поверхностей первого и второго порядков; 2) длины водотоков второго порядка; 3) плотность водотоков первого порядка; 4) глубина вертикального расчленения; 5) крутизна склонов; 6) максимальная кривизна поверхности рельефа; 7) плотность линий вытянутости. Также нами была составлена схема коэффициента суммарной эрозионной расчлененности рельефа, рассматриваемого в качестве вспомогательного морфометрического показателя. Выбор перечисленных параметров связан с тем, что они опосредованным образом связаны с характером неотектонических движений.

Для расчета первых трех параметров по схеме гидросети было выделено шесть порядков речных долин. Долины, не принимавшие ни одного притока, рассматривались как долины первого порядка, долины второго порядка образовывались при слиянии двух долин первого порядка и т. д. Впадение долин более низкого порядка в долину более высокого порядка не изменяло порядок последней. Для того чтобы составить карту разности изобазит первого и второго порядков, были отмечены базисы эрозии, которым по ЦМР с помощью программы ArcGIS были присвоены значения высот. Затем была проведена интерполяция этих значений на всю рассматриваемую территорию и выполнено вычитание базисной поверхности второго порядка из поверхности первого порядка (рис. 1). Интерпретация построенной карты основана на том, что наибольшие превышения разности базисных поверхностей связаны с областями тектонических поднятий [Философов, 1960].

Одним из вспомогательных морфометрических методов является метод изолонг – линий равной протяженности водотоков определенного порядка. Методика построения схемы изолонг второго порядка (рис. 2) заключалась в том, что серединам соответствующих водотоков были присвоены значения их длин. Согласно [Применение..., 1970], направленность тектонических движений оказывает опосредованное влияние на характер распределения длин водотоков по территории.

Традиционно в практике морфометрических исследований проводят оценку горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа, определяют среднюю крутизну склонов [Симонов, 1999]. Как отмечено в работах [Голодовкин, 1966; Философов, 1967; Нетребин, 2012], эти показатели в ряде случаев отражают направленность неотектонических движений. Участки, отличающиеся более расчлененным рельефом, нередко располагаются в зонах новейших поднятий, могут быть приурочены к зонам повышенной проницаемости, нарушающим новейший структурный план. Для характеристики горизонтальной расчлененности используют коэффициент эрозионного расчленения, определяемого как отношение длин водотоков к единице площади. С помощью программы ArcGIS нами были составлены схемы плотности речных долин разных порядков, среди которых в качестве наиболее информативных выбраны схемы плотности рек первого и первого–шестого порядков. Для расчета глубины вертикального расчленения (J) по методике [Спиридонов, 1975] рассматриваемая территория была разделена на ячейки размерами 70×70 км, в пределах которых определялась разность высот $J = Z_{\max} - Z_{\min}$, где $Z_{\max}$ и $Z_{\min}$ – максимальная и минимальная высоты в ячейке (рис. 3). В пределах тех же расчетных ячеек вычислялись значения максимальной кривизны с помощью модуля Spatial Analyst программы ArcGIS по алгоритму [Zevenbergen, Thorne, 1987], а также определялись значения безразмерного коэффициента суммарной эрозионной расчлененности рельефа (K) по формуле

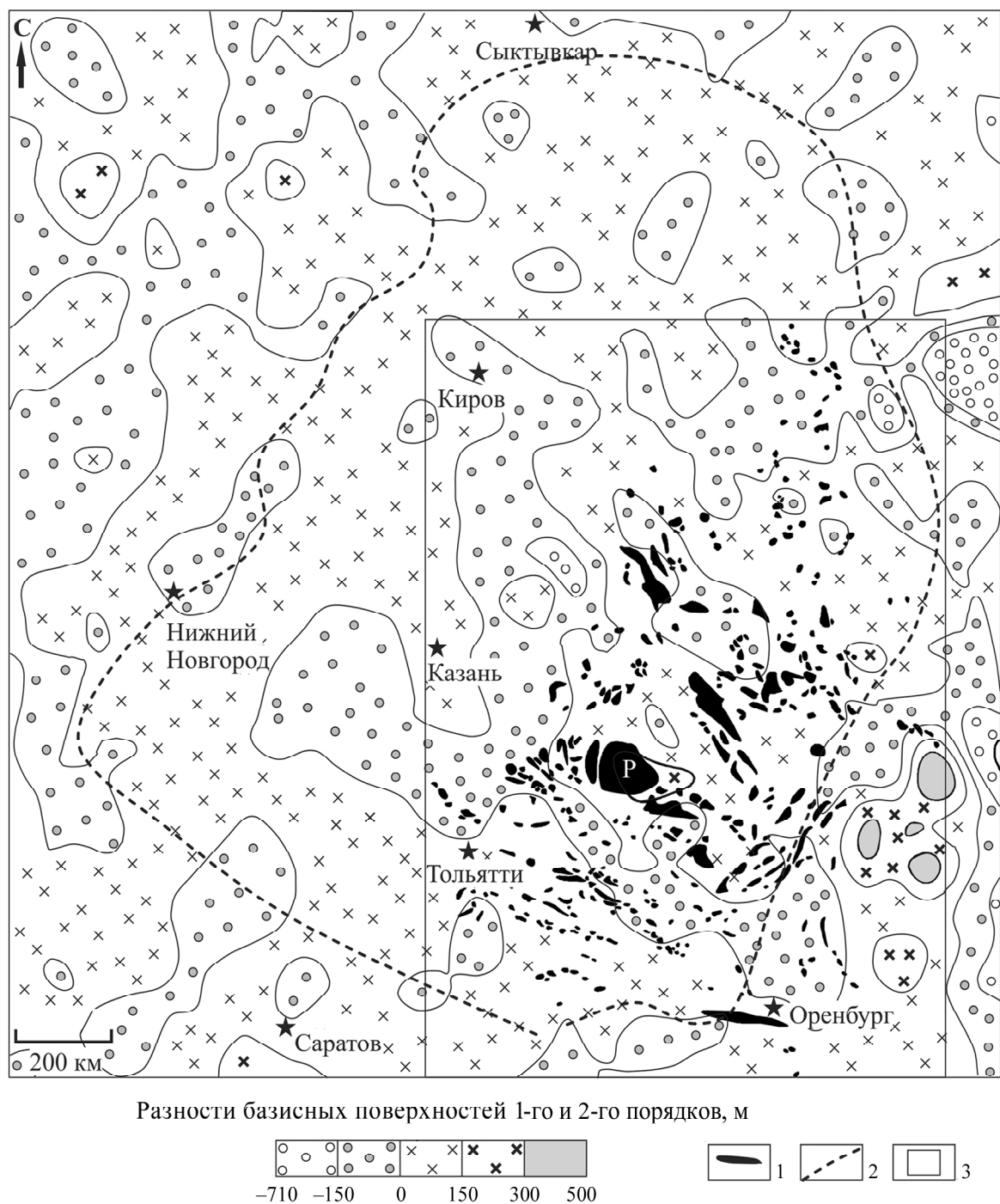


Рис. 1. Схема разности базисных поверхностей первого и второго порядков Волго-Уральской антеклизы: 1 – нефтяные и газовые месторождения (по [Лозин, 2002]); 2 – границы Волго-Уральской антеклизы (по [Гаврилов, 1981]); 3 – контуры локального участка, изученного с большей детальностью; Р – Ромашкинское нефтяное месторождение

Fig. 1. Scheme of the difference between the basal surfaces of the 1st and 2nd orders within the Volga-Ural anteclise: 1 – oil and gas fields (after: [Lozin, 2002]); 2 – the boundaries of the Volga-Ural anteclise (after: [Gavrilov, 1981]); 3 – the contours of the local area studied in greater detail; Р – Romashkinskoye oil field

$$K = \frac{L \cdot J}{S},$$

где L – сумма длин водотоков; J – глубина вертикального расчленения; S – площадь ячейки [Копылов, 2019].
Применение разработанной А.А. Златопольским [2008] программы LESSA, предназначенной для авто-

матизированного анализа ЦМР, позволило рассчитать ряд морфометрических параметров. К ним относятся линии вытянутости, ориентированные вдоль крупных линейных понижений рельефа. С помощью программы ArcGIS нами была построена схема плотности линий вытянутости (рис. 4). Таким образом, повышенные значения этого параметра приурочены к облас-

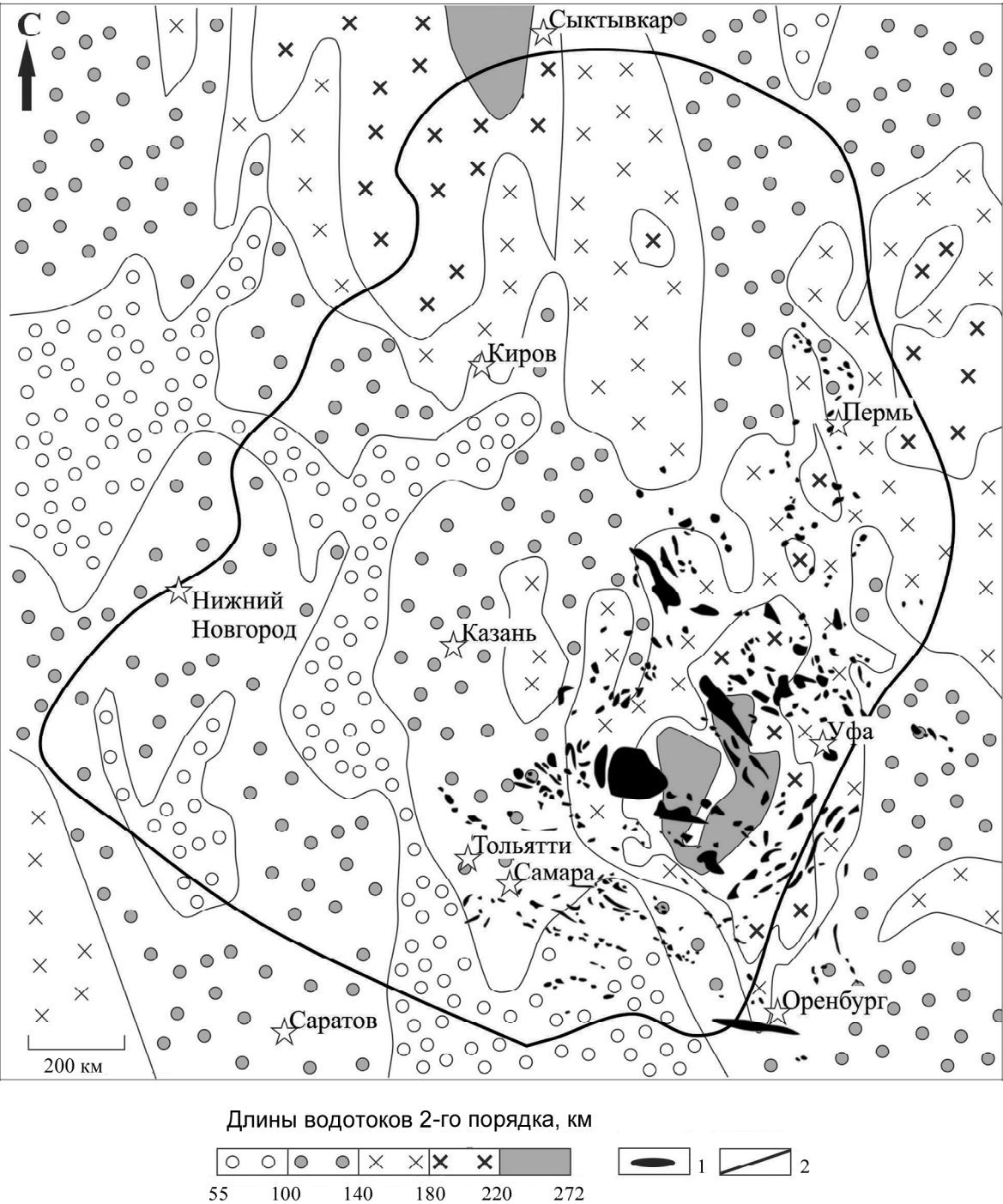


Рис. 2. Схема длин водотоков второго порядка Волго-Уральской антеклизы: 1 – нефтяные и газовые месторождения (по [Лозин, 2002]); 2 – границы Волго-Уральской антеклизы (по [Гаврилов, 1981])

Fig. 2. Scheme of the lengths of the 2nd order watercourses of the Volga-Ural anteclise: 1 – oil and gas fields (after: [Lozin, 2002]); 2 – boundaries of the Volga-Ural anteclise (after: [Gavrilov, 1981])

тям концентрации линейных элементов рельефа, значительная часть которых, как показано в работах [Горюнов и др., 2015; Колодяжный, 2015], приурочена к активным разломам. С целью показать на количественном уровне различия между морфометрическими характеристиками, рассчитанными для всей территории Волго-Уральской антеклизы и в пределах месторождений УВ, нами были определены медианы и квартили

(табл. 1), выполнена интервальная оценка медиан согласно [ГОСТ ..., 2004] (уровень доверия 0,90) (табл. 2). Кроме того, для локального участка, расположенного в восточной части Волго-Уральской антеклизы, нами были построены розы-диаграммы, иллюстрирующие ориентировки длинных осей контуров линейно-вытянутых месторождений УВ [Лозин, 2002], водотоков [Цифровые..., 2020] и направления простира

Таблица 1

Сопоставление морфометрических характеристик рельефа в пределах всей территории Волго-Уральской антеклизы и месторождений УВ

Морфометрические параметры	Значения морфометрических параметров				
	Минимальные	Первый квартиль	Медиана	Третий квартиль	Максимальные
Разности базисных поверхностей первого и второго порядков, м	-711 (-112)	-8 (3)	11 (26)	36 (72)	500 (236)
Длины водотоков второго порядка, км	55 (55)	107 (141)	129 (156)	157 (196)	272 (258)
Плотность водотоков первого порядка, км ⁻¹	0 (0)	1,75 (2,14)	2,73 (3,07)	3,70 (3,90)	8,05 (6,66)
Глубина вертикального расчленения, м	47 (101)	105 (161)	134 (190)	193 (232)	1190 (785)
Крутизна склонов, град.	0 (0)	0,029 (0,096)	0,103 (0,157)	0,184 (0,233)	1,945 (1,014)
Максимальная кривизна рельефа, м ⁻¹	0,0121 (0,0126)	0,0571 (0,0868)	0,0769 (0,1051)	0,1143 (0,1446)	0,6470 (0,4952)
Плотность линий вытянутости, км ⁻¹	0,10 (3,68)	9,56 (11,39)	13,72 (15,30)	19,19 (21,15)	60,01 (49,13)

Примечание. Для территории месторождений значения морфометрических параметров приведены в круглых скобках.

Таблица 2

Доверительные интервалы медиан морфометрических параметров (уровень доверия 0,90)

Морфометрические параметры	Доверительный интервал медианы	
	Нижняя граница	Верхняя граница
Разности базисных поверхностей первого и второго порядков, м	11,12 (24,41)	11,50 (27,15)
Длины водотоков второго порядка, км	127,22 (156,36)	127,61 (157,84)
Плотность водотоков первого порядка, км ⁻¹	2,72 (3,03)	2,74 (3,09)
Глубина вертикального расчленения, м	133,58 (189,07)	134,32 (191,79)
Крутизна склонов, град.	0,102 (0,155)	0,104 (0,160)
Максимальная кривизна, м ⁻¹	0,0766 (0,1046)	0,0772 (0,1057)
Плотность линий вытянутости, км ⁻¹	13,68 (15,13)	13,77 (15,56)

Примечание. Для территории месторождений значения морфометрических параметров приведены в круглых скобках.

Rohar, позволившее выделить участки, в пределах которых достигаются наибольшие относительные величины сжимающих напряжений, и оконтурить области наиболее вероятного формирования новых разрывов малой протяженности. Исходными данными для моделирования служили ЦМР [Цифровая..., 2020] и составленная по методике Н.П. Костенко [1999] схема блоковой делимости [Мошкин и др., 2019]. На первом этапе по высотам рельефа была построена поверхность в формате grid. После этого на нее были нанесены наиболее протяженные и хорошо выраженные в рельефе «слабые» зоны, выделенные в работе [Мошкин и др., 2019] и рассматриваемые как вертикальные неоднородности. На третьем этапе были заданы осредненные характе-

ристики среды (коэффициенты Пуассона и внутреннего трения) и указан тип новейшего напряженного состояния. Нами были построены несколько моделей, отличающихся ориентировками главных нормальных осей напряжений, а в качестве наиболее достоверной была выбрана та, для которой достигается наибольшая согласованность рассчитанных с помощью моделирования параметров и реальных характеристик геолого-географической среды. При построении этой модели предполагалось, что на территории Волго-Уральской антеклизы преобладают сдвиговые деформации при ориентировке оси максимального сжатия по азимуту 90°. Обоснованность этого предположения подтверждается данными М.Л. Коппа и его коллег [Копп и др., 2017]. Физико-

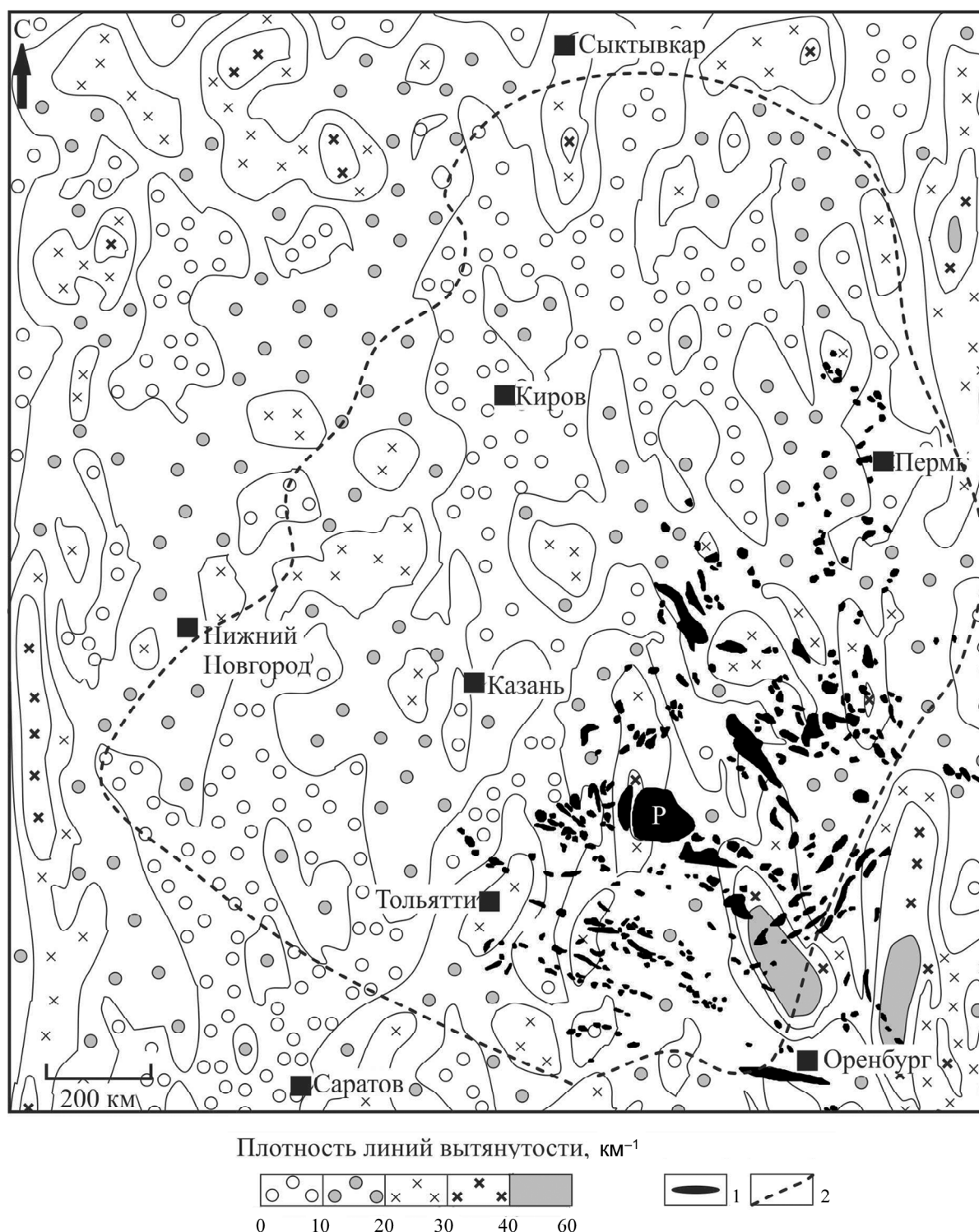


Рис. 4. Схема плотности линий вытянутости Волго-Уральской антеклизы: 1 – нефтяные и газовые месторождения (по [Лозин, 2002]); 2 – границы Волго-Уральской антеклизы (по [Гаврилов, 1981]); Р – Ромашкинское нефтяное месторождение

Fig. 4. Scheme of the density of the elongation lines of the Volga-Ural anteclise: 1 – oil and gas fields (after: [Lozin, 2002]); 2 – boundaries of the Volga-Ural anteclise (after: [Gavrilov, 1981]); Р – Romashkinskoye oil field

математической основой проведения расчетов в программе RMS 2013 является использование закона Кулона–Мора [Analysis..., 2020].

Результаты исследований и их обсуждение. Проведенные исследования показали наличие взаи-

мосвязи между рядом морфометрических параметров и особенностями локализации месторождений УВ Урала (см. рис. 1). Было установлено наличие локальных максимумов перечисленных в табл. 1 семи морфометрических параметров, приуроченных

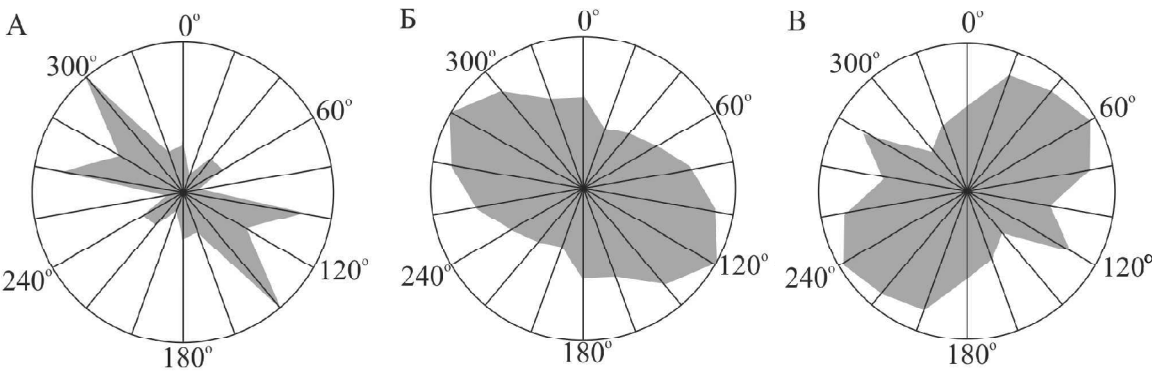
к юго-восточной части Волго-Уральской антеклизы, в пределах которой располагаются месторождения нефти и газа (см. рис. 1–4). В табл. 2 показано, что доверительные интервалы для медианных значений морфометрических показателей, определенных для всей территории антеклизы и в пределах месторождений УВ, не пересекаются. Таким образом, область, в пределах которой находится большое количество месторождений УВ, выделяется по комплексу морфометрических данных.

Для локального участка, расположенного в восточной части антеклизы, построены розы-диаграммы, характеризующие ориентировки длинных осей контуров линейно вытянутых месторождений УВ, водотоков и направлений простирания склонов (см. рис. 5). Большая часть удлинённых месторождений ориентирована в северо-западных румбах, статистически значимым является также северо-восточное направление, в то время как ортогональные (субширотное и субмеридиональное) направления выражены слабо. Среднее круговое значение составляет 310° . Большинство склонов также простирается в северо-западном направлении, а среднее круговое значение равно 319° . Преобладают водотоки, ориентированные в северо-восточном направлении, вторым по значимости является северо-западное направление, среднее круговое значение – 47° . Несоответствие ориентировок склонов и водотоков связано с тем, что при построении роз-диаграмм рассматривались достаточно крупные водотоки, показанные на схеме гидросети масштаба 1:2 500 000, учитывались данные об экспозиции всех склонов, в том числе и небольших, связанных с оврагами, притоками рек и т. п. Обобщая приведенные данные можно сделать вывод о том, что на территории Волго-Уральской антеклизы выделяются два главных направления линейных форм рельефа – северо-западное и северо-восточное, которые хорошо видны на розе-диаграмме, иллюстрирующей ориентировки контуров удлинённых месторождений УВ. По мнению А.А. Драгунова [2005], выделявшего в пределах Волго-Уральской нефтегазосной провинции геодинамически активные зоны преимущественно северо-западного и северо-восточного простираний, эта особенность может быть связана с активизацией диагональной системы планетарной трещиноватости.

На наш взгляд, наиболее вероятной причиной взаимосвязи рельефа и особенностей локализации месторождений УВ являются неотектонические движения. Данные компьютерного моделирования показали, что наибольшие величины сжимающих напряжений достигаются в восточной части изучаемого района. Она отличается повышенной сейсмичностью (см. рис. 3) и высокими значениями коэффициента суммарной эрозионной расчлененности рельефа, максимальные величины которого на территории Волго-Уральской антеклизы западнее показанного на рис. 5 участка не превышают 12×10^{-4} . Коэффициент ранговой корреляции Спирмена между относительными величинами сжимающих напря-

жений и коэффициентом суммарной эрозионной расчлененности рельефа составляет 0,48. Оценка значимости коэффициента корреляции выполнена по таблице Стьюдента.

По нашему мнению, для характеристики неотектонических движений Волго-Уральской антеклизы по рассчитанным морфометрическим параметрам последние можно разделить на две группы. К первой относятся разности базисных поверхностей, глубина вертикального расчленения, крутизна склонов и максимальная кривизна рельефа. Эти параметры являются наиболее информативными для оценки направленности вертикальных движений. Максимальные значения разности базисных поверхностей первого-второго порядков и глубины вертикального расчленения приурочены к краевой части испытывающего активное воздымание горного сооружения Урала (см. рис. 1, 3). В пределах Волго-Уральской антеклизы значения разности базисных поверхностей изменяются от –711 до 500 м (см. рис. 1), что свидетельствует о сложном дифференцированном характере новейших движений. Эти данные согласуются с результатами геоморфолого-неотектонического районирования: согласно [Карта..., 1980; Panina, Zaitsev, 2019], в новейшей структуре антеклизы выделяется большое количество разно-ранговых поднятий и впадин, осложненных линейментами и активными разломами. Интересно отметить, что северо-западная часть Волго-Уральской антеклизы отличается меньшими глубинами вертикального расчленения по сравнению с юго-восточной, где, по-видимому, происходили более интенсивные восходящие новейшие движения (см. рис. 2). Такое предположение согласуется с картой изобаз [Физико-географический..., 1964], согласно которой в северо-западной части Волго-Уральской антеклизы амплитуды новейших поднятий составляют 0–100 м, а в юго-восточной достигают 200–300 м. Распределения глубины вертикального расчленения, крутизны склонов и максимальной кривизны рельефа по территории отличаются рядом общих особенностей: коэффициент корреляции Спирмена между значениями глубины вертикального расчленения и крутизны склонов равен 0,59; между значениями глубины вертикального расчленения и максимальной кривизны рельефа – 0,86. Оценка значимости этих коэффициентов корреляции выполнена по таблице Стьюдента. Вторая группа морфометрических параметров включает длины водотоков второго порядка, плотность водотоков первого порядка и плотность линий вытянутости. На наш взгляд, они имеют вспомогательное значение для характеристики новейших движений рассматриваемой территории и отражают особенности пространственного рисунка (густоту, ориентировку) зон трещиноватости, которые прорабатываются гидросетью. В то же время для других районов эти параметры (например, длины водотоков разных порядков [Хубаева, 2003]) могут быть более информативными и использоваться для оконтуривания областей новейших поднятий и впадин.



Выводы:

– на количественном уровне показана взаимосвязь между семью морфометрическими параметрами рельефа (разностями базисных поверхностей первого и второго порядков, длинам водотоков второго порядка, плотностью водотоков первого порядка, глубины вертикального расчленения, крутизны склонов, максимальной кривизны поверхности рельефа, плотностью линий вытянутости) и особенностями локализации нефтяных и газовых месторождений Волго-Уральской антеклизы. Рассчитанные для территории месторождений медианные значения этих показателей превышают соответствующие величины, определенные для всей территории антеклизы;

– установлено сходство ориентировок контуров линейно-вытянутых месторождений и линейных элементов рельефа, заключающееся в преобладании северо-западного и северо-восточного направлений простираения склонов и длинных осей месторождений УВ;
– наиболее вероятной причиной взаимосвязи рельефа и нефтегазоносности являются неотектонические процессы. По результатам проведенного нами компьютерного геодинамического моделирования они происходят в сдвиговом поле напряжений при ориентировке оси сжатия в широтном направлении, а максимальные величины сжимающих напряжений достигаются в восточной части Волго-Уральской антеклизы, отличающейся повышенной расчлененностью рельефа и современной сейсмичностью.

Благодарности. Исследования проведены в рамках Госзадания ИФЗ РАН (А.О. Агибалов, А.А. Сенцов), НИР «Новейшая геодинамика и ее влияние на фильтрационные свойства геологической среды» (В.А. Зайцев, Е.А. Мануилова) и темы Госзадания ГИН РАН № 0135-2019-0047 (А.В. Полещук).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гаврилов В.П. Как устроены и чем богаты наши недра. М.: Недра, 1981. 191 с.

Голодовкин В.Д. Опыт применения карты расчлененности рельефа для прогноза тектонического строения южной части Куйбышевской области // Геоморфологические методы при нефтегазопроисловых работах. М.: Наука, 1966. С. 126–128.

Горелов С.К. Морфоструктурный анализ нефтегазоносных территорий (на примере юго-востока Русской равнины). М.: Наука, 1972. 206 с.

Горюнов Е.Ю., Игнатов П.А., Климентьева Д.Н., Халиков А.Н., Кравченко М.Н. Проявления современных подтоков углеводородов в нефтегазоносные комплексы на территории Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Геология нефти и газа. 2015. № 5. С. 62–69.

Драгунов А.А. Комплексное изучение геодинамически активных зон земной коры с использованием материалов дистанционных и геофизических исследований в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции: дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Казань, 2005. 182 с.

Златопольский А.А. Методика измерения ориентационных характеристик данных дистанционного зондирования (технология LESSA) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2008. Вып. 5. Т. 1. С. 102–112.

Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Современная геодинамика и нефтенакопление // Геология. 2008. № 12. С. 76–83.

Карта геоморфолого-неотектонического районирования нечерноземной зоны РСФСР. Масштаб 1:1 500 000 / гл. ред. В.И. Бабак. М.: ГУГК СССР, 1980.

Колодяжный С.Ю. Структура и эволюция Сурско-Камской зоны сдвига в кайнозой (Волго-Уральская антеклиза Восточно-Европейской платформы) // Геотектоника. 2015. № 4. С. 30–53.

Конн М.Л., Колесниченко А.А., Макарова Н.В. Структурно-кинематический анализ рисунков гидросети для реконструкции и датирования новейших палеонапряжений в платформах (восток Русской плиты) // Бюллетень МОИП. Отдел геологический. 2017. Т. 92. Вып. 5. С. 33–49.

Копылов И.С. Морфонеотектоническая система оценки геодинамической активности. Пермь: Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского университета, 2019. 131 с.

Корчуганова Н.И. Новейшая тектоника с основами современной геодинамики. М.: Геокарт; ГЕОС, 2007. 353 с.

Костенко Н.П. Геоморфология. М.: МГУ, 1999. 379 с.

Лозин Е.В. Глубинное строение и нефтегазоносность Волго-Уральской области и смежных территорий // Литосфера. 2002. № 3. С. 46–68.

Мардиан К. Статистический анализ угловых наблюдений. М.: Наука, 1978. 240 с.

Мещеряков Ю.А. Рельеф СССР (Морфоструктура и морфоскульптура). М.: Мысль, 1972. 518 с.

Мингазов М.Н. Оценка перспектив нефтеносности осадочной толщи палеозоя на основе неотектонических исследований (на примере месторождений республики Татарстан): дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Казань, 2004. 237 с.

Рис. 5. Сопоставление схем коэффициента суммарной эрозионной расчлененности рельефа (К) (слева) и рассчитанных с помощью компьютерного моделирования относительных величин сжимающих напряжений (справа): 1 – «слабые» зоны; 2 – границы Волго-Уральской антеклизы (по [Гаврилов, 1981]). Вверху показаны розы-диаграммы, иллюстрирующие ориентировку линейно-вытянутых контуров месторождений нефти и газа (А), направления простираения склонов (Б) и водотоков (В)

Fig. 5. Comparison of the coefficient of total erosional dissection of the relief (K) (left) and the relative values of compressive stresses calculated using computer modeling (right): 1 – "weak" zones; 2 – the boundaries of the Volga-Ural antecline (after: [Gavrilov, 1981]). The above rose diagrams illustrate the orientation of linearly elongated contours of oil and gas fields (A), and the direction of the slopes trends (B) and streams (B)

Мингазов М.Н., Стриженов А.А., Мингазов Б.М. Неотектонические аспекты глубинной дегазации геоструктур Татарстана // Георесурсы. 2012. № 5. С. 51–55.

Морозов В.Н., Каган А.И., Колесников И.Ю., Татаринов В.Н. Прогнозирование мест локализации углеводородов в градиентных полях тектонических напряжений // Экспозиция Нефть Газ. 2012. № 5. С. 57–60.

Мошкин И.В., Фадеева Т.И., Зайцев В.А. Трехмерное компьютерное моделирование Предуральского краевого прогиба // Динамическая геология. 2019. № 3. С. 70–79.

Нетребин П.Б. Морфометрический анализ рельефа Большого Кавказа: дисс. ... канд. геогр. наук. Краснодар: Кубанский государственный университет, 2012. 227 с.

Применение геоморфологических методов в структурно-геологических исследованиях / под ред. И.П. Герасимова. М.: Недра, 1970. 293 с.

Симонов Ю.Г. Объяснительная морфометрия рельефа. М.: ГЕОС, 1999. 251 с.

Спирidonov А.И. Геоморфологическое картографирование. М.: Недра, 1975. 184 с.

Судариков В.Н., Калинина О.Н. Дешифрирование южной части Волго-Уральской антеклизы по мелкомасштабным космическим снимкам // Вестник Оренбургского гос. ун-та. 2015. № 1. С. 181–186.

Физико-географический атлас мира. М.: АН и ГУГК СССР, 1964. 300 с.

Философов В.П. Методика вычисления и геолого-геоморфологическая интерпретация коэффициента расчлененности рельефа // Вопросы морфометрии. 1967. Т. 1. Вып. 2. С. 112–146.

Философов В.П. Краткое руководство по морфометрическому методу поисков тектонических структур / под ред. А.А. Корженевского. Саратов: Изд-во Саратовского ун-та, 1960. 91 с.

Хубаева О.Р. Морфоструктурный анализ долины реки Паратунки по данным морфометрических методов // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 1. С. 141–146.

Щеглов Д.И., Громовик А.И. Основы геоморфологии. Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2017. 178 с.

Panina L.V., Zaitsev V.A. The Influence of the Basement on the Formation of the Newest Structure of the East European Platform, *Moscow University Geology Bulletin*, 2019, vol. 74, no. 4, p. 342–348, DOI: 10.3103/S0145875219040100.

Zevenbergen L.W., Thorne C.R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography, *Earth Surface Processes and Landforms*, 1987, vol. 12, p. 47–56.

Электронные ресурсы

ГОСТ Р ИСО 16269-7-2004. Статистические методы. Статистическое представление данных. Медиана. Определение точечной оценки и доверительных интервалов. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035332> (дата обращения 07.12.2020).

Analysis Package Reservoir Modelling System (RMS): Руководство пользователя. URL: www.geodisaster.ru/index.php?page=uchebnye-posobiya-2 (дата обращения 07.12.2020).

Сейсмологический каталог Американской геологической службы. URL: www.earthquake.usgs.gov (дата обращения 07.12.2020а).

Сейсмологический каталог Единой геофизической службы РАН. URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/catalog/> (дата обращения 07.12.2020б).

Цифровая модель рельефа. URL: https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi (дата обращения 07.12.2020).

Цифровые топографические основы. URL: <https://vsegei.ru/ru/info/topo/> (дата обращения 07.12.2020).

Поступила в редакцию 21.08.2020

После доработки 05.11.2020

Принята к публикации 21.01.2021

A.O. Agibalov¹, V.A. Zaitsev², A.A. Sentsov³,
A.V. Poleshchuk⁴, E.A. Manuilova⁵

MORPHOMETRIC PARAMETERS OF RELIEF AND LOCALIZATION OF HYDROCARBON DEPOSITS WITHIN THE VOLGA-URAL ANTECLISE

The paper describes a complicated relationship between the relief and the oil and gas occurrence within the Volga-Ural antecline. Our geomorphologic studies have shown that the eastern part of the structure, with a large number of oil and gas fields, is marked by increased values of the following morphometric parameters: 1) the difference between the base surfaces of the first and second orders, constructed according to V.P. Filosofov's method at the scale of 1:2 500 000; 2) the length of watercourses of the second order; 3) the density of watercourses of the first order; 4) the depth of the vertical dissection; 5) the steepness of slopes; 6) the maximum curvature of the relief surface; 7) the density of the elongation lines constructed in the A.A. Zlatopolsky's LESSA program. It was found that the median values of these parameters within oil and gas fields exceed the corresponding values calculated for the entire territory of the Volga-Ural antecline, and the confidence intervals of the medians do not overlap. Using the automated analysis of the digital terrain model, a general pattern of orientations of linearly elongated oil and gas fields

¹ Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Department VII: Coordination and Prognostic Center, Earthquake prediction methods laboratory, Senior Scientific Researcher, PhD in Geology and Mineralogy; e-mail: Agibalo@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Department of Dynamic Geology, Head of the Section of Geocatastrophe Research, PhD in Geology and Mineralogy; e-mail: v.zaitsev@mail.ru

³ Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS, Department VII: Coordination and Prognostic Center, Earthquake prediction methods laboratory, Scientific Researcher; e-mail: alekssencov@yandex.ru

⁴ Geological Institute RAS, Tectonics Department, Consolidated Crust Tectonics Laboratory, Senior Scientific Researcher, PhD in Geology and Mineralogy; e-mail: anton302@mail.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, Department of Dynamic Geology, postgraduate student; e-mail: manuilovaekaterina139@gmail.com

and slopes is revealed. The predominance of two main directions – north-west and north-east could be explained by the activation of the diagonal system of planetary fracturing. In our opinion, the relationship between the relief and oil and gas fields is due to the features of the recent tectonic movements influencing the shape of relief and the migration of hydrocarbons. The significance of neotectonic movements as factors of relief formation is evidenced by the fact that the epicenters of modern earthquakes are confined to the areas of increased horizontal and vertical dissection of relief. The relative amplitudes of compressive stresses were calculated using computer geodynamic modeling in the Roxar's RMS 2013 program. There is a numerical correlation between their values and the coefficient of total erosion dissection of the relief with the Spearman's rank correlation coefficient being 0,48. It is achieved if the latitudinal horizontal compression is set as an external load. Probably, this type of stress state manifests itself in recent times and is associated with the influence of the Urals mountain structure.

Key words: morphometric analysis of relief, oil and gas occurrence, geodynamics

Acknowledgements. The research was done under the state program tasks of the Schmidt Institute of Physics of the Earth RAS (A.O. Agibalov, A.A. Sentsov), the research project "Recent geodynamics and its influence on the filtration properties of the geological environment" (V.A. Zaitsev, E.A. Manuilova) and the state program task no. 0135-2019-0047 (GIN RAS) (A.V. Poleshchuk).

REFERENCES

- Dragunov A.A. *Kompleksnoye izucheniye geodinamicheskikh aktivnykh zon zemnoy kory s ispol'zovaniyem materialom distantsionnykh i geofizicheskikh issledovaniy v Volgo-Ural'skoy neftegazonosnoy provintsii* [Comprehensive study of active geodynamic zones of the earth's crust using the material of remote sensing and geophysical studies in the Volga-Ural oil and gas province], PhD dissertation in Geology and Mineralogy, Kazan, 2005, 182 p. (In Russian)
- Filosofov V.P. *Kratkoye rukovodstvo po morfometricheskoy metodу poiskov tektonicheskikh struktur* [A short guide to the morphometric method of prospecting for tectonic structures], A.A. Korzhenevsky (ed.), Saratov, Izd. Saratovskogo un-ta, 1960, 91 p. (In Russian)
- Filosofov V.P. [Calculation method and geological-geomorphologic interpretation of the relief dissection coefficient], *Voprosy morfometrii* [Questions of morphometry], 1967, vol. 1, no. 2, p. 112–146. (In Russian)
- Fiziko-geograficheskij atlas mira [Physical-geographical atlas of the world], Moscow, Academy of Sciences and GUGK USSR Publ., 1964, 300 p.
- Gavrilov V.P. *Kak ustroeny i chem bogaty nashi nedra* [The structure and wealth of the entrails of the Earth], Moscow, Nedra Publ., 1981, 191 p. (In Russian)
- Golodovkin V.D. [Experience of using a map of the rugged relief for predicting the tectonic structure of the southern part of the Kuibyshev region] *Geomorfologicheskie metody pri neftegazoposkovykh rabotakh* [Geomorphological methods for oil and gas exploration], Moscow, Nauka Publ., 1966, p. 126–128. (In Russian)
- Gorelov S.K. *Morfostrukturnyy analiz neftegazonosnykh territoriy (na primere yugo-vostoka Russkoy ravniny)* [Morphostructural analysis of oil and gas territories (case study of the southeast of the Russian Plain)], Moscow, Nauka Publ., 1972, 206 p. (In Russian)
- Goryunov E.Yu., Ignatov P.A., Klimentieva D.N., Khalikov A.N., Kravchenko M.N. The show of present hydrocarbon inflow into oil and gas complexes in the Volga-Ural oil and gas province, *The geology of oil and gas*, 2015, vol. 5, p. 62–69.
- Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T. *Sovremennaya geodinamika i neftenakopleniye* [Modern geodynamics and oil accumulation], *Geologiya*, 2008, vol. 12, p. 76–83. (In Russian)
- Khubaeva O.R. *Morfostrukturnyy analiz doliny reki Paratunki po dannym morfometricheskikh metodov* [Morphostructural analysis of the Paratunka river valley based on the data of morphometric methods], *Vestnik KRAUNC. Nauki o Zemle*, 2003, vol. 1, p. 141–146. (In Russian)
- Kolodyazhnyi S.Yu. The Structure and Evolution of the Sura-Kama Strike-Slip Zone in the Cenozoic (the Volga-Ural Antecline of the East European Platform), *Geotectonics*, 2015, vol. 4, p. 30–53, DOI: 10.7868/S0016853X15040049.
- Kopp M.L., Kolesnichenko A.A., Makarova N.V. *Strukturno-kinematicheskyy analiz risunkov gidroseti dlya rekonstruktsii i datirovaniya noveyshikh paleonapryazheniy v platformakh (vostok Russkoy plity)* [Structural-kinematic analysis of hydraulic network patterns for reconstruction and dating of the latest paleostresses in platforms (east of the Russian Plate)], *Byulleten MOIP. Otdel geologicheskoy*, 2017, vol. 92, no. 5, p. 33–49. (In Russian)
- Kopylov I.S. *Morfoneotektonicheskaya sistema otsenki geodinamicheskoy aktivnosti* [Morphoneotectonic system for assessing geodynamic activity], Perm: Izdatel'skiy tsentr Permskogo gosudarstvennogo natsional'nogo issledovatel'skogo universiteta, 2019, 131 p. (In Russian)
- Korchuganova N.I. *Noveyshaya tektonika s osnovami sovremennoy geodinamiki* [Recent tectonics with the foundations of modern geodynamics], Moscow, Geokart, GEOS Publ., 2007, 353 p.
- Kostenko N.P. *Geomorfologiya* [Geomorphology], Moscow, MGU Publ., 1999, 379 p. (In Russian)
- Lozin Ye.V. *Glubinnoye stroeniye i neftegazonosnost' Volgo-Ural'skoy oblasti i smezhnykh territoriy* [Deep structure and oil and gas content of the Volga-Ural region and adjacent territories], *Litosfera*, 2002, vol. 3, p. 46–68. (In Russian)
- Map of geomorphological-neotectonic zoning of the non-black earth zone of the RSFSR. Scale 1 500 000, V.I. Babak (ed.), Moscow, GUGK USSR, 1980.
- Mardia K. *Statisticheskyy analiz uglovykh nablyudeniy* [Statistical analysis of angular observations], Moscow, Nauka Publ., 1978, 240 p. (In Russian)
- Meshcheryakov Yu.A. *Rel'ef SSSR (Morfostruktura i morfoskopirovaniye)* [Relief of the USSR (Morphostructure and morphosculture)], Moscow, Mysl' Publ., 1972, 518 p. (In Russian)
- Mingazov M.N. *Otsenka perspektiv neftenosnosti osadochnoy tolshchi paleozoya na osnove neotektonicheskikh issledovaniy (na primere mestorozhdeniy respubliky Tatarstan)* [Assessment of the oil-bearing prospects of the Paleozoic sedimentary strata on the basis of neotectonic studies (case study of the fields in the Republic of Tatarstan)], PhD dissertation in Geology and Mineralogy, Kazan, 2004, 237 p. (In Russian)
- Mingazov M.N., Strizhenok A.A., Mingazov B.M. *Neotektonicheskiye aspekty glubinnoy degazatsii geostruktur Tatarstana* [Neotectonic aspects of deep degassing of the geostructures of Tatarstan], *Georesursy*, 2012, vol. 5, p. 51–55. (In Russian)
- Morozov V.N., Kagan A.I., Kolesnikov I.Yu., Tatarinov V.N. *Prognozirovaniye mest lokalizatsii uglevodородov v gradiyentnykh polyakh tektonicheskikh napryazheniy* [Prediction of hydrocarbon

areas localization in gradient fields of tectonic stresses], *Ekspozitsiya Nefti Gaz.*, 2012, vol. 5, p. 57–60. (In Russian)

Moshkin I.V., Fadeyeva T.I., Zaytsev V.A. Trekhmernoye komp'yuternoye modelirovaniye Predural'skogo krayevogo progiba [3D computer modeling of the Ural foredeep], *Dinamicheskaya geologiya*, 2019, vol. 3, p. 70–79. (In Russian)

Netrebin P.B. *Morfometricheskij analiz rel'efa Bol'shogo Kavkaza* [Morphometric analysis of the relief of the Greater Caucasus], PhD dissertation, Krasnodar, Kubanskij gosudarstvennyj universitet, 2012, 227 p. (In Russian)

Panina L.V., Zaitsev V.A. The Influence of the Basement on the Formation of the Newest Structure of the East European Platform, *Moscow University Geology Bulletin*, 2019, vol. 74, no. 4, p. 342–348, DOI: 10.3103/S0145875219040100.

Primenenie geomorfologicheskikh metodov v strukturno-geologicheskikh issledovaniyah [Application of geomorphologic methods in structural-geological research], I.P. Gerasimov (ed.), Moscow, Nedra Publ., 1970, 293 p. (In Russian)

Shcheglov D.I., Gromovik A.I. *Osnovy geomorfologii* [Fundamentals of Geomorphology], Voronezh, Izdatel'skij dom VGU, 2017, 178 p. (In Russian)

Simonov Yu.G. *Ob'yasnitel'naya morfometriya rel'yefa* [Explanatory morphometry of the relief], Moscow, GEOS Publ., 1999, 251 p. (In Russian)

Spiridonov A.I. *Geomorfologicheskoye kartografirovaniye* [Geomorphologic mapping], Moscow, Nedra Publ., 1975, 184 p. (In Russian)

Sudarikov V.N., Kalinina O.N. *Deshifirovaniye yuzhnoy chasti Volgo-Ural'skoy anteklizy po melkomasshtabnym kosmicheskim snimkam* [Interpretation of the southern part of

the Volga-Ural anteclise using small-scale satellite images], *Vestn. Orenburgskogo gos. un-ta*, 2015, vol. 1, p. 181–186. (In Russian)

Zevenbergen L.W., Thome C.R. Quantitative Analysis of Land Surface Topography, *Earth Surface Processes and Landforms*, 1987, vol. 12, p. 47–56.

Zlatopolsky A.A. [Technique for measuring the orientation characteristics of remote sensing data (LESSA technology)], *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern issues of the Earth's remote sensing from the space], 2008, vol. 5, no. 1, p. 102–112. (In Russian)

Web sources

Analysis Package Reservoir Modeling System (RMS) User Manual, 2020, URL: www.geodisaster.ru/index.php?page=uchebnye-posobiya-2 (access date 07.12.2020).

Digital Elevation Model, 2020, URL: https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi (access date 07.12.2020).

Digital Topographic Foundations, 2020, URL: <https://vsegei.ru/ru/info/topo/> (access date 07.12.2020).

GOST R ISO 16269-7-2004. Statisticheskie metody. Statisticheskoe predstavlenie dannyh. Mediana. Opredelenie tochechnoj ocenki i doveritel'nyh intervalov [Statistical methods. Statistical presentation of data. Median. Determination of the point estimate and confidence intervals], URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035332> (access date 07.12.2020). (In Russian)

Seismological Catalog of the American Geological Survey, 2020a, URL: www.earthquake.usgs.gov (access date 07.12.2020).

Seismological catalog of the Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, 2020b, URL: <http://www.ceme.gsras.ru/new/catalog/> (access date 07.12.2020).

Received 21.08.2020

Revised 05.11.2020

Accepted 21.01.2021

УДК 581.55

И.М. Микляева¹, Т.Ю. Каримова², М.В. Бочарников³, Г.Н. Огуреева⁴, Л. Жаргалсайхан⁵

ДИНАМИКА СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ СТЕПНЫХ СООБЩЕСТВ ВОСТОЧНОЙ МОНГОЛИИ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Исследование восточномонгольских степей трехковыльной формации (*Stipa grandis*, *S. krylovii*, *S. sibirica*) выполнено в 2008–2019 гг. на 11 пробных площадях в 100 м², расположенных по трансекту на межсочной равнине к югу от долины р. Керулен. Структурная организация степных сообществ рассмотрена в качестве критерия равновесного состояния экосистем при изменении климатических условий. Ее определяют соотношение жизненных форм – биоморфологических типов растений, выделенных по приспособлениям к вегетативному возобновлению и разрастанию (вегетативно-подвижные; разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные; вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся), и биоморфологических групп (дерновинные, стержнекорневые, корневищные, корнеотпрысковые, одно-двулетние), а также состав доминантов и видовая насыщенность сообществ. Установлены диапазоны изменения биоклиматических показателей в годы наблюдений в сравнении со средними многолетними значениями (1962–1990), выявлены устойчивые сочетания жизненных форм растений и отклонения в структурной организации сообществ. Межгодовые различия в структуре сообществ проверены статистически (дисперсионный анализ, критерий Краскела–Уоллиса).

По изменению условий влагообеспеченности (количество осадков за май–июль – месяцы с максимальным накоплением фитомассы) и отклонению от среднеевропейских значений, принятых за 100%, годы наблюдений отнесены к трем группам: засушливые (<100 мм, <70%); средние (100–190 мм, 70–130%); влажные (>190 мм, >130%). Годы с повышенным увлажнением характеризуются максимальными значениями летнего и майско-летнего омбротермического индекса, годы с недостаточным увлажнением и относительно низкой теплообеспеченностью – минимальными.

В годы со средними условиями увлажнения отмечены большие значения видового богатства и участия видов всех биоморфологических типов. Они наиболее благоприятны для развития степных сообществ. Видовое разнообразие разрастающихся вегетативно-слабоподвижных видов снижается в годы с засушливыми условиями, а вегетативно-неподвижных и неразрастающихся – в годы с влажными условиями. Годы с разными условиями увлажнения значимо различаются также по проективному покрытию аутохтонных асектаторов (*Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum*, *Potentilla acaulis*) и эдификаторов дигрессивных (*Artemisia frigida*). Однако на протяжении всего периода исследований сохраняется флоро-ценотическое ядро сообществ, обеспечивающее их устойчивость (25 многолетних видов с высоким постоянством в сообществах).

Структурная организация трехковыльных степей, выраженная в разнообразии видового состава и фитоценотической роли видов разных биоморфологических типов и групп, определяет природный потенциал степных экосистем.

Ключевые слова: степные экосистемы, биоморфологические типы, флоро-ценотическое ядро, климатические параметры

Введение. Изменение метеорологических условий в разные годы – количества атмосферных осадков и их распределения в течение года, средней температуры воздуха, отклонения этих параметров от многолетних средних, а также сочетание метеорологических условий года исследований с аналогичными условиями как предыдущего года, так и предшествующих лет обуславливает развитие климатогенных флуктуаций растительных сообществ. Они выражаются в изменении видового состава сообществ, которое вызвано переходом ма-

лозаметных или находящихся в состоянии вторичного покоя особей из угнетенного состояния в развитое. Значительные флуктуации в сообществах, характерные для районов с континентальным климатом, происходят параллельно смене внешних условий без нарушения текущего равновесия экосистем и ведут к смене их доминантов, снижению величины продукции и качества кормов на пастбищах, что в значительной степени влияет на экономику страны [Раменский, 1971; Работнов, 1978; Жаргалсайхан, 2018а, 2018б; Огуреева и др., 2019; Ogureeva et al.,

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

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: katayur@gmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, ст. науч. с., канд. геогр. н.; e-mail: maxim-msu-bg@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра биогеографии, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: ogur2@mail.ru

⁵ Институт ботаники Монгольской академии наук, ст. науч. с., канд. биол. н.; e-mail: l_jaga_cj@mail.ru

2011, 2019]. Такие изменения отмечены в степях трехковыльной формации с доминированием в сообществах крупных ковылей (*Stipa krylovii* Roshev., *S. sibirica* (L.) Lam., *S. grandis* P. Smirn.), занимающих значительные площади на территории Монголии в пяти ботанико-географических районах: Восточная Монголия, Хангайский, Монголо-Даурский, Прихинганский и Средняя Халка [Экосистемы..., 1995; Губанов, 1996].

В связи с этим не потеряло актуальности выявление жизненной стратегии отдельных видов, а также динамики структурной организации степных сообществ под влиянием изменяющихся климатических условий. Их структурная организация характеризуется составом и соотношением видов растений, жизненных форм – биоморфологических групп, выделенных по корневым системам, и биоморфологических типов – по приспособлениям растений к вегетативному возобновлению и разрастанию. Интенсивность и направленность климатогенной флуктуации сообществ можно установить по соотношению жизненных форм растений, приспособленных к определенной амплитуде экологических условий. В связи с этим, *цель работы* – выявление структурной организации степей трехковыльной формации, обеспечивающей сохранение равновесного состояния экосистем при изменении климатических условий. *Задачи работы* включают: установление диапазона изменений климатических характеристик за годы наблюдений относительно многолетних средних за тридцатилетний период; выявление сочетания жизненных форм растений, определяющего структурную организацию степей; установление диапазона возможных отклонений в структурной организации, вызванных изменениями климатических условий.

Краткая характеристика природных условий района исследований. Степной стационар расположен в Восточной Монголии, в бассейне среднего течения р. Керулен, в десяти километрах к се-

веру от сомона Тумэнцогт (рис. 1). Его рельеф представлен пологоволнистой холмисто-увалистой равниной (абсолютные высоты 800–1100 м) с отдельными сопками, останцами и западинами. Климат резко континентальный с коротким, теплым летом (средняя температура июля +20°C), холодной, продолжительной, практически бесснежной зимой (средняя температура января –20°C); небольшим годовым количеством осадков (235–240 мм) с максимумом в летние месяцы; из каждых пяти лет два года – засушливые [Жаргалсайхан, 2018б].

Особенности структурной организации сообществ, а также разнообразия растительного покрова степей обусловлены географическим положением территории, относящейся к Восточномонгольской подпровинции Монгольской провинции ультраконтинентального сектора степей Евразии [Лавренко, 1970].

Материалы и методы исследования. Климатогенные изменения, происшедшие за двенадцатилетний период в структурной организации степей трехковыльной формации, исследованы на Степном стационаре (47°40,6' с. ш., 112°24,5' в. д.) на территории сомона Тумэнцогт в начале августа 2008, 2010, 2014–2019 гг. Сделано 59 полных геоботанических описаний растительных сообществ на семи постоянных и четырех дополнительных пробных площадях, добавленных в ходе наблюдений, каждая площадь размером в 100 м². Они расположены на расстоянии 500–1500 м друг от друга по трансекту, проложенному по обширной межсочной равнине с относительно однородными экотопическими условиями с севера, от долины р. Керулен, на юг (см. рис. 1) [Огуреева и др., 2019].

На основе суммарных значений количества осадков за май–июль ближайшей метеостанции Баян-Обо (47°47' с. ш., 112°07' в. д.) [Weather archive..., 2020] и их отклонений от среднеевропейского (1962–1990) значения, принятого за 100% [WMO..., 2020], по условиям увлажнения годы ис-

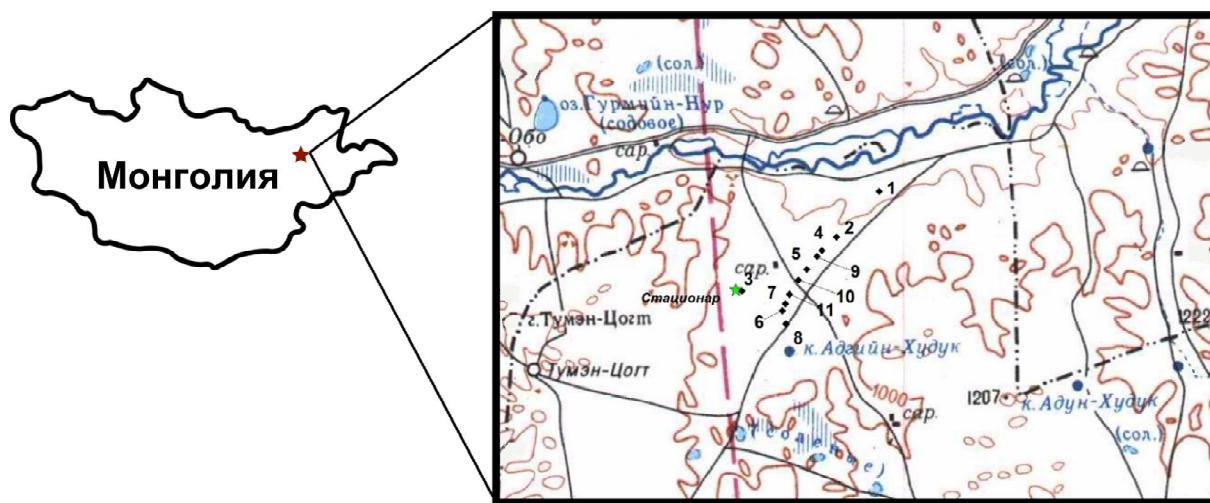


Рис. 1. Район исследований. 1–11 – положение пробных площадей геоботанических описаний

Fig. 1. Geographical location of the studied area. 1–11 – sites of geobotanical descriptions

следования разделены на три группы (засушливые, средние, влажные). Осадки за август месяц не учитывались, т. к. их основное количество выпадает в конце месяца и в некоторые годы превышает норму в два раза, что способствует увеличению числа одно-двулетних видов, которые в начале месяца могут отсутствовать в сообществах. Проведено сравнение условий увлажнения в течение вегетационного периода, установленного по двум параметрам – суммарному количеству осадков за май–июль и омбротермическому индексу, характеризующему отношение количества осадков к температуре воздуха выше 0°C, осредненных за определенный период [Rivas-Martinez et al., 1999].

Выявленные за период наблюдений на исследованной территории 93 вида высших сосудистых растений⁶, отнесены к шести биоморфологическим группам, различающимся особенностями корневых систем: длиннокорневищные, коротkokорневищные, корнеотпрысковые, дерновинные, стержнекорневые и одно-двулетние [Горшкова, 1966; Борисова, Попова, 1984].

Динамика структурной организации степей трехкочкыльной формации в годы с разными климатическими условиями рассмотрена по изменению роли в сложении сообществ видов высших сосудистых растений, отнесенных по Л.Г. Раменскому [1971] к трем биоморфологическим типам. Типы объединяют жизненные формы, различающиеся приспособлениями к вегетативному возобновлению и разрастанию, а также требованиями к условиям увлажнения: 1) *вегетативно-подвижные*; 2) *разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные*; 3) *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся*.

Из числа видов растений, имеющих постоянство IV–V классов (>60% встреч в сообществах), выделены доминанты по проективному покрытию. К ним отнесены виды растений, значения проективного покрытия которых составили 3% и более при проективном покрытии сообщества <40%; 5% и более – при проективном покрытии сообщества 40–50%; 8% и более – при проективном покрытии сообщества >50%. Климатогенные смены доминантов охарактеризованы по доле доминирования видов в описаниях сообществ, сделанных в годы, различающиеся по условиям увлажнения.

Для выявления динамики структурной организации сообществ в годы с разными условиями увлажнения использовано 25 фитоценологических ха-

рактеристик (количество и проективное покрытие однолетних и многолетних видов в каждом сообществе, а также видов, входящих в состав трех биоморфологических типов: вегетативно-подвижные; разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные; вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся; общее проективное покрытие сообществ и проективное покрытие основных доминантов). Достоверность различий определена на основе дисперсионного анализа с использованием критерия Краскела–Уоллиса, применяемого для непараметрических данных. Все расчеты проведены в Statistica 8.0.

Основные результаты исследования и их обсуждение. Динамика основных климатических параметров за двенадцатилетний период. Наиболее важные для растительного покрова климатические параметры включают температурные условия и количество выпавших осадков. По данным метеостанции Баян-Обо установлено, что температурные условия мая и летних месяцев в период исследования незначительно отклоняются от средних многолетних величин, при этом условия увлажнения сильно различаются по годам. По количеству осадков, выпавших с мая по июль – месяцы с максимальным накоплением фитомассы [Жаргалсайхан, 2008], все годы исследований разделены на три группы, различающиеся условиями увлажнения – засушливые, средние и влажные (табл. 1).

В группу с засушливыми условиями вошли 2008, 2010 и 2017 гг. Минимальное количество осадков отмечено в 2017 г. – за три месяца этого года выпало всего 60,6 мм. Такое небольшое количество осадков не отмечалось за весь период наблюдений: в мае их выпало в 2,3 раза меньше многолетнего среднего, в июне – в 33 раза меньше, в июле – в 1,5 раза меньше. В результате, доля количества осадков за эти месяцы от многолетнего среднего составила только 45,0% (рис. 2). В 2008 и 2010 гг. осадков выпало немного больше, 87,6 и 96,7 мм, соответственно. Также засушливыми были 2005–2007 гг. (в течение года выпадало всего 55–58% осадков от многолетнего среднего), что отразилось в структурной организации растительного покрова.

Средние условия увлажнения отмечены в течение пяти лет: 2009 г. (115,7 мм), 2011 г. (176,2 мм), 2015 г. (101,6 мм), 2016 г. (143,9 мм) и 2018 г. (171,3 мм). В эти годы различия в количестве осадков, выпавших в мае–июле, составили 74,6 мм. По характеру их распределения в отдельные месяцы

Таблица 1

Распределение сезонных осадков (май–июль) по годам

Количество осадков в мае–июле, мм	Отклонение количества осадков в мае–июле от среднеемноголетнего за период 1962–1990 гг., %	Условия увлажнения	Годы
<100	<70	Засушливые	2008, 2010, 2017
100–190	70–130	Средние	2009, 2011, 2015, 2016, 2018
>190	>130	Влажные	2012, 2013, 2014, 2019

⁶ Латинские названия видов растений приведены по интернет-ресурсу [Плантаариум, 2020].

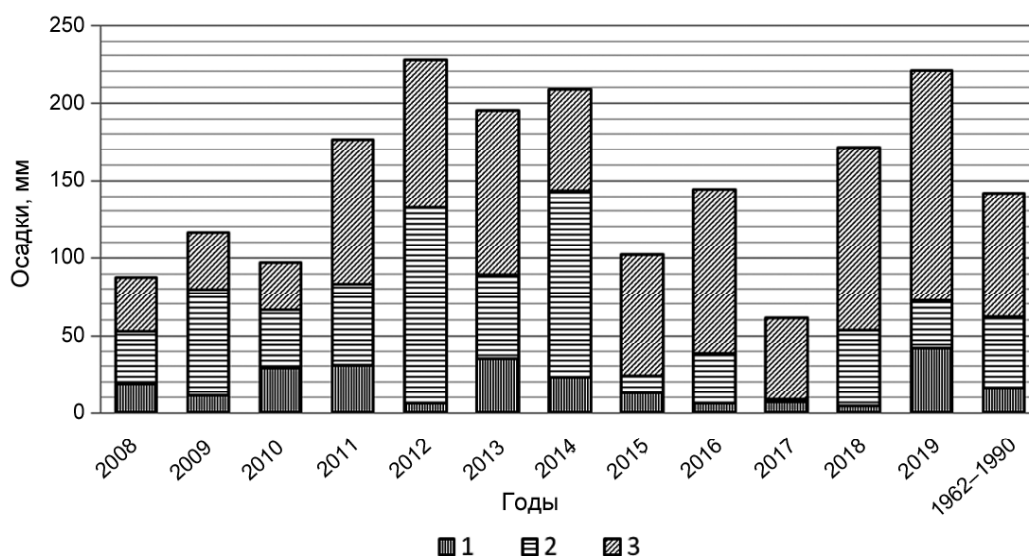


Рис. 2. Динамика количества осадков, выпавших в мае–июле, по данным метеостанции Баян-Обо. Условные обозначения: 1 – май; 2 – июнь; 3 – июль

Fig. 2. The dynamics of precipitation in May–July according to the Bayan-Ovoo weather station data: 1 – in May; 2 – in June; 3 – in July

выделены 2011, 2015, 2016 и 2018 гг. – с минимальным количеством осадков в мае, и большим – в июле. В 2009 г. максимальное количество осадков выпало в июне, и минимальное – в мае.

В группу с влажными условиями вошли четыре года: 2012 (227,2 мм), 2013 (194,8 мм), 2014 (208,4 мм) и 2019 (220,5 мм) (см. табл. 1). Амплитуда значений выпавших осадков в разные годы в мае–июле составила 32,4 мм. Среднее их количество достигло 150,2% от среднемноголетней нормы. По характеру среднemesячного распределения выделены 2012 и 2014 гг. – с максимальным количеством осадков в июне, и минимальным – в мае (в 2012 г. выпало всего 6 мм). Два года – 2013 и 2019 – отличаются более-менее равномерным распределением осадков в мае и июне и значительным их увеличением в июле. Так, в июле 2019 г. выпало максимальное количество осадков за весь период исследования – 148,2 мм.

Различия в увлажнении вегетационного периода маркируются также биоклиматическими индексами, полученными на основе соотношения тепла и влаги. Один из наиболее информативных индексов применительно к изучению связей между растительностью и климатом – омротермический – характеризуется отношением показателей осадков к температуре воздуха выше 0°C, осредненных за определенный период [Rivas-Martinez et al., 1999]. Летний и майско-летний омротермические индексы имеют максимальные значения (154 и 189, соответственно) в годы с повышенным увлажнением теплого периода года (см. табл. 1), превышающие средние многолетние в 1,5 раза и более. В годы с небольшим количеством осадков значения индексов изменяются в широких пределах. В 2010 и 2017 гг. они ниже средних многолетних за счет вы-

соких температур в первую половину вегетационного периода, превышающих среднемноголетние значения температуры воздуха на 1–3°C. Засушливый 2008 г. характеризуется повышенными значениями омротермических индексов (133, 179) за счет относительно низкой теплообеспеченности.

Структурная организация степных сообществ стационара. Каждое сообщество характеризуется определенным сочетанием видов растений и их жизненных форм [Раменский, 1971]. За двенадцатилетний период наблюдений в степях трехкочкыльной формации выявлено 93 вида высших сосудистых растений, из них основная доля (82%) приходится на многолетние виды, а 18% – на одно-двулетние. Виды растений отнесены по особенностям их корневых систем [Горшкова, 1966; Борисова, Попова, 1984] к шести биоморфологическим группам, в которые входят 16 подгрупп. За период исследований во всех сообществах наиболее многочисленными были три биоморфологические группы видов растений: стержнекорневые (30 видов), короткокорневищные (18) и одно-двулетние (17) (табл. 2). Для сравнения, в восстанавливающихся в течение 50 лет аналогичных степях, расположенных в Монголо-Даурском ботанико-географическом районе, также преобладают стержнекорневые растения (28 видов), число которых последовательно снижается на II, III, IV и V ступенях ряда пастбищной дигрессии: 21, 14, 12 и 9 видов, соответственно [Микляева, 2007].

Распределение видов растений шести биоморфологических групп (см. табл. 2) по биоморфологическим типам – жизненным формам с характерным приспособлением к вегетативному возобновлению и разрастанию, согласно Л.Г. Раменскому [1971], показало, что в течение двенадцатилетнего перио-

Таблица 2

Биоморфологические группы видов растений

№ п/п	Биоморфологические группы и подгруппы	Примеры видов	Число видов
1	Дерновинные		9
	Плотнoderновинные крупные злаки	<i>Stipa grandis</i> P. Smirn.	3
	Рыхлодерновинные крупные злаки	<i>Stipa sibirica</i> (L.) Lam.	2
	Мелкодерновинные злаки	<i>Cleistogenes squarrosa</i> (Trin.) Keng.	3
	Мелкодерновинное разнотравье	<i>Iris tenuifolia</i> Pall.	1
2	Стержнекорневые		30
	Полукустарнички	<i>Kochia prostrata</i> (L.) Schrad.	3
	Многолетние травы	<i>Potentilla conferta</i> Bunge	27
3	Короткокорневищные		18
	Полукустарнички	<i>Lespedeza juncea</i> (L. fil.) Pers.	1
	Многолетние травы/из них луковичные	<i>Veronica incana</i> L./ <i>Allium anisopodium</i> Ledeb.	17/7
4	Длиннокорневищные		11
	Кустарники	<i>Caragana microphylla</i> Lam.	2
	Кустарнички	<i>Ephedra sinica</i> Stapf.	1
	Многолетние травы	<i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvel.	8
5	Корнеотпрысковые		8
	Полукустарнички	<i>Artemisia frigida</i> Willd.	2
	Многолетние травы	<i>Haplophyllum dauricum</i> (L.) G. Don fil.	6
6	Одно-двулетние		17
	Однолетние	<i>Axyris amarantoides</i> L.	10
	Одно-двулетние	<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. et Kit.	3
	Двулетние	<i>Erodium stephanianum</i> Willd.	4
Всего	16	93	

да в сообществах количественно преобладали виды растений двух типов: вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся (стержнекорневые; малолетние – одно-двулетние) – 47 видов; разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные (дерновинные; короткокорневищные) – 27 видов. Значительно меньшим числом видов (19) представлен тип вегетативно-подвижные (длиннокорневищные; корнеотпрысковые) растения.

Такое распределение видов растений в целом характерно для степных сообществ [Горшкова, 1966] и наиболее ярко проявляется в биоморфологической структуре флоро-ценотического ядра, обеспечивающего устойчивость сообществ при изменении природных условий. Флоро-ценотическое ядро включает 25 многолетних видов растений, имеющих в сообществах высокое постоянство (IV–V классы, встречающихся более чем в 60% описаний) в течение всего периода исследований. Распределение видов растений флоро-ценотического ядра по биоморфологическим типам выявило, что большая часть (52%) относится к биоморфологическому типу *разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные* (дерновинные; короткокорневищные); 32% – к типу *вегетативно-подвижные* (длиннокорневищные; корнеотпрысковые) и 16% – к типу *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся* (стержнекорневые). Наиболее полно, по Л.Г. Раменскому [1971], растения используют площадь в тех сообществах, основу которых составляют вегетативно-слабопо-

движные плотно- и рыхлодерновинные растения, промежутки между которыми занимают вегетативно-подвижные виды (корневищные; корнеотпрысковые). На этом основании мы можем отнести исследуемые сообщества трехковыльной формации к достаточно полно использующим территорию.

Биоморфологическая структура степных сообществ в годы, различающиеся условиями увлажнения. За период наблюдений выявлено небольшое изменение видового богатства степей и числа видов растений разных биоморфологических типов, формирующих его в годы с разными условиями увлажнения: в засушливые и влажные годы количественные показатели более низкие, чем в средние по увлажнению (табл. 3). Это согласуется с результатами изучения динамики фитомассы сообществ трехковыльной, пижмовой (*Filifolium sibiricum* (L.) Kitam.) и леймусовой (*Leymus chinensis* (Trin.) Tzvelev) формаций, полученными ранее на стационаре Тумэнцогт [Жаргалсайхан, 2018a]. Выявлено, что за двадцатипятилетний период (1981–2006) засушливым годам в 80% случаев в равных долях предшествовали влажные и средние по увлажнению годы, в 20% – засушливые; годам со средними условиями увлажнения – в 60% случаев влажные и в 40% засушливые; годам с повышенным увлажнением – в 67% случаев средние и в 33% засушливые годы. Установлена однонаправленная тенденция динамики фитомассы в сообществах в разные по влагообеспеченности годы. Так, в трехковыльной

Таблица 3

Число видов растений биоморфологических типов, формирующих видовое богатство степей в годы с разными условиями увлажнения

Биоморфологические типы	Условия увлажнения		
	Засушливые	Средние	Влажные
<i>Вегетативно-подвижные</i> (длиннокорневищные; корнеотпрысковые)	17	17	18
<i>Разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные</i> (дерновинные; короткокорневищные)	22	26	23
<i>Вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся</i> , из них: стержнекорневые малолетние – одно-двулетние	39 24 15	44 28 16	38 26 12
Видовое богатство степей	78	87	79

формации в разнотравно-крупноковыльном сообществе минимальная величина сухой массы в засушливые годы составляет 2,6 ц/га в мае и 10,1 ц/га в конце июля, во влажные годы увеличивается до 2,7 ц/га и 12,5 ц/га и достигает максимума в средние по увлажнению годы – 2,9 ц/га и 13,6 ц/га, соответственно. Виды растений биоморфологического типа *вегетативно-подвижные* (длиннокорневищные; корнеотпрысковые) практически не реагируют на изменение количества осадков. Довольно устойчивы к изменению условий увлажнения растения биоморфологического типа *разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные* (дерновинные; короткокорневищные), количество которых варьирует незначительно. Максимальный диапазон изменения числа видов в зависимости от условий увлажнения установлен в типе *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся* (стержнекорневые; малолетние – одно-двулетние). В засушливых условиях число многолетников снижается, увеличиваясь в годы с влажными и средними условиями. Как отмечалось выше, в засушливых условиях некоторые из многолетних видов развивают угнетенные малозаметные наземные органы или переходят в состояние покоя, например виды луков (*Allium anisopodium*, *A. senescens* и др.). Большее число одно-двулетних видов встречается в сообществах в средние по увлажнению годы. Их доля в составе типа *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся* мало изменяется в годы с разной обеспеченностью осадками: несколько увеличиваясь в засушливых и средних условиях (38 и 36%) и снижаясь до 32% во влажных.

Таким образом, выявлено, что годы со средними условиями увлажнения наиболее благоприятны для развития степных растений: в сообществах отмечается большое число видов всех биоморфологических типов. В годы с влажными и засушливыми условиями эти параметры несколько снижаются. Большие отклонения, на 16%, отмечены у растений типа *разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные* в годы с засушливыми условиями, а также у растений типа *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся* в годы с влажными условиями (на 14%).

Изменение состава доминантов и видовой насыщенности сообществ под влиянием климатических условий. К доминантам отнесено 16 видов растений, имеющих постоянство IV–V классов, проективное покрытие которых составляет 3% и более при проективном покрытии сообщества <40%; 5% и более – при проективном покрытии сообщества 40–50%; 8% и более – при проективном покрытии сообщества >50%, из них 15 видов многолетних и один вид однолетний (табл. 4). Распределение доминантов по биоморфологическим типам соответствует результатам, полученным для всего флористического состава изученных степей: большая часть (восемь видов) относится к типу *разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные*, три вида – к типу *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся* и пять видов – к *вегетативно-подвижным*.

Доминанты по роли в формировании фитоценотической среды, согласно В.Н. Сукачеву [1975], могут быть отнесены к эдификаторам аутохтонным, ассектаторам аутохтонным или к эдификаторам депрессивным.

К эдификаторам аутохтонным в составе ковыльных степей отнесены три плотнодерновинных злака, образующих коренные или слабо нарушенные сообщества: *Stipa grandis*, *S. krylovii*, *S. sibirica*. Правильность отнесения сообществ к трехковыльной формации подтверждается значительной частотой их доминирования, которая увеличивается у первых двух видов в засушливых, а у последнего – в средних условиях увлажнения.

Ассектаторы аутохтонные количественно преобладают в рассмотренных сообществах – семь видов. В ненарушенных или слабо нарушенных сообществах они чаще выступают в качестве содоминантов. В эту группу входят три вида мелкодерновинных растений – *Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum* и *Allium senescens*, частота доминирования которых увеличивается в годы с влажными условиями. Из двух видов стержнекорневых растений средние условия увлажнения предпочитает *Artemisia commutata*, а полукустарничек *Kochia prostrata* – засушливые. Короткокорневищные *Potentilla acaulis* и *Serratula centauroides* чаще

Таблица 4

Частота доминирования видов растений в сообществах трехковыльной формации, %

Доминанты	Фитоцено- тические типы	Биоморфоло- гические группы	Постоянство, %	Условия увлажнения		
				Влажные (N = 18)	Средние (N = 25)	Засушливые (N = 16)
Тип <i>разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные</i>						
<i>Stipa grandis</i> P. Smirn.	Эа	П-д	98,3	38,9	68,0	75,0
<i>Stipa krylovii</i> Roshev.	Эа	П-д	91,5	22,2	32,0	37,5
<i>Stipa sibirica</i> (L.) Lam.	Эа	П-д	100	22,2	44,0	12,5
<i>Serratula centauroides</i> L.	Aa	К-к	100	5,6	28,0	18,8
<i>Cleistogenes squarrosa</i> (Trin.) Keng.	Aa	М-д	98,3	50,0	36,0	18,8
<i>Agropyron cristatum</i> (L.) Beauv.	Aa	М-д	93,2	11,1	—	—
<i>Potentilla acaulis</i> L.	Aa	К-к	89,8	27,8	48,0	18,8
<i>Allium senescens</i> L.	Aa	М-д	76,3	5,6	—	—
Тип <i>вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся</i>						
<i>Kochia prostrata</i> (L.) Schrad.	Aa	С-к	79,7	—	—	12,5
<i>Artemisia commutata</i> Bess.	Aa	С-к	69,5	11,1	16,0	12,5
<i>Chenopodium aristatum</i> L.	Эд	О-д	69,5	—	4,0	—
Тип <i>вегетативно-подвижные</i>						
<i>Caragana microphylla</i> Lam.	Эд	Д-к	100	5,6	20,0	6,3
<i>Leymus chinensis</i> (Trin.) Tzvel.	Эд	Д-к	100	16,7	36,0	12,5
<i>Artemisia frigida</i> Willd.	Эд	К-от	100	77,8	68,0	43,8
<i>Aconogonon divaricatum</i> (L.) Nakai ex Mori	Эд	Д-к	88,1	16,7	32,0	43,8
<i>Carex duriuscula</i> C.A. Mey.	Эд	Д-к	76,3	5,6	8,0	—

Примечание: Эа – эдификаторы аутохтонные; Аа – ассектаторы аутохтонные; Эд – эдификаторы дигрессивные; П-д – плотнодерновинные; М-д – мелкодерновинные; К-к – короткокорневищные; С-к – стержнекорневые; Д-к – длиннокорневищные; К-от – корнеотпрысковые; О-д – одно-двулетние; N – количество описаний.

доминируют в средние по увлажнению годы. Достаточно высокая частота доминирования *Cleistogenes squarrosa* и *Potentilla acaulis* во все годы связана с их устойчивостью к выпасу скота, поголовье которого увеличилось в сомоне – с 53,3 тыс. голов в 2008 г. до 141,2 тыс. в 2018 г.

Эдификаторы дигрессивные оказывают большое влияние на создание фитоценотической среды в сообществах, нарушенных выпасом скота, или антропогенной деятельностью и незначительное – в ненарушенных или слабо нарушенных. К ним отнесены четыре вида длиннокорневищных растений, например *Aconogonon divaricatum*, который выделяется из этой группы большей частотой доминирования, особенно в засушливых условиях. *Caragana microphylla*, *Leymus chinensis* и *Carex duriuscula* увеличивают частоту доминирования при средних условиях увлажнения. Корнеотпрысковый вид *Artemisia frigida* хорошо адаптирован к изменению условий увлажнения. Его высокая частота доминирования во все годы также может служить показателем усиления пастбищной нагрузки. Небольшая частота доминирования характерна для однолетника *Chenopodium aristatum*, увеличивающего свою роль в сообществах при средних условиях увлажнения.

Видовая насыщенность сообществ трехковыльной формации достаточно высокая – на пробной площади в 100 м² встречается 35–37 видов. В аналогичных степях Бурятии средняя видовая насыщенность значительно меньшая – 25 видов [Бурятия..., 1997].

Выявлено незначительное изменение величины общего проективного покрытия сообществ, соответствующее количеству выпавших осадков. В годы с

засушливыми условиями увлажнения оно в среднем составляет 45%, со средними – 49%, а с влажными – возрастает до 54% за счет увеличения доли проективного покрытия многолетних видов.

Проведенный статистический анализ показал, что сообщества в годы с разными условиями увлажнения статистически значимо различаются проективным покрытием многолетних видов ($H = 11,63$, $df = 2$, $p = 0,003$), а также видов-доминантов из групп ассектаторы аутохтонные – *Cleistogenes squarrosa* ($H = 7,39$, $df = 2$, $p = 0,025$), *Agropyron cristatum* ($H = 9,02$, $df = 2$, $p = 0,011$), *Potentilla acaulis* ($H = 7,48$, $df = 2$, $p = 0,024$) и эдификаторы дигрессивные – *Artemisia frigida* ($H = 16,68$, $df = 2$, $p = 0,000$). Их реакция на изменение условий увлажнения различается: проективные покрытия у *Potentilla acaulis* и *Artemisia frigida* в засушливые годы статистически значимо ниже, чем во влажные и средние, у *Cleistogenes squarrosa* – выше во влажные годы, у *Agropyron cristatum* снижается в средние по увлажнению годы. Аутохтонные эдификаторы из типа *разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные* (три вида ковылей) практически не реагируют на изменение количества выпавших осадков.

Таким образом, выявлено, что колебания величины выпавших осадков влияют на проективные покрытия основных доминантов и, соответственно, на накопление фитомассы и ее энергетическую ценность, что необходимо учитывать при расчете кормовой емкости пастбищ.

Выводы:

– в проведенном исследовании структурная организация степных сообществ трехковыльной формации (*Stipa grandis*, *S. krylovii*, *S. sibirica*) рас-

смотрена в качестве критерия равновесного состояния экосистем при изменении климатических условий. Ее определяют соотношение жизненных форм – биоморфологических типов растений, выделенных по приспособлениям к вегетативному возобновлению и разрастанию (*вегетативно-подвижные; разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные; вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся*), и биоморфологических групп – по строению корневой системы (*дерновинные, стержнекорневые, корневищные, корнеотпрысковые, одно-двулетние*), состав доминантов и видовая насыщенность сообществ;

– установлены диапазоны изменения биоклиматических показателей в годы наблюдений в сравнении со средними многолетними значениями (1962–1990), принятыми за 100%. По количеству осадков, выпавших в мае–июле (месяцы максимального накопления фитомассы), годы исследований разделены на засушливые (<100 мм, <70%), средние (100–190 мм, 71–130%), влажные (>190 мм, >130%). Доля осадков, выпавших за этот период, за 12 лет исследований варьировала от среднемноголетнего количества в довольно большом диапазоне – от 42,9% (засушливые годы) до 160,5% (влажные годы). Значения омбротермического индекса за этот период изменяются от 150,8 (максимальное, влажные годы) до 33,5 (засушливые годы);

– выявлены устойчивые сочетания жизненных форм растений и отклонения в структурной организации сообществ. Установлено, что в состав флороценоотического ядра входит 25 многолетних видов с постоянством IV–V классов. Распределение 93 видов высших сосудистых растений по биоморфологическим типам в годы, различающиеся по условиям увлажнения, показало, что их доля во флороценоотическом ядре полнее отражает адаптацию сообществ к динамике климатических условий, чем весь видовой состав;

– выявлена реакция видов растений в отдельных сообществах в разные годы: более устойчивы к изменению условий увлажнения виды растений типа *вегетативно-подвижные* (длиннокорневищные; корнеотпрысковые), их число не превышает 17–18. Растения других биоморфологических типов более зависимы от количества выпавших осадков. Тип *разрастающиеся вегетативно-слабоподвижные* (дерновинные; короткокорневищные) в засушливый период представлен в сообществах 22 видами, во влажный период – 23, а в средний период –

26 видами. Тип *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся* (стержнекорневые; малолетние – одно-двулетние) представлен от 38 видов во влажные годы до 44 в средние. Разнонаправленные реакции на изменение условий увлажнения у многолетников и однолетников. Больше число одно-двулетних видов встречается в сообществах в средние по увлажнению годы, их доля в составе типа *вегетативно-неподвижные и неразрастающиеся* мало изменяется в годы с разной обеспеченностью осадками, она несколько увеличивается в засушливые и средние сезоны (38 и 36%) и снижается во влажные (32%);

– применение дисперсионного анализа (критерий Краскела–Уоллиса) выявило довольно значимые различия сообществ в годы с разными условиями увлажнения по проективному покрытию многолетних видов ($H = 11,63$, $df = 2$, $p = 0,003$) и проективному покрытию доминантов – асектаторов аутохтонных *Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum*, *Potentilla acaulis* ($H = 7,39$ – $9,02$, $df = 2$, $p = 0,011$ – $0,025$) и эдификаторов дигрессивных *Artemisia frigida* ($H = 16,68$, $df = 2$, $p = 0,000$).

В целом видовая насыщенность и структура сообществ трехковыльной формации, развивающихся в Восточной Монголии в условиях резко континентального климата, подвержены незначительной климатогенной флуктуации, вызванной преимущественно динамикой условий увлажнения в вегетационный период, что служит показателем устойчивости степных сообществ к изменению климатических параметров. Однако, оптимальными для сообществ трехковыльных степей являются средние по увлажнению годы, в которые отмечено увеличение видового богатства и видовой насыщенности;

– структурная организация трехковыльных степей, выраженная в разнообразии видового состава и фитоценоотической роли видов разных биоморфологических типов и групп, определяет природный потенциал степных экосистем. Изменение соотношения и фитоценоотической роли видов растений разных биоморфологических групп и типов может привести к изменениям величины продукции и качества кормов на пастбищах под влиянием динамики биоклиматических показателей, что необходимо учитывать для проведения контроля за количеством выпасаемого скота. Долгосрочный прогноз климатических изменений может послужить определенным критерием при оценке состояния и мониторинге степей трехковыльной формации и в целом восточномонгольских степей, составляющих основу кормовой базы животноводства.

Благодарности. Авторы выражают благодарность руководству совместной Российско-Монгольской комплексной биологической экспедиции за предоставленную возможность проведения полевых исследований в Монголии. Исследование проведено по теме НИР МГУ им. М.В. Ломоносова, Госзадание ААА-А-16-116032810082-6 «Разнообразие, динамика и мониторинг экосистем в условиях изменения окружающей среды» и теме НИР Института проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Госзадание № 0109-2019-0009 «Фундаментальные проблемы охраны живой природы и рационального использования биоресурсов».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Борисова И.В., Попова Т.А. Жизненные формы высших растений // Сухие степи Монгольской народной республики: Природные условия: Сомон Унджул. Л.: Наука, 1984. С. 79–87, 138–153.
- Бурятия: растительный мир. Вып. II / Б.Б. Намзалов и др. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского университета, 1997. 250 с.
- Горикова А.А. Биология степных пастбищных растений Забайкалья. М.: Наука, 1966. 274 с.
- Губанов И.А. Конспект флоры Внешней Монголии (сосудистые растения). М.: Волян, 1996. 136 с.
- Жаргалсайхан Л. Динамика пастбищной растительности степных экосистем Восточной Монголии: дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 122 с.
- Жаргалсайхан Л. Многолетняя динамика фитомассы // Структура и динамика степных экосистем Восточной Монголии (на примере стационара Тумэнцогт) / отв. ред. П.П. Дмитриев, Л. Жаргалсайхан. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2018а. С. 121–125.
- Жаргалсайхан Л. Природные условия сомона Тумэнцогт // Структура и динамика степных экосистем Восточной Монголии (на примере стационара Тумэнцогт) / отв. ред. П.П. Дмитриев, Л. Жаргалсайхан. М.: Товарищество науч. изд. КМК, 2018б. С. 10–19.
- Лавренко Е.М. Провинциальное разделение Центрально-азиатской подобласти степной области Евразии // Ботанический журнал. 1970. Т. 55. № 12. С. 1734–1747.
- Микляева И.М. Роль растений разных биоморфологических типов в динамике сухостепных сообществ (на примере Центральной Монголии) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. 2007. № 5. С. 33–37.
- Работнов Т.А. Фитоценология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 384 с.
- Раменский Л.Г. Избранные работы: проблемы и методы изучения растительного покрова. Л.: Наука, 1971. 334 с.
- Огуреева Г.Н., Боcharников М.В., Микляева И.М., Каримова Т.Ю., Жаргалсайхан Л. Динамика разнотравно-ковыльных степей Восточной Монголии (ботанический мониторинг 1982–2006 и 2008–2018 гг.) // Экосистемы: экология и динамика. 2019. Т. 3. № 3. С. 58–86. DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10039.
- Сукачев Н.В. Растительные сообщества (Введение в фито-социологию) // Избранные труды. Т. 3. Л.: Наука, 1975. 543 с.
- Экосистемы Монголии: Распространение и современное состояние. М.: Наука. 1995. 223 с.
- Ogureeva G.N., Miklyaeva I.M., Bocharnikov M.V., Jargalsaikhan L. Spatial and temporal variability of dry steppes of Eastern Mongolia, *Geography Environment Sustainability*, 2011, vol. 4, no. 1, p. 46–58.
- Ogureeva G.N., Jargalsaikhan L., Karimova T.Y., Miklyaeva I.M. Variations in the Botanical Diversity of Forbs–Bunchgrass Steppes of Eastern Mongolia over an 11-Year Period (2008–2018), *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, p. 257–263, DOI: 10.1134/S2079096119040073.
- Rivas-Martinez S., Canto P., Fernandez-Gonzalez F., Molina J.A., Pizarro J.M., Sanchez-Mata D. Synopsis of the Sierra de Guadarrama vegetation, *Itinera Geobotany*, 1999, vol. 13, p. 189–206.
- Электронные ресурсы
- Плантарийум. URL: <http://plantarium.ru/page/search.html> (дата обращения 20.08.2020).
- Weather archive in Bayan-Ovoo. URL: https://rp5.ru/Weather_archive_in_Bayan-Ovoo (дата обращения 20.08.2020).
- WMO Climatological Normals (1962–1990) for Bayan-Ovoo station. URL: http://geodata.lib.ncsu.edu/fedgov/noaa/clino/TABLES/REG_II/MO/44302.TXT (дата обращения 20.08.2020).

Поступила в редакцию 29.10.2020

После доработки 13.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

I.M. Miklyaeva¹, T.Yu. Karimova², M.V. Bocharnikov³,
G.N. Ogureeva⁴, L. Jargalsaikhan⁵

DYNAMICS OF THE STRUCTURAL ORGANIZATION OF STEPPE COMMUNITIES IN EASTERN MONGOLIA UNDER CHANGING CLIMATIC PARAMETERS

The investigation of the Eastern Mongolia steppes of three-feather formation (*Stipa grandis*, *S. krylovii*, *S. sibirica*) was carried out in 2008–2019 on 11 test plots of 100 m² each, located along a transect within the intermountain plain south of the Kerulen River valley. The structural organization of steppe communities is considered as a criterion for the sustainability of ecosystems under changing climatic conditions. It is determined by the ratio of life forms, i. e. biomorphological types of plants, identified by the adaptations to vegetative growth (vegetative mobile; growing vegetative weakly mobile; vegetative immobile and non-growing), and the biomorphological groups (turf, root, rhizome, root proliferous, annual-biennial), as well

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

² A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Senior Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: katayur@gmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Senior Scientific Researcher, PhD in Geography; e-mail: maxim-msu-bg@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Biogeography, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: ogur2@mail.ru

⁵ Institute of Botany of the Mongolian Academy of Sciences, Senior Scientific Researcher, PhD in Biology; e-mail: l_jaga_cj@mail.ru

as the composition of dominants and the species richness of communities. Deviance of bioclimatic indicators from the long-term average values (1962–1990) was determined for the period of observation. Combinations of the life forms of plants and changes in the structural organization of communities were revealed. The structure of communities was statistically verified between different years (ANOVA, Kruskal-Wallis test).

According to the change in moisture conditions (May–July precipitation, i.e. months with the maximum accumulation of phytomass) and the deviation from the long-term average values (100%), the observation years were classified into three groups: arid (<100 mm, <70%); medium (100–190 mm, 70–130%); and wet (>190 mm, >130%). Years with increased moisture are characterized by maximum values of summer and May–summer ombrothermic index; while in the years with poor moisture and relatively low thermic conditions the values are minimal.

In the years with medium moisture conditions, the species richness was particularly high and the species of all biomorphological types were present. This is the most favorable situation for the development of steppe communities. The species diversity of growing vegetative weakly mobile species decreases in the years with dry conditions, while that of vegetative immobile and non-growing species decreases in the years with wet conditions. The years with different moisture conditions also significantly differ in the projective cover of autochthonous assessor (*Cleistogenes squarrosa*, *Agropyron cristatum*, *Potentilla acaulis*) and digressive edificers (*Artemisia frigida*). However, the floristic-coenotic core of communities, which ensures their stability, is preserved throughout the entire period of research; it includes 25 perennial species with high constancy in communities.

The structural organization of three-feather formation steppes is reflected in species diversity and phytocoenotic role of particular biomorphological groups of species, and determines the natural potential of steppe ecosystems.

Key words: steppe ecosystems, biomorphological plant types, Floro-cenotic core, climatic parameters

Acknowledgements. The authors express their thanks to the administration of the Joint Russian-Mongolian Complex Biological Expedition for the opportunity to carry out field research in Mongolia. The study was done under the research theme of the Lomonosov Moscow State University (state task no. AAA-A-16-116032810082-6 Diversity, dynamics and monitoring of ecosystems under changing environmental conditions) and the research theme of the Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the RAS (state task no. 0109-2019-0009 Fundamental problems of wildlife conservation and management of biological resources).

REFERENCES

- Borisova I.V., Popova T.A. [Life forms of higher plants], *Sukhie stepi Mongol'skoi narodnoi respubliki: Prirodnye usloviya: Somon Undzhul* [Dry steppes of the Mongolian People's Republic: natural conditions: Undzhul sum], Leningrad, Nauka Publ., 1984, p. 79–87, 138–153. (In Russian)
- Buryatiya: rastitel'nyi mir. Vypusk II [Buryatia: the plant world. Issue II], Namzalov B.B. et al., Ulan-Ude, Izd-vo Buryatskogo universiteta, 1997, 250 p. (In Russian)
- Ekosistemy Mongolii: Rasprostraneniye i sovremennoye sostoyaniye [Ecosystems of Mongolia: distribution and current state], Moscow, Nauka Publ., 1995, 223 p. (In Russian)
- Gorshkova A.A. *Biologiya stepnykh pastbishchnykh rastenii Zabaikal'ya* [Biology of steppe pasture plants of the Transbaikalia region], Moscow, Nauka Publ., 1966, 274 p. (In Russian)
- Gubanov I.A. *Konspekt flory Vneshnei Mongolii (sosudistye rasteniya)* [Synopsis of the flora of Outer Mongolia (vascular plants)], Moscow, Volan Publ., 1996, 136 p. (In Russian)
- Lavrenko E.M. *Provintsial'noye razdeleniye Tsentral'no-aziatskoi podoblasti stepnoi oblasti Evrazii* [Provincial division of the Central Asian subdistrict of the Eurasian steppe region], *Botanicheskii zhurnal*, 1970, vol. 55, no. 12, p. 1734–1747. (In Russian)
- Lavrenko E.M., Karamysheva Z.V., Nikulina R.N. *Stepi Evrazii* [Eurasian steppes], Leningrad, Nauka Publ., 1991, 146 p. (In Russian)
- Miklyaeva I.M. *Rol' rastenii raznykh biomorfologicheskikh tipov v dinamike sukhospeynykh soobshchestv (na primere Tsentral'noi Mongolii)* [Role of different biomorphological types of plants in the dynamics of dry-steppe cenoses of Central Mongolia], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2007, no. 5, p. 33–37. (In Russian)
- Ogureeva G.N., Bocharnikov M.V., Miklyaeva I.M., Karimova T.Yu., Jargalsaikhan L. *Dinamika raznotravno-kovyl'nykh stepei Vostochnoi Mongolii (botanicheskii monitoring 1982–2006 i 2008–2018 gg.)* [Dynamics of forbs-feather-grass steppes of Eastern Mongolia (botanical monitoring of 1982–2006 and 2008–2018)], *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2019, vol. 3, no. 3, p. 58–86, DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10039. (In Russian)
- Ogureeva G.N., Miklyaeva I.M., Bocharnikov M.V., Jargalsaikhan L. *Spatial and temporal variability of dry steppes of Eastern Mongolia*, *Geography Environment Sustainability*, 2011, no. 1, [vol. 04], p. 46–58.
- Ogureeva G.N., Jargalsaikhan L., Karimova T.Y., Miklyaeva I.M. *Variations in the Botanical Diversity of Forbs–Bunchgrass Steppes of Eastern Mongolia over an 11-Year Period (2008–2018)*, *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, p. 257–263, DOI: 10.1134/S2079096119040073.
- Rabotnov T.A. *Fitotsenologiya* [Phytocenology], Moscow, Izd-vo Mosk. un-ta, 1978, 384 p. (In Russian)
- Ramenskii L.G. *Izbrannye raboty: problemy i metody izucheniya rastitel'nogo pokrova* [Selected works: problems and methods of studying vegetation cover], Leningrad, Nauka Publ., 1971, 334 p. (In Russian)
- Rivas-Martinez S., Canto P., Fernandez-Gonzalez F., Molina J.A., Pizarro J.M., Sanchez-Mata D. *Synopsis of the Sierra de Guadarrama vegetation*, *Itinera Geobotany*, 1999, vol. 13, p. 189–206.

Sukachev N.V. [Plant communities (Introduction to phytosociology)], *Izbrannye trudy*, T. 3 [Selected works, vol. 3], Leningrad, Nauka Publ., 1975, 543 p. (In Russian)

Jargalsaikhan L. [Long-term dynamics of phytomass], *Struktura i dinamika stepnykh ekosistem Vostochnoi Mongolii (na primere statsionara Tumentsogt)* [Structure and dynamics of steppe ecosystems in Eastern Mongolia (case study of the Tumentsogt station)], P.P. Dmitriev, L. Jargalsaikhan (eds.), Moscow, KMK Scientific Press Ltd, 2018a, p. 121–125. (In Russian)

Jargalsaikhan L. [Natural conditions of Tumentsogt sum], *Struktura i dinamika stepnykh ekosistem Vostochnoi Mongolii (na primere statsionara Tumentsogt)* [Structure and dynamics of steppe ecosystems in Eastern Mongolia (case study of the Tumentsogt

station)], P.P. Dmitriev, L. Jargalsaikhan (eds.), Moscow, KMK Scientific Press Ltd, 2018b, p. 10–19. (In Russian)

Jargalsaikhan L. *Dinamika pastbishchnoi rastitel'nosti stepnykh ekosistem Vostochnoi Mongolii* [Dynamics of pastoral vegetation of steppe ecosystems in Eastern Mongolia], PhD Thesis in Biology, Moscow, 2008, 122 p. (In Russian)

Web sources

Plantarium, URL: <http://plantarium.ru/page/search.html> (access date 20.08.2020).

Weather archive in Bayan-Ovoo, URL: https://rp5.ru/Weather_archive_in_Bayan-Ovoo (access date 20.08.2020).

WMO Climatological Normals (1962–1990) for Bayan-Ovoo station, URL: http://geodata.lib.ncsu.edu/fedgov/noaa/clino/TABLES/REG_II/MO/44302.TXT (access date 20.08.2020).

Received 29.10.2020

Revised 13.12.2020

Accepted 21.01.2021

УДК 911.52

А.Н. Иванов¹, А.И. Моисеев², Т.И. Хисматуллин³, А.Л. Шныпарков⁴

ПОЛИСТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО ЛАНДШАФТА ОСТРОВА МАТУА (ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КУРИЛЫ)

Обсуждается понятие полиструктурности ландшафтного пространства. Объект исследований – остров Матуа с активным вулканом, отсутствием поверхностного стока и широким развитием селевых и лавинных комплексов. Представлена ландшафтная карта на территорию острова, основанная на структурно-генетических принципах. Внутри островного ландшафта выделены три географические местности – современного вулкана Пик Сарычева с преобладанием вулканических пустынь, наиболее сложно устроенная местность древнего вулкана Матуа и местность морских террас разных уровней (от 2–3 до 60–70 м). Разработана модель нуклеарной системы с ядром в виде кратера вулкана. По степени воздействия вулкана на природные комплексы выделены три зоны – сильного, среднего и умеренного влияния. Основные составляющие воздействия – лавовые и пирокластические потоки, пирокластические волны, выпадение тефры, газовые эмиссии. В составе парадинамических геосистем, связанных однонаправленными потоками вещества и энергии, проанализированы селевые и лавинные геосистемы. Количественно оценены вещественные потоки, генерируемые вулканом, лавинами и селями. Объем двух лавовых потоков, образовавшихся при извержении 2009 г., составил около 10 млн м³. Объем пирокластических отложений оценен в 200 млн м³. Расчеты 1% обеспеченности расходов селевых потоков по 15 выделенным селевым бассейнам показали, что они могут изменяться от 5,7 до 691 м³/с, а их объем – от первых тысяч м³ до 425 тыс. м³. Суммарный объем селевых потоков 1% обеспеченности равен 1,62 млн м³. Суммарный объем снежных лавин 2% обеспеченности по 33 лавиносорам оценивается в 21,2 млн м³. Установлено, что в современный период именно вулкан является основным системообразующим фактором для большинства природных комплексов острова. Сделан вывод о том, что полиструктурность ландшафтного пространства отчетливо проявляется в пределах острова и связана с формированием на одной территории разных типов геосистем, выделение которых основано на разных физических принципах.

Ключевые слова: эндогенные процессы, нуклеарная система, лавины, сели

Введение. Идея полиструктурности ландшафтного пространства в отечественной географии впервые была высказана в 1970-х гг. На примере Латвии К.Г. Раман проанализировал особенности местных ландшафтов и высказал оригинальную мысль о возможности существования на одной территории разных типов ландшафтных структур [Раман, 1972]. Эта идея явилась своеобразной альтернативой доминировавшей в отечественном ландшафтоведении концепции литогенной основы как главного фактора формирования ландшафтного пространства и вызвала интерес ряда исследователей [Солнцев, 1974; Ретейом, 1977; Крауклис, 1979]. В дальнейшем концепция полиструктурности обсуждалась многими отечественными географами разных ландшафтных школ [Коломыц, 1998; Михеев, 2001; Черкашин, 2005; Гродзинский, 2005; Макунина, 2010; Хорошев, 2016; Ганзей, 2020; Sysuev, 2020; Gurevskikh, Yantser, 2020]. В отечественном ландшафтоведении наиболее известен подход В.Н. Солнцева (1997), обосновавшего выделение в ландшафтном пространстве геоста-

ционарных, геоциркуляционных и биоциркуляционных структур. В настоящее время понятие полиструктурности является достаточно распространенным, хотя его нельзя считать перешедшим в разряд ландшафтных парадигм. Некоторые известные ландшафтоведы критикуют идею полиструктурности как противоречащую принципу эмерджентности ландшафтных систем [Николаев, 2006; Исаченко, 2006; Мамай, 2008].

В настоящей работе понятие полиструктурности анализируется на примере островного ландшафта с действующим вулканом. Вулканические ландшафты ограниченно распространены в России и с ландшафтных позиций изучены явно недостаточно. При этом острова с четкими границами, фиксированной площадью, упрощенными связями представляют удобные модели для решения целого ряда фундаментальных задач пространственно-временной организации геосистем. Цель работы – выявление закономерностей организации ландшафтного пространства на примере островного вулканического ландшафта.

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail:* a.n.ivanov@mail.ru

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, аспирант; *e-mail:* expsar@mail.ru

³ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория снежных лавин и селей, инженер; *e-mail:* timkhism@gmail.com

⁴ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория снежных лавин и селей, зав. лабораторией, канд. геогр. н.; *e-mail:* maly2006@yandex.ru

Материалы и методы исследования. Объект исследования – о. Матуа – расположен в центральной части Курильской островной гряды (его площадь 52,3 км², максимальная высота 1446 м связана с действующим вулканом Пик Сарычева). В основу работы положены материалы, собранные в ходе двух экспедиций на о. Матуа в 2016–2017 гг. Полевыми исследованиями была охвачена вся территория острова за исключением наиболее труднодоступной северо-западной части вулкана. Ландшафтное картографирование и профилирование проводилось в соответствии с принятыми методиками с учетом специфики островных и вулканических ландшафтов [Жучкова и др., 1973; Ганзей, 2010; Иванов, 2017]. Нуклеарная система острова изучалась через совокупность точек комплексного описания, расположенных на разном удалении от кратера действующего вулкана, всего было описано 62 точки. При изучении парадинамических селевых и лавинных геосистем, наряду с полевыми маршрутами, использовались расчетные методы. Для этого на основе топографической карты и цифровой модели рельефа SRTM были выделены селевые бассейны и рассчитаны их морфометрические характеристики (площадь водосбора, длина русла, средневзвешенный уклон водотока, уклон русла в расчетном створе). Оценка параметров потока на участке его наибольшего развития проводилась в соответствии с инструкцией ВСН-03-76 [Инструкция..., 1976].

Лавиносборы выделялись на основе цифровой модели рельефа SRTM с разрешением 30 м. Объем максимально возможных лавин рассчитывался с учетом коэффициента сносимости снега в соответствии с формулой [Божинский, Лосев, 1987]:

$$V = KAh, \quad (1)$$

где V – объем лавины; A – площадь зоны зарождения; h – высота снежного покрова в зоне зарождения; K – обобщенный коэффициент сносимости снега, определяемый при расчете максимального объема из соотношения $K = (h - 0,3)/h$. Средняя мощность снежного покрова по данным Росгидромета и результатам полевых наблюдений была принята равной 2 м.

Результаты исследования и их обсуждение.

Структурно-генетический подход основан на выделении природных территориальных комплексов (ПТК), обособление которых обусловлено морфолито-генной основой. В геосистемной иерархии о. Матуа представляет ПТК ранга ландшафт, внутри которого выделяется три местности – современного вулкана Пик Сарычева, вулканических построек древнего вулкана Матуа и морских террас (рис. 1).

Местность вулкана Пик Сарычева сформирована вокруг одноименного стратовулкана и занимает около половины острова. В структуре местности абсолютно преобладают неполные ПТК без почвенно-растительного комплекса, представленные лавовыми потоками и пирокластическими отложениями. Верхняя часть местности представляет собой безжизненную вулканическую пустыню, сформированную разновозрастными лавами и отложениями

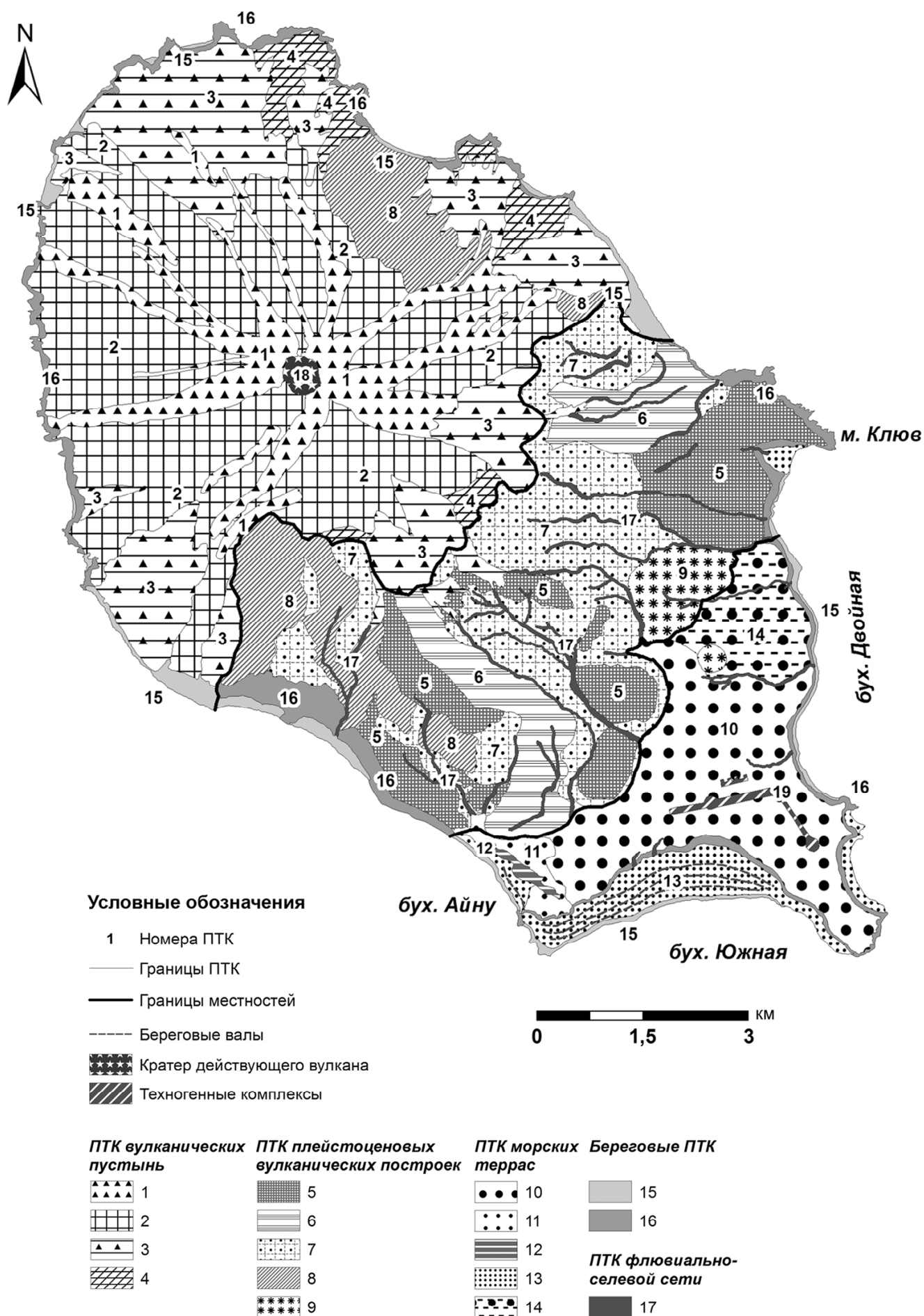
пирокластических потоков. Значительную площадь занимают снежники, часть из которых многолетние. В нижней части почвенный покров также отсутствует, но в растительном покрове начинают появляться растения-пионеры.

Местность вулканических построек древнего вулкана Матуа наиболее разнообразна по морфологической структуре. Литогенную основу доминантных урочищ образуют фрагменты разновозрастных вулканических плато, крутые склоны кальдеры древнего вулкана, отложения лавовых и пирокластических потоков более молодых извержений. На большей части местности преобладают густые заросли ольховника, сочетающиеся с участками горных тундр и луговыми полянами. Характерно, что под разными типами растительных сообществ формируются морфологически сходные органо-аккумулятивные грубогумусовые почвы, различия проявляются лишь на уровне растительных остатков, формирующих верхние органо-генные горизонты. Аналогичная закономерность – отсутствие четкой связи между молодыми вулканическими почвами с незрелыми поверхностными органо-генными горизонтами и растительными сообществами – отмечена и для вулканических районов Камчатки [Захарихина, Литвиненко, 2014].

Местность морских террас локализована в юго-восточной части острова и состоит из нескольких групп урочищ – низких (от двух-трех до 20 м), средних (до 30 м) и высоких (до 60–70 м). Значительная часть террас высокого уровня, прилегающих к фронтальным уступам древних лавовых потоков, перекрыта конусами выноса древних и современных отложений лахаров. В растительном покрове преобладают заросли ольховника, луга и луговые тундры.

Нуклеарная система острова. Остров Матуа представляет классический образец нуклеарной системы, где ядром является активный вулкан. Предполагается, что в основе острова лежит древний вулкан Матуа. На рубеже плейстоцена и голоцена произошло сильное кальдерообразующее извержение, и внутри кальдеры образовался вулкан Пра-Сарычев, проявлявший активность в течение всего голоцена. Современный вулкан Пик Сарычева – молодой (его возраст оценивается в 450–500 лет) и очень активный. Только в XX в. было отмечено восемь или девять извержений разной силы, еще два извержения имели место в XXI в., причем извержение в 2009 г. было достаточно сильным ($VEI = 3$) [Дегтерев и др., 2011]. В современный этап развития вулкана его извержения имеют преимущественно эксплозивный характер с преобладанием пирокластических отложений андезитобазальтового состава. При извержении в 2009 г. пирокластическая колонна поднялась на высоту до 16 км и обрушилась на остров и прилегающую акваторию, увеличив площадь острова на 1,1 км².

На современном этапе выделяется шесть основных составляющих воздействия вулкана на островной ландшафт – лавовые и пирокластические



потоки, пирокластические волны, лахары, выпадение тефры, газовые эмиссии [Иванов и др., 2017]. По степени влияния вулкана на природные геосистемы выделено три зоны (рис. 2). Границы между зонами проведены по качественным изменениям влияния вулкана: рубеж между зонами I и II проходит по границе сплошного распространения пирокластических потоков и отложений, между зонами II и III – по границе распространения пирокластических волн [Дегтерев, 2013]. Подзоны выделены по соотношению основных составляющих воздействия вулкана.

В зоне сильного влияния (зона I) происходит полное изменение литогенной основы. Влияние вулкана здесь абсолютно доминирует над зональными факторами. Характер развития геосистем здесь можно определить как импульсный по схеме «катастрофическая смена – восстановление – катастрофическая смена» с периодом в первые десятки лет. В ландшафтной структуре в настоящее время пре-

обладают вулканические пустыни без почвенно-растительного комплекса.

В зоне среднего влияния (зона II) на литогенную основу оказывают влияние отдельные языки пирокластических потоков во время сильных извержений, выпадение тефры и транзит лахаров по долинообразным понижениям. Пирокластические волны могут уничтожать растительный покров, но без изменения литогенной основы. Вулканизм по-прежнему доминирует над зональными факторами, однако если имеются продолжительные перерывы между извержениями, восстановление геосистем может дойти до зонально-островного типа растительного покрова (ольховники, луга, тундры). Почвы слабо развиты, обычно сформирован только верхний маломощный органо-генный горизонт, который сменяется гравелисто-щебнистой тефрой.

В зоне умеренного влияния (зона III) изменение литогенной основы происходит за счет выпадения тефры во время сильных извержений и аккумуляции кону-

Рис. 1. Ландшафтная карта о. Матуа. ПТК вулканических пустынь: 1 – лавовые потоки, выраженные в рельефе, без почвенно-растительного покрова; 2 – крутые склоны, сложенные переслаивающимися лавами и пирокластическими отложениями, без почвенно-растительного покрова; 3 – участки аккумуляции пирокластических отложений без почвенно-растительного покрова; 4 – склоны вулкана различной крутизны, сложенные переслаивающимися лавами и пирокластикой, под разреженными разнотравно-злаковыми лугами. ПТК плейстоценовых вулканических построек: 5 – выположенные поверхности лавовых потоков под ольховниками с участками разнотравно-злаковых лугов и луго-тундр на грубогумусовых почвах; 6 – крупные лавовые потоки и системы потоков под ольховниками в сочетании с луго-тундрами на литоземах и грубогумусовых почвах; 7 – склоны древних вулканических построек различной крутизны, расчлененные флювиально-селевыми долинами, под ольховниками и участками луго-тундр на грубогумусовых и мелкоторфянистых почвах; 8 – крутые и очень крутые склоны, густо расчлененные лавинными и селевыми лотками, под ольховниками и разреженными разнотравно-злаковыми лугами на петроземах; 9 – обособленные вулканические центры с пологоволнистыми или куполообразными вершинами и крутыми склонами под ольховниками на грубогумусовых почвах. ПТК морских террас: 10 – террасы высокого уровня (25–50 м), субгоризонтальные, сложенные галечниками и песками на цоколе вулканических пород, на значительной площади перекрытые древними и современными отложениями лахаров, под ольховниками, разнотравно-злаковыми лугами и луго-тундрами на грубогумусовых почвах; 11 – террасы среднего уровня (10–25 м), пологонаклонные к морю, сложенные галечниками и песками, под злаковыми лугами с фрагментами верещатниковых тундр и ольховников на грубогумусовых почвах; 12 – эрозионно-суффозионная ложбина в зоне разгрузки грунтовых вод под осоково-ситниковыми сообществами на торфяных эвтрофных слоисто-пепловых почвах; 13 – террасы низкого уровня (2–10 м), ступенчатые, сложенные песками с прослоями цунамигенных осадков и тефры, существенно переработанные цунами, под разнотравно-злаковыми лугами на псаммоземах гумусовых; 14 – поверхности проблематичного генезиса (50–80 м), слабонаклоненные, перекрытые мощным почвенно-пирокластическим чехлом, под ольховниками на грубогумусовых почвах. Береговые ПТК: 15 – пляжи песчано-галечниковые без почвенно-растительного комплекса и галечниково-валунные с фрагментами верещатниковых тундр и ольховников на грубогумусовых почвах или без почвенно-растительного покрова. ПТК флювиально-селевой сети: 17 – долинообразные понижения различной формы под ольховниками на слабо развитых слоистых почвах

Fig. 1. Landscape map of the Matua Island. Volcanic deserts: 1 – Lava flows, marked in relief, without soil and vegetation cover; 2 – Steep slopes composed of interstratified lavas and pyroclastic deposits, without soil and vegetation cover; 3 – Areas of accumulation of pyroclastic deposits without soil and vegetation cover; 4 – Volcano's slopes of different steepness, composed of interstratified lavas and pyroclastics, under sparse herb-grass meadows. Pleistocene volcanic structures: 5 – Flattened surfaces of lava flows under dwarf alder forests with areas of forb-grass meadows and meadow-tundra on coarse-humus soils; 6 – Major lava flows and flow networks under dwarf alder forests in combination with meadow-tundra on lithozems and coarse-humus soils; 7 – Slopes of ancient volcanic structures of varying steepness, dissected by fluvial-debris-flow gulleys, under dwarf alder forests and areas of meadow-tundra on coarse humus and small peat soils; 8 – Steep and very steep slopes, densely dissected by avalanche and debris flow cuts, under dwarf alder forests and sparse forb-grass meadows on petrozems; 9 – Isolated volcanic centers with gently undulated or domed peaks and steep slopes under dwarf alder forests on coarse humus soils. Marine terraces: 10 – High-level terraces (25–50 m), sub-horizontal, composed of pebbles and sands on a basement of volcanic rocks, overlapped over a large area by ancient and modern deposits of lahars, under dwarf alder forests, forb-grass meadows and meadow-tundras on coarse humus soils; 11 – Middle-level terraces (10–25 m), gently sloping to the sea, composed of pebbles and sands, under grass meadows with fragments of heather tundra and dwarf alder forests on coarse humus soils; 12 – Erosion-suffusion gully in the groundwater discharge zone under sedge-sitnik communities on peat eutrophic layered ash soils; 13 – Low-level terraces (2–10 m), stepped, composed of sands with interlayers of tsunamigenic sediments and tephra, significantly transformed by the tsunami, under forb-grass meadows on humus psammozems; 14 – Areas of questionable genesis (50–80 m), slightly sloping, covered with thick soil-pyroclastic cover, under dwarf alder forests on coarse humus soils. Marine coast: 15 – Sandy-pebble beaches without soil-vegetation complex and pebble-boulder beaches with fragments of a low sea terrace; 16 – Abrasion-denudation slopes, steep and very steep, with outcrops of bedrock, under meadows with areas of dwarf alder forests on coarse-humus soils or without soil and vegetation cover. Fluvial-debris-flow network: 17 – Valley-shaped depressions of various shapes under dwarf alder forests on underdeveloped layered soils

сов выноса лахаров. Характер развития можно определить как импульсно-эволюционный, при котором влияние вулкана и зональные факторы имеют примерно одинаковый вес. Зонально-островная растительность преобладает, в почвенном покрове формируются органо-аккумулятивные грубогумусовые почвы.

Ход развития абсолютного большинства природных комплексов на острове определяется вулканом Пик Сарычева, зона влияния которого охватывает весь остров и прилегающую акваторию. Одним из природных объектов на острове, который помогает восстановить ход развития геосистем в зоне влияния вулкана, является почвенно-пирокластический чехол (ППЧ), который можно анализировать и как продукт вулканизма, и с точки зрения почвообразования. Почвенный профиль на острове является полигенетическим, в средней части почвенного разреза вскрываются почвы морфологически близкие к подбурам, которые можно считать зональ-

но-островными, соответствующими климатическим условиям и растительности. Однако в верхней части разреза эти палеопочвы перекрыты современными, относящимися к отделу органо-аккумулятивных (преимущественно грубогумусовых). Современные почвы о. Матуа не успевают сформироваться до стадии подбуров, этому препятствует сверхактивный вулкан Пик Сарычева, который перманентно прерывает процессы почвообразования, перекрывая почвенные горизонты все новыми порциями тефры. В то же время в нижней части разреза вскрываются почвы, морфологически близкие к вулканическим охристым, характерным для Камчатки. По всей видимости, эти почвы формировались в совсем других природно-климатических условиях.

Парадинамические геосистемы. Другим типом ГС, обычно выделяемым при анализе полиструктурности ландшафтного пространства, являются парадинамические ГС, обособление которых свя-

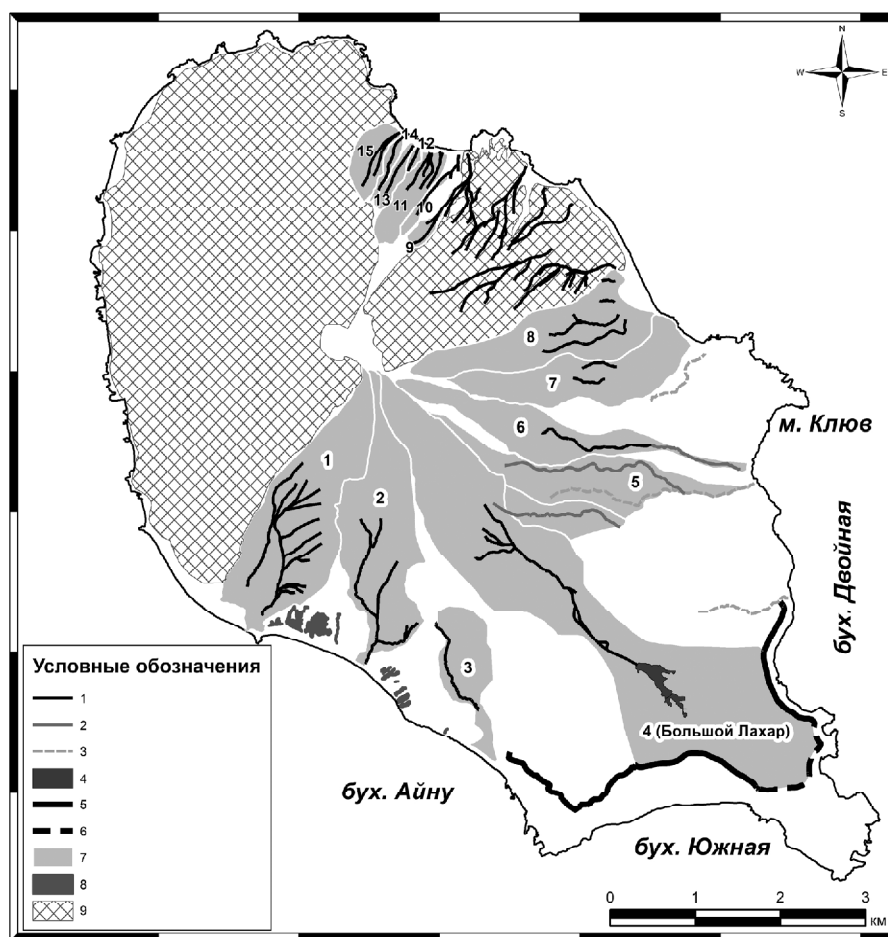


Рис. 3. Карта проявления селевых процессов на о. Матуа. Селевые русла: 1 – постоянно селеопасные; 2 – селеопасные при извержениях вулкана; 3 – реликтовые; 4 – конус выноса Большого Лахара 2009 г. Древние границы аккумуляции селей: 5 – подтверждаемые отложениями и рельефом; 6 – предполагаемые. Селевые бассейны: 7 – морфологически выраженные; 8 – мелкие бассейны на абразионно-денудационных склонах; 9 – область преимущественной аккумуляции лавовых и пирокластических потоков

Fig. 3. Debris flow map of the Matua Island. Debris flow channels: 1 – permanently dangerous; 2 – dangerous in case of volcanic eruption; 3 – relict; 4 – the Big Lahar fan (2009). Ancient borders of debris flows accumulation: 5 – confirmed by sediments and relief; 6 – supposed. Debris flow catchments: 7 – morphologically pronounced; 8 – small catchments on abrasion-denudation slopes; 9 – accumulation area of primary lava and pyroclastic flows

зано с латеральными вещественно-энергетическими потоками. В подавляющем большинстве случаев в качестве подобных образований рассматриваются бассейновые ландшафтно-гидрологические геосистемы. Однако на о. Матуа поверхностный сток отсутствует, несмотря на 1278 мм годовой суммы осадков: практически все осадки фильтруются через рыхлые пирокластические отложения. Вместе с тем большое значение приобретают селевые и лавинные геосистемы.

Селевые геосистемы получили весьма широкое развитие на острове, чему способствуют климатические и геолого-геоморфологические особенности о. Матуа. Селевые потоки формируются главным образом в результате выпадения интенсивных ливней. В весенний период и в периоды глубоких длительных оттепелей возможно формирование водоснежных потоков. Наличие вулканической деятельности обуславливает также образование специфического типа селевых потоков – лахаров. Их образование связано с извержением вулканов в зимне-весенний период, когда склоны вулкана покрыты глубоким снежным покровом. По соотношению водной и твердой составляющих селевые потоки относятся к грязекаменным. Преобладающим механизмом формирования является сдвигово-эрозионный.

Всего на о. Матуа отмечено 15 морфологических выраженных селевых бассейнов (рис. 3). Среди них выделяется селевой бассейн «Большой лахар», где максимальный расход селевого потока 1% обеспеченности достигает почти 700 м³/с, а общий объем селевого потока 1% обеспеченности (совместно твердая и жидкая фазы) – 425,5 тыс. м³. На основе расчетов, проведенных в соответствии с инструкцией ВСН 03-1976 [Инструкция..., 1976], по 15 бас-

сейнам суммарный объем селевых потоков 1% обеспеченности (совместно твердая и жидкая фазы) получился равным 1,62 млн м³ (табл.).

Лавинные геосистемы. Основными факторами лавинообразования на о. Матуа являются длительная и многоснежная зима с метелями и оттепелями, а также значительное эрозионное расчленение. Сходы лавин наиболее часты в декабре–феврале. В основном это лавины из мокрого метелевого сложного стратифицированного снега. Лавиноопасные участки о. Матуа делятся на три типа:

а) вулканический конус Пик Сарычева с густой сетью мощных и среднемошных лавин. Режим схода – зимне-весенний. Преобладают лавины, связанные с обильными снегопадами, метелями и зимними оттепелями;

б) средневысотный (до 1000–1100 м) вулканический горный рельеф. Высота снежного покрова здесь достигает 4 м и более в отрицательных формах рельефа. Характерна густая сеть мощных лотковых лавин и осовов. Режим схода лавин – зимне-весенний. Преобладают лавины, связанные с метелями, обильными снегопадами, зимними оттепелями и обрушением снежных карнизов;

в) абразионные морские берега. Распространены снежные осовы – разновидность лавин, возникающих при отрыве и скольжении снежных масс на ровном склоне, не изрезанном отрицательными формами рельефа. Образование снежных осовов в прибрежной зоне на участках с отмершими клифами может происходить в течение зимы несколько раз и связано в основном с метелями.

Всего на о. Матуа выделено 33 лавиносбора (рис. 4). Максимальные объемы лавин обеспеченностью 2% в разных лавиносборах варьируют

Таблица

Расчетные параметры селевых потоков 1% обеспеченности

Селевой бассейн	Q_c , м ³ /с	$W_{c1\%}$, м ³	$W_{t1\%}$, м ³	V_{sel} , м/с	h_{cp} , м	h_{max} , м	B_y , м
1	501,9	285 518	173 880	6,6	3,7	5,5	19,8
2	432,8	279 711	168 107	5,9	3,3	5,0	20,8
3	83,2	51 239	29 616	3,8	1,7	2,5	12,1
4 (Большой Лахар)	691,3	425 466	244 643	5,2	4,0	5,9	30,5
5	163,5	104 962	58 044	3,8	2,1	3,2	18,3
6	238,6	146 251	84 240	4,0	2,6	3,9	20,9
7	204,5	123 879	72 469	5,4	2,5	3,7	14,9
8	222,4	127 252	77 369	5,9	2,7	4,0	13,8
9	17,3	8 938	5 631	3,6	1,0	1,5	4,6
10	10,9	5 603	3 530	3,3	0,8	1,3	3,7
11	59,8	5 697	1 595	4,7	1,7	2,5	7,4
12	5,7	2 867	1 821	3,0	0,7	1,0	2,8
13	22,0	11 312	7 161	3,7	1,1	1,7	5,0
14	15,3	7 835	4 960	3,6	1,0	1,5	4,2
15	62,9	32 477	20 460	5,0	1,7	2,6	7,2

Примечание: Q_c – максимальный расход селевого потока 1% обеспеченности, м³/с; $W_{c1\%}$ – объем селевого потока (твердая и жидкая фазы) 1% обеспеченности, м³; $W_{t1\%}$ – объем выноса твердых материалов (в плотном теле) за расчетную волну селевого потока 1% обеспеченности, м³; V_{sel} – скорость селевого потока, м/с; h_{cp} – средняя глубина селевого потока, м; h_{max} – максимальная глубина селевого потока, м; B_y – ширина селевого потока.

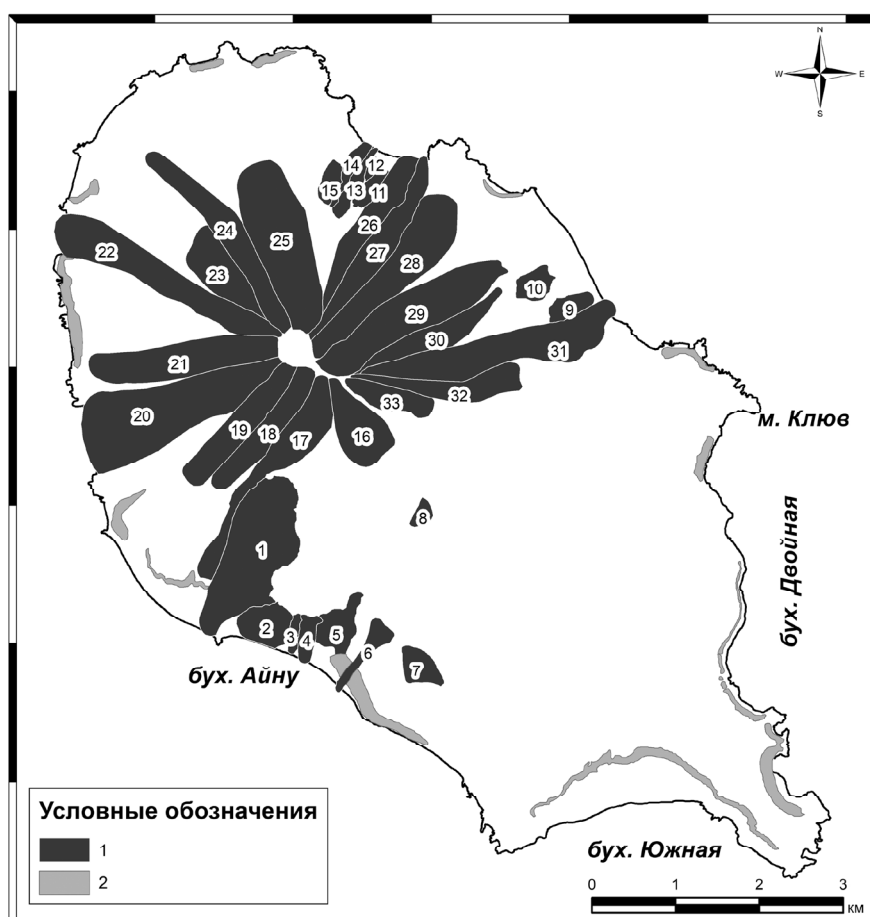


Рис. 4. Карта проявления лавинных процессов на о. Матуа: 1 – лавиносборы (преимущественно лотковые) вулканического конуса и горного рельефа; 2 – абразионные берега и уступы с распространением осовов

Fig. 4. Snow avalanche map of the Matua Island: 1 – avalanche paths (mainly gulleys) of the volcanic cone and mountainous relief area; 2 – abrasion coasts and benches with slab avalanche occurrence

от 2,16 млн м³ до 34 тыс. м³. Суммарная оценка по всем 33 лавиносорам дала результат 21,2 млн м³ (в расчеты не вошли осовы на береговых уступах).

На рис. 5 представлены объемы вещественных потоков, генерируемые разными источниками (при извержении вулкана в 2009 г., а также селевыми потоками и снежными лавинами). Сведения об объемах лавовых и пирокластических отложений и методика расчетов взяты из работы [Гришин и др., 2010]. Объем двух лавовых потоков, образовавшихся при извержении в 2009 г., составил около 10 млн м³ и подтвердился нашими полевыми исследованиями. Объем пирокластических отложений оценить сложнее, в литературе имеющиеся оценки расходятся в два раза [Гришин и др., 2010], с учетом наших полевых исследований для объема извергнутой тефры была принята нижняя оценка в 200 млн м³.

Тем не менее, как следует из представленных данных, объемы пирокластических отложений на порядок превосходят остальные вещественные потоки, что подтверждает ведущую роль вулкана Сарычева как главного ландшафтообразующего фактора для абсолютного большинства природных ком-

плексов острова. Излияния лав на современном этапе развития вулкана имеют подчиненное значение. Влияние лавинных систем на другие природные комплексы незначительно, несмотря на сравнительно большие объемы лавин. Относительно небольшой объем селевых потоков на диаграмме обусловлен тем, что для расчетов использовались показатели только для селей дождевого происхождения, для лахаров цифра, вероятно, будет на порядок выше, и их воздействие на природные комплексы острова значительно сильнее.

Беллигеративные комплексы. Во время Второй мировой войны на о. Матуа была создана крупная японская военно-воздушная база. В отдельные периоды на острове дислоцировалось более 7,5 тыс. японских военнослужащих. На морских террасах высокого уровня был построен аэродром, ангары для самолетов и тяжелой техники, командные пункты. Система обороны острова связана с несколькими ключевыми укрепленными районами в местах предполагаемой высадки десанта, имеющими внутреннее и внешнее сообщение с наземной и подземной инфраструктурой. В пределах укрепрайонов построена густая сеть траншей и ходов сообщения, про-

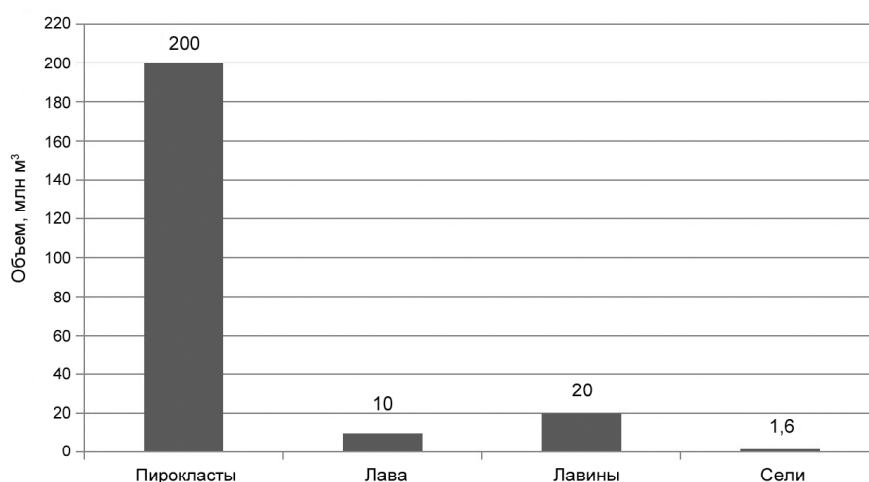


Рис. 5. Объемы вещественных потоков, генерируемых разными источниками, млн м³

Fig. 5. Volumes of material flows generated by different sources, mln m³

тивотанковых рвов, дотов, бетонных бункеров, блиндажей, капониров и т. п. Сеть наземных траншей, ходов сообщения, складов и других объектов во многих случаях проецировалась под землю, где находятся объекты, соединенные вертикальными шахтами с наземными.

Расположение объектов военной инфраструктуры тесно связано с ландшафтно-геоморфологической структурой островной суши, что подчеркивает ведущую роль рельефа в организации ПТК [Пузаченко и др., 1997]. Преобладающая часть фортификационных сооружений расположена в равнинной местности морских террас, где густота окопов и ходов сообщения (глубиной до 1,5 м) и противотанковых рвов (до 5 м глубиной) превосходит 20 км/км². Морские террасы перекрыты мощной толщей пирокластики, поэтому здесь проводились масштабные земляные работы. Напротив, постройки древнего вулкана Матуа с близким залеганием твердых вулканических лав отличаются высокой концентрацией подземных объектов военной инфраструктуры. К береговой зоне приурочено наибольшее количество дотов, укрытий для береговой артиллерии, пунктов технического и визуального наблюдения. Наибольшая плотность объектов военной инфраструктуры наблюдается на участках возможной высадки десанта (бухты Южная, Айну, Двойная, мыс Ключ). К господствующим высотам были приурочены огневые позиции, к долинообразным понижениям с широкими днищами – места расположения складов.

В результате сосредоточения защитных сооружений в местности морских террас эти территории исключительно насыщены бelligеративными комплексами, которые заметно воздействуют на природные комплексы. Густая сеть окопов и рвов на морских террасах играет роль своеобразной дренажной системы, которая усиливает провальный режим фильтрации атмосферных осадков через рыхлые пирокластические отложения. Как следствие на-

блюдается смена гигротопов от влажных сырых до свежих сухих. В структуре почвенного покрова значительное участие принимают техногенно нарушенные почвы. В растительном покрове террас преобладают обедненные злаковые и разнотравно-злаковые луга, а также луговые тундры. Видовое разнообразие фитоценозов возрастает только в пределах малонарушенных природных комплексов, где появляются виды из семейства норичниковых, орхидных и др.

Относительно небольшие размеры острова привели к необычайной насыщенности территории объектами полевой и военной инфраструктуры, многие из которых, как наземные, так и подземные, сохранились на острове к нашему времени. Сформировавшийся таким образом ландшафт с активным современным вулканом, имеющий в основе вулканическое происхождение, но структура которого значительно изменена фортификационными сооружениями и другими «милитаригенными» объектами, оказывающими значительное влияние на структуру и функционирование природных комплексов, предложено называть бelligеративно-вулканическим [Иванов, 2017]. В научной литературе подобные ландшафты (в региональном структурно-генетическом понимании термина «ландшафт») не описаны, поэтому его можно считать уникальным для России и эндемичным для Курильского архипелага.

Подводя итог, необходимо отметить, что представленные модели, удобные для решения тех или иных задач, отражают разные грани природы о. Матуа. Принципиальным обстоятельством является то, что все они имеют разную физическую основу. Традиционная ландшафтная карта, разработанная на базе структурно-генетических принципов, где ведущим фактором выступает литогенная основа, понятна всем ландшафтоведам, позволяет провести качественный и количественный анализ морфологической структуры, использовать сравнительно-географи-

ческий метод, сопоставляя разные ландшафты между собой. Модель нуклеарной системы удобна для иллюстрации особенностей развития природных комплексов в зависимости от главного системообразующего фактора – воздействия вулкана. Модели селевых и лавинных геосистем позволяют провести количественную оценку вещественных потоков и оценить распространение опасных природных явлений.

Представленные модели не исчерпывают всего разнообразия геосистем, формирующихся в ландшафтном пространстве. А.Ю. Ретеюм (1977) выделил 15 разновидностей природных систем (геоитов 4 порядка), которые могут формироваться под влиянием разных факторов вблизи земной поверхности. Примером другого типа геосистем является орнитогенная геосистема острова-сателлита Топорковый, расположенного в 1 км от о. Матуа. На острове имеется крупная многовековая колония морских птиц численностью около 150 тыс. особей. При отсутствии наземных хищников и человека гнездовья морских колониальных птиц (в основном это глупыши, топорки и тихоокеанские чайки) полностью занимают береговые склоны, а через геохимический прессинг оказывают влияние на вершинную поверхность острова и выступают системообразующим фактором в структурно-функциональной организации островной геосистемы в целом, изменяя практически все природные компоненты и межкомпонентные отношения (на острове сформирован особый орнитогенный микрорельеф и состав верхней части отложений, почвенно-растительный покров,

специфический химический состав поверхностных и грунтовых вод, своеобразный биогеохимический круговорот и т. п.) [Иванов, Авессаломова, 2008].

Закключение. Полиструктурность ландшафтного пространства существует в природе и отчетливо проявляется в пределах о. Матуа. На острове выделяется несколько типов природных объектов, попадающих под определение геосистемы как пространственно-временной системы природных компонентов, взаимообусловленных в своем размещении и развивающихся как единое целое. Специфика островного вулканического ландшафта – наличие ярко выраженного ядра в виде активного вулкана и отсутствие бассейновых геосистем в связи с небольшими размерами острова и отсутствием поверхностного стока. Вместе с тем в этих условиях большое значение приобретают селевые и лавинные геосистемы, объемы связанных с ними вещественных потоков достигают десятков миллионов кубических метров. Однако ведущую роль на современном этапе развития островного ландшафта играет вулкан Пик Сарычева и генерируемые им пирокластические отложения, объем которых (сотни миллионов кубических метров) на порядок превосходит другие структурообразующие вещественные потоки. Беллигеративные комплексы, широко представленные на острове, накладываются на исходную вулканическую основу и формируют уникальный беллигеративно-вулканический ландшафт, не имеющий аналогов в России и эндемичный для Курильских островов.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы «Факторы и процессы пространственно-временной организации природных и антропогенных ландшафтов» (госбюджет).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Божинский А.Н., Лосев К.С. Основы лавиноведения. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 280 с.
- Ганзей К.С. Ландшафты и физико-географическое районирование Курильских островов. Владивосток: Дальнаука, 2010. 214 с.
- Ганзей К.С. Полиструктурность и полигенетичность островных геосистем // Тихоокеанская география. 2020. № 1. С. 21–29.
- Гришин С.Ю., Гирина О.А., Верещага Е.М., Витер И.В. Мощное извержение вулкана Пик Сарычева (Курильские острова, 2009 г.) и его воздействие на растительный покров // Вестник ДВО РАН. 2010. № 3. С. 40–50.
- Гродзинский М.Д. Пізнання ландшафту: місце і простір. Київ: Изд-во Київск. ун-та, 2005. Т. 1. 431 с. Т. 2. 503 с.
- Дегтерев А.В. История эруптивной деятельности вулкана Пик Сарычева в голоцене (о. Матуа, Центральные Курильские острова): автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Владивосток, 2013. 27 с.
- Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Разжигаяева Н.Г. Исторические извержения вулкана Пик Сарычева (о. Матуа, Центральные Курильские острова) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2011. № 1. С. 102–119.
- Жучкова В.К., Зонов Ю.Б., Горяченков В.А. Методические приемы ландшафтных исследований вулканических районов Камчатки // Ландшафтный сборник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. С. 117–137.
- Захарихина Л.В., Литвиненко Ю.С. Генетические и геохимические особенности почв Камчатки. М.: Наука, 2011. 245 с.
- Иванов А.Н. Особенности ландшафтной структуры острова Матуа (Центральные Курилы) // Известия Русск. Геогр. общества. 2017. Т. 149. № 5. С. 26–35.
- Иванов А.Н., Беляев Ю.Р., Дегтерев А.В., Луговой Н.Н., Рыбин А.В., Хисматуллин Т.И. Опасные природные процессы на острове Матуа (Центральные Курилы) // Геориск. 2017. № 4. С. 28–38.
- Иванов А.Н., Авессаломова И.А. Ландшафтно-геохимические особенности орнитогенных геосистем Ямских островов (Охотское море) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2008. № 2. С. 35–42.
- Инструкция по определению расчетных характеристик дождевых селей ВСН 03-76. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 30 с.
- Исаченко А.Г. Ландшафтоведение на переходе ко второму столетию своей истории // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика: мат-лы XI Межд. ландшафт. конференции. М.: Географич. ф-т МГУ, 2006. С. 3–8.
- Коломыц Э.Г. Полиморфизм ландшафтно-зональных систем. Пушкино: ОНТИ ПИЦ РАН, 1998. 311 с.

Крауклис А.А. Проблемы экспериментального ландшафтоведения. Новосибирск: Наука, 1979. 232 с.

Макунина Г.С. Три составляющих системной организации ландшафта в концепциях Ф.И. Козловского, А.А. Крауклиса, В.Н. Солнцева // *География и природные ресурсы*. 2010. № 1. С. 18–23.

Мамай И.И. Отечественное ландшафтоведение: история, современное состояние, направления поиска // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 2008. № 1. С. 3–12.

Михеев В.С. Ландшафтный синтез географических знаний. Новосибирск: Наука, 2001. 216 с.

Николаев В.А. Ландшафтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 208 с.

Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Иванов А.Н. Анализ иерархической структуры рельефа как основы организации природно-территориального комплекса // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр.* 1997. № 1. С. 3–9.

Раман К.Г. Пространственная полиструктурность типологических геокомплексов и опыт ее выявления в условиях Латвийской ССР. Рига: ЛГУ им. Петра Стучки, 1972. 48 с.

Ретеюм А.Ю. О факторах и формах упорядоченности пространства оболочки Земли // *Вопросы географии*. Сб. 104. Системные исследования природы. М.: Мысль, 1977. С. 84–94.

Солнцев В.Н. Структурное ландшафтоведение: основы концепции // Структура, функционирование, эволюция природных и антропогенных ландшафтов: тезисы X Ландш. конф-ции. М.; СПб., 1997. С. 11–14.

Солнцев В.Н. О некоторых фундаментальных свойствах геосистемной структуры // *Методы комплексных исследований природы*. Иркутск: Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока, 1974. С. 26–36.

Хорошев А.В. Полимасштабная организация географического ландшафта. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 416 с.

Черкашин А.К. Полисистемное моделирование. Новосибирск: Наука, 2005. 280 с.

Gurevskikh O.Y., Yantser O.V. Seasonal Dynamics in the Context of Polystructural Organization of Landscapes, *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, A.V. Khoroshev, K.N. Dyakonov (eds.), Springer International Publishing, Nature Switzerland AG, 2020, p. 273–285, DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8.

Sysuev V.V. Multipattern (Polystructural) Organization of a Landscape: Geophysical Approach, *Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, A.V. Khoroshev, K.N. Dyakonov (eds.), Springer International Publishing, Nature Switzerland AG, p. 41–54, DOI: 10.1007/978-3-030-31185-8.

Поступила в редакцию 01.10.2020

После доработки 10.12.2020

Принята к публикации 21.01.2021

A.N. Ivanov¹, A.I. Moiseev²,
T.I. Khismatullin³, A.L. Shnyparkov⁴

POLYSTRUCTURAL ORGANISATION OF VOLCANIC LANDSCAPES ON THE MATUA ISLAND (CENTRAL KURILS)

The concept of polystructurality of the landscape space is discussed. The object of research is the Matua Island with an active volcano, absence of surface run-off and widespread development of debris-flow and avalanche complexes. Landscape map of the island's territory is presented, based on structural and genetic principles. Three geographic localities are identified within the island's landscape, namely that of the modern Peak Sarychev volcano with predominance of volcanic deserts, that of the ancient Matua volcano (the most complex one) and that of marine terraces of different levels (from 2–3 to 60–70 m). A model of the nuclear system with a core within the volcano crater has been developed. According to the degree of volcano's influence on natural complexes three zones have been identified, i.e. strong, medium and moderate. The main components of volcano's impact are lava and pyroclastic flows, pyroclastic waves, tephra fallout, and gas emissions. Debris-flow and avalanche geosystems have been identified and analyzed within the paradyamic geosystems interlinked by homodromous flows of matter and energy. The material flows generated by the volcano, avalanches and debris flows were quantified. The volume of two lava flows formed during the 2009 eruption was about 10 million m³. The volume of pyroclastic deposits is estimated at 200 million m³. Calculations of debris flows of 1% probability for 15 particular debris flow catchments revealed that they can vary from 5,7 to 691 m³/s and from the first thousands to 425 thousand m³ in volume. The total volume of debris flows of 1% probability is 1,62 million m³. The total volume of 2% probability snow avalanches for 33 catchments is estimated at 21,2 million m³. It was found that in the modern period the volcano is the main system-forming factor for the majority of natural complexes of the island. It is concluded that the polystructural nature of the landscape space is clearly manifested within the island and comes from the formation of different types of geosystems, based on different physical principles, within one and the same territory.

Key words: endogenetic processes, nuclear system, snow avalanches, debris flows

Acknowledgements. The work was done under the state-financed theme "Factors and processes of spatial-temporal organization of natural and anthropogenic landscapes"

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

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Physical Geography and Landscape Science, graduate student; *e-mail*: expsar@mail.ru.

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Engineer; *e-mail*: timkhism@gmail.com.

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Snow Avalanches and Debris Flows, Leading Scientific Researcher, PhD in Geography; *e-mail*: malyn2006@yandex.ru.

REFERENCES

- Bozhinskii A.N., Losev K.S. *Osnovy lavinovedeniya* [Foundations of avalanche science], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1987, 280 p. (In Russian)
- Cherkashin A.K. *Polisistemnoe modelirovanie* [Polysystem modeling], Novosibirsk, Nauka Publ., 2005, 280 p. (In Russian)
- Degterev A.V. *Istorija eruptivnoj dejatel'nosti vulkana pik Sarycheva v golocene (o. Matua, Tsentral'nye Kuril'skie ostrova)* [The history of eruptive activity of the Sarychev Peak volcano in the Holocene (the Matua Island, Central Kuril Islands)], Extended Abstract of PhD Thesis in Geology, Vladivostok, Institute of Marine Geology and Geophysics, 2013, 27 p.
- Degterev A.V., Rybin A.V., Razzhigaeva N.G. *Istoricheskie izverzheniya vulkana Pik Sarycheva (o. Matua, Tsentral'nye Kuril'skie ostrova)* [Historical eruptions of the Sarychev Peak volcano (the Matua Island, Central Kuril Islands)], *Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle*, 2011, no. 1, p. 102–119. (In Russian)
- Ganzei K.S. *Landshafty i fiziko-geograficheskoe raionirovanie Kuril'skikh ostrovov* [Landscapes and physiographic regional subdivision of the Kuril Islands], Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2010, 214 p. (In Russian)
- Ganzei K.S. *Polistrukturnost' i poligenetichnost' ostrovykh geosistem* [Polystructurality and polygenetics of island geosystems], *Tikhookeanskaya geografiya*, 2020, no. 1, p. 21–29. (In Russian)
- Grishin S.Yu., Girina O.A., Vereshchaga E.M., Viter I.V. *Moschnoe izverzhenie vulkana Pik Sarycheva (Kuril'skie ostrova, 2009 g.) i ego vozdeistvie na rastitel'nyi pokrov* [The powerful eruption of the Sarychev Peak volcano (Kuril Islands, 2009) and its impact on vegetation], *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN*, 2010, no. 3, p. 40–50. (In Russian)
- Grodzinskii M.D. *Piznannya landshaftu: mistse i prostir*, Kiiv, Kiivskiy un-t Publ., 2005, vol. 1, 431 p, vol. 2, 503 p. (In Ukrainian)
- Gurevskikh O.Y., Yantser O.V. *Seasonal Dynamics in the Context of Polystructural Organization of Landscapes, Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, Springer Nature Switzerland Cham, 2020, p. 273–285.
- Instruktsiya po opredeleniyu raschetnykh kharakteristik dozhdovykh selei VSN 03-76 [Instructions for determining the calculated characteristics of rain debris flows VSN 03-76], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1976, 30 p. (In Russian)
- Isachenko A.G. [Landscape studies in the transition to the second century of its history], *Landshaftovedenie: teoriya, metody, regional'nye issledovaniya, praktika, materialy XI Mezhdunarodnoy landshaftnoy konferentsii* [Landscape studies: theory, methods, regional studies, practice, materials of the XI International Landscape conference], Moscow, Geographic. Fakulty of Moscow St. un-ty Publ., 2006, p. 3–8. (In Russian)
- Ivanov A.N. *Osobennosti landshaftnoi struktury ostrova Matua (Tsentral'nye Kurily)* [Landscape structure peculiarities of the Matua Island (Central Kurils)], *Izvestiya Russk. Geograf. Obshchestva*, 2017, vol. 149, no. 5, p. 26–35. (In Russian)
- Ivanov A.N., Avessalomova I.A. *Landshaftno-geokhimicheskie osobennosti ornitogennykh geosistem Yamskikh ostrovov (Okhotskoe more)* [Landscape-geochemical features of ornithogenic geosystems of the Yamsk islands (the Sea of Okhotsk)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2008, no. 2, p. 35–42. (In Russian)
- Ivanov A.N., Belyaev Yu.R., Degterev A.V., Lugovoi N.N., Rybin A.V., Khismatullin T.I. *Opasnye prirodnye protsessy na ostrove Matua (Tsentral'nye Kurily)* [Dangerous natural processes on the Matua Island (Central Kurils)], *Georisk*, 2017, no. 4, p. 28–38. (In Russian)
- Khoroshev A.V. *Polimasshtabnaya organizatsiya geograficheskogo landshafta* [Multiple organization of geographical landscape], Moscow, Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ., 2016, 416 p. (In Russian)
- Kolomyts E.G. *Polimorfizm landshaftno-zonal'nykh sistem* [Polymorphism of landscape-zonal systems], Pushchino, ONTI Publishing and Printing Center RAN, 1998, 311 p. (In Russian)
- Krauklis A.A. *Problemy eksperimental'nogo landshaftovedeniya* [Problems of experimental landscape science], Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, 232 p. (In Russian)
- Makunina G.S. *Tri sostavlyayushchikh sistemnoy organizatsii landshafta v kontseptsiyakh F.I. Kozlovskogo, A.A. Krauklisa, V.N. Solntseva* [Three components of the systemic organization of landscape in concepts of F.I. Kozlovsky, A.A. Krauklis and V.N. Solntsev], *Geografija i prirodnye resursy*, 2010, no. 1, p. 18–23. (In Russian)
- Mamai I.I. *Otechestvennoe landshaftovedenie: istoriya, sovremennoe sostoyanie, napravleniya poiska* [Russian landscape science on the eve of its centenary], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2008, no. 1, p. 3–12. (In Russian)
- Mikheev V.S. *Landshaftnyy sintez geograficheskikh znanij* [Landscape Synthesis of the Geographical Knowledge], Novosibirsk, Nauka Publ., 2001, 216 p. (In Russian)
- Nikolaev V.A. *Landshaftovedenie* [Landscape science], Moscow, Moscow St. un-ty Publ., 2006, 208 p. (In Russian)
- Puzachenko Yu.G., D'yakonov K.N., Ivanov A.N. *Analiz ierarkhicheskoi struktury rel'efa kak osnovy organizatsii prirodno-territorial'nogo kompleksa* [Analysis of the hierarchical relief structure as a basis of organization of a natural-territorial complex], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 1997, no. 1, p. 3–9. (In Russian)
- Raman K.G. *Prostranstvennaya polistrukturnost' tipologicheskikh geokompleksov i opyt ee vyyavleniya v usloviyakh Latviiskoi SSR* [Spatial polystructurality of typological geocomplexes and the experience of its identification in the conditions of the Latvian SSR], Riga, Latv. St. un-ty Publ., 1972, 48 p. (In Russian)
- Reteyum A.Yu. [On the factors and forms of the space arrangement of the geosphere], *Voprosy geografii. Sb. 104. Sistemnye issledovaniya prirody* [Problems of geography. Vol. 104. Systems research in the study of nature], Moscow, Mysl' Publ., 1977, p. 84–94. (In Russian)
- Solntsev V.N. [On some fundamental properties of the geosystem structure], *Metody kompleksnykh issledovaniy prirody* [Methods for complex research of nature], Irkutsk, In-t geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka, 1974, p. 26–36. (In Russian)
- Solntsev V.N. [Structural Landscape Science: Concept Basics], *Struktura, funktsionirovanie, evolyutsiya prirodnikh i antropogennykh landshaftov* [Structure, functioning and evolution of natural and anthropogenic landscapes], Moscow, St. Petersburg, Rus. Geogr. Soc. Publ., 1997, p. 11–14.
- Sysuev V.V. *Multipattern (Polystructural) Organization of a Landscape: Geophysical Approach, Landscape Patterns in a Range of Spatio-Temporal Scales*, Springer Nature Switzerland Cham, 2020, p. 41–54.
- Zakharikhina L.V., Litvinenko Yu.S. *Geneticheskie i geokhimicheskie osobennosti pochv Kamchatki* [Genetic and geochemical features of soils of the Kamchatka Peninsula], Moscow, Nauka Publ., 2011, 245 p. (In Russian)
- Zhuchkova V.K., Zonov Yu.B., Goryachenkov V.A. [Methodological techniques for landscape studies of volcanic regions of Kamchatka], *Landshaftnyi sbornik* [Landscape science collection], Moscow, Moscow St. un-ty Publ., 1973, p. 117–137. (In Russian)

Received 01.10.2020

Revised 10.12.2020

Accepted 21.01.2021

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Общие требования к статье

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. 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.

Объем статьи (текст, таблицы, список литературы, рисунки, перевод на английский) не должен превышать 1 а. л. (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы), не более 50 тыс. знаков для обзорных статей. Объем кратких сообщений составляет 0,25 а. л. Рекомендуемый список литературы – до 30 наиболее актуальных работ по рассматриваемому вопросу. В обзорных статьях список литературы не должен превышать 60 источников. Для кратких сообщений список литературы может быть до 10 источников. Самоцитирований в списке литературы не должно быть более 10% от общего числа использованных источников.

Статья должна быть четко структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Все материалы статьи компонуется в **единый сводный файл в формате Word** и размещаются в нем в следующей последовательности:

1. УДК.
2. Название статьи.
3. Инициалы и фамилия автора(ов).
4. Для каждого автора приводится полное название учреждения, в котором выполнялось исследование, подразделение (кафедра, лаборатория и т. п.), ученая степень, должность, *e-mail*.
5. Аннотация статьи.
6. Ключевые слова.
7. Текст статьи.
8. Благодарности, в том числе финансирование.
9. Список литературы.
10. Таблицы.
11. Подрисуночные подписи.
12. Рисунки.
13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9, 11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12-м кеглем через один интервал; поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул отдельной строкой и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается деление ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по номерам рисунков (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутоновых и 600 dpi для черно-белых изображений. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прикладываются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько, то они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а не русскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала.

Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел.: +7(495)-939-29-23. Сайт журнала: <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru

Плата за публикацию не взимается.