

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Теория и методология

- Касимов Н.С., Голубева Е.И., Лурье И.К., Зимин М.В., Самсонов Т.Е., Тутубалина О.В., Рис У.Г., Михеева А.И., Аляутдинов А.Р. Библиотека спектральных характеристик географических объектов в структуре Геопортала МГУ имени М.В. Ломоносова 3
- Бабурин В.Л., Бадина С.В. Оценка социально-экономического потенциала территории, подверженной неблагоприятным и опасным природным явлениям 9

География и экология

- Грибок М.В., Тикуннов В.С. Природно-экологическая составляющая образного пространства России в СМИ (на примере «РИА-новости») 17
- Укашова С.С., Кречетов П.П. Оценка допустимого воздействия загрязняющих веществ на экосистемы Республики Казахстан 25

Методы географических исследований

- Габдуллин Б.С., Жоголев А.В., Савин И.Ю., Отаров А., Ибраева М.А., Голованов Д.Л. Использование многозональных спутниковых данных для дешифрирования засоленности почв орошаемых массивов (на примере Южного Казахстана) 34

Региональные исследования

- Семенков И.Н., Касимов Н.С., Терская Е.В. Радиальная геохимическая структура почв лесостепных суглинистых катен балочного водосбора в центре Среднерусской возвышенности 42
- Суркова Г.В., Соколова Л.А., Чичев А.Р. Многолетний режим экстремальных значений скорости ветра в Баренцевом и Карском морях 53
- Мысленков С.А., Архипкин В.С., Колтерманн К.П. Оценка высоты волн зыби в Баренцевом и Белом морях 59
- Чалов Р.С., Чжао Еань, Волкова Т.И., Лю Шугуан, Чалов С.Р., Завадский А.С. Влияние гидроузлов на русловые процессы в нижнем течении рек Хуанхэ и Янцзы 67
- Кипкеева П.А., Потапенко Ю.Я. Основные факторы обеспечения устойчивого туризма в Карачаево-Черкесии 76
- Носова А.Н. Локализованные перетоки знания и эволюция высокотехнологичных кластеров Баварии 82

Методика преподавания

- Серапинас Б.Б., Прохорова Е.А. Геоинфографика как современное направление геовизуализации в обучении студентов-картографов 94

- Юбилей* 100

MOSCOW UNIVERSITY GEOGRAPHY BULLETIN

CONTENTS

Theory and methodology

- Kasimov N.S., Golubeva E.I., Lurie I.K., Zimin M.V., Samsonov T.E., Tutubalina O.V., Rees W.G., Mikheeva A.I., Alyautdinov A.R. Library of spectral characteristics of geographical objects within the structure of the Lomonosov Moscow State University Geoportal 3
- Baburin V.L., Badina S.V. 9

Geography and ecology

- Gribok M.V., Tikunov V.S. Natural-environmental component of the imaginative space of Russia in mass media (case study of the RIA-Novosti agency) 17
- Ukashova S.S., Krechetov P.P. Evaluation of admissible impact of pollutants on the ecosystems of the Republic of Kazakhstan. 25

Methods of geographical studies

- Gabdullin B.S., Zhogolov A.V., Savin I.Yu., Otarov A., Ibrayeva M.A., Golovanov D.L. Application of multi-spectral satellite data for interpretation of soil salinization of the irrigated areas (case study of Southern Kazakhstan) 34

Regional studies

- Semenkov I.N., Kasimov N.S., Terskaya E.V. Vertical geochemical structure of soils of the forest-steppe loamy catenas of a balka water catchment area in the centre of the Srednerusskaya Upland 42
- Surkova G.V., Sokolova L.A., Chichev A.R. Long-term regime of extreme winds in the Barents and Kara seas 53
- Myslenkov S.A., Arkhipkin V.S., Koltermann K.P. Estimation of the height of swell in the White and Barents seas 59
- Chalov R.S., Zhao Yean, Volkova T.I., Liu Shuguang, Chalov S.R., Zavadsky A.S. Influence of waterworks facilities on channel processes in the lower reaches of the Huang He and Yangtze rivers 67
- Kipkeeva P.A., Potapenko Yu. Ya. Principal factors of sustainable tourism in the Karachai-Cherkess Republic 76
- Nosova A.N. Localized knowledge spillovers and the development of high-technology clusters of Bavaria 82

Methods of teaching

- Serapinas B.B., Prokhorova E.A. Geoinfographics as an actual trend in the process of cartography students training. 94

- Jubilees*. 100

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 502.1:528.855

Н.С. Касимов¹, Е.И. Голубева², И.К. Лурье³, М.В. Зимин⁴, Т.Е. Самсонов⁵, О.В. Тутубалина⁶,
У.Г. Рис⁷, А.И. Михеева⁸, А.Р. Аляутдинов⁹

БИБЛИОТЕКА СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В СТРУКТУРЕ ГЕОПОРТАЛА МГУ имени М.В. ЛОМОНОСОВА

Рассмотрена концепция структуры спектральной библиотеки Геопортала МГУ. Одна из частей спектральной библиотеки содержит информацию о растениях Севера (Кольский полуостров). Спектры объектов пространственно привязаны к базовой карте местности, а также наложены на многозональные и гиперспектральные космические снимки территории и тематические карты, полученные в результате дешифрирования снимков. При формировании библиотеки основное внимание уделено спектрам типичных видов растений. В полученной коллекции спектров учтены вариации спектральных характеристик отдельного вида, связанные с различием условий произрастания (например, увлажнением, экспозицией и крутизной склонов, свойствами почв и др.), характером и степенью техногенного воздействия. Авторами спроектирована спектральная библиотека северных растений, включающая следующие основные элементы для каждого объекта: описание объекта, данные спектрометрических измерений в виде текстового файла и графики, географические координаты и фото образца.

Ключевые слова: спектральные библиотеки, данные дистанционного зондирования, гиперспектральные космические снимки, растения Севера, Геопортал МГУ.

Введение. Спектральные библиотеки, или библиотеки спектральных характеристик объектов на поверхности Земли, представляют собой ценный источник информации для обработки данных дистанционного зондирования, они незаменимы при дешифрировании гиперспектральных космических снимков, которые содержат информацию о тонких спектральных различиях объектов и явлений.

В связи с запуском в 2013 г. российского спутника «Ресурс-П» с гиперспектральной аппаратурой на борту, а также начатыми ранее белорусско-российскими экспериментами по гиперспектральной съемке с борта Международной космической станции (МКС) и наличием в открытом доступе гиперспектральных космических снимков EO-1 Nuregion задачи по созданию библиотек спектральных характеристик различных поверхностей становятся все более востребованными.

Отметим, что на сегодняшний день в России общедоступных спектральных библиотек нет. Поэтому создание спектральных библиотек на основе систематических наземных спектрометрических измерений представляет актуальную задачу для повышения достоверности дешифрирования космических снимков.

Геопортал МГУ – геоинформационный комплекс, включающий аппаратную и программную части, а также базы данных космических снимков и карт, которые регулярно пополняются новыми материалами космических съемок, а также материалами пользователей самой системы [Касимов и др., 2013]. Для всех пользователей Геопортала МГУ реализована возможность доступа к файловому хранилищу космических снимков и Геопорталу МГУ из любой точки мира по интернету. Кроме того, существует открытая часть Геопортала МГУ, на которой публикуются резуль-

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

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

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, заведующая, проф., докт. геогр. н.; *e-mail:* lurie@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* zimimv@mail.ru

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, зав. лаборатории автоматизации в картографии, канд. геогр. н.; *e-mail:* tsamsonov@geogr.msu.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, вед. науч. с., канд. геогр. н., Ph.D.; *e-mail:* olgatut@mail.ru

⁷ Институт полярных исследований имени Р. Скотта, Кембриджский университет, Великобритания, старший лектор, Ph.D.; *e-mail:* wgr2@cam.ac.uk

⁸ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория аэрокосмических методов, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* arvin2@yandex.ru

⁹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, лаборатория автоматизации в картографии, ст. науч. с.; *e-mail:* ali_alia@mail.ru

таты научных и учебных проектов, выполненных на основе различных пространственных данных.

Таким образом, есть все предпосылки использовать платформу Геопортала МГУ для формирования и развития спектральных библиотек, чтобы платформа объединяла пространственную составляющую, представленную географической основой, материалами дистанционного зондирования, результатами их тематического дешифрирования, и спектральные характеристики объектов, что до настоящего времени не было реализовано.

Создание спектральных библиотек на основе систематических наземных спектрометрических измерений является актуальной задачей для радиометрической калибровки данных дистанционного зондирования и повышения достоверности дешифрирования снимков.

Цель наших исследований – создание пилотной версии спектральной библиотеки для северных растений и некоторых других объектов Кольского полуострова.

В соответствии с поставленной целью были поставлены и решались следующие задачи:

- формулировка принципов формирования спектральной библиотеки;
- получение спектральных характеристик различных объектов;
- создание пилотной версии спектральной библиотеки Геопортала МГУ.

Материалы и методы исследований. Сбор и подготовка данных для создания спектральной библиотеки различных природных объектов проводятся авторами с 2011 г. Измерения выполнены с помощью гиперспектрорадиометра «FieldSpec3 Hi-Res» (ASD Inc.), предназначенного для измерения абсолютных значений энергетической яркости и коэффициента спектральной яркости (КСЯ) с разрешением от 3 нм (в диапазоне 350–1000 нм) до 10 нм (в диапазоне 1000–2500 нм), прибор закуплен по Программе развития МГУ имени М.В. Ломоносова.

В 2012–2013 гг. отрабатывалась методика измерений, получено около 200 спектров для будущей библиотеки [Зимин и др., 2014], а в 2014 г. работа была ориентирована на реализацию проекта по созданию библиотеки спектральных образов арктических растений (Spectral library of Arctic plants) по программе ЕС для поддержки сети научных и образовательных арктических станций (INTERACT; www.eu-interact.org).

Измерения спектров растений проводились на Кольском п-ове в 2012–2014 гг. как контактными, так и бесконтактными методами в полевых условиях, а также в лаборатории по двум направлениям: измерения типичных видов растений в разных экологических условиях, измерения наиболее типичных экосистем по профилям с характерными сочетаниями растений (микроченозами).

В полученной коллекции спектров учтены вариации спектральных характеристик отдельных видов, а также их сочетаний, которые связаны с разными условиями произрастания (например, с ув-

лажнением, экспозицией и крутизной склонов, свойствами почв и др.), характером и степенью техногенного воздействия.

При спектрометрических работах проводили комплексные описания территории и фиксировали условия освещенности. Всего в библиотеку включено около 500 образцов отдельных видов растений и их сообществ в различных условиях местообитаний и при разном техногенном воздействии.

Результаты исследований и их обсуждение.

Опыт создания спектральных библиотек. Один из примеров создания спектральной библиотеки – ASTER Spectral Library [ASTER..., 2015], эта библиотека создана для поддержки дешифрирования 14-канальных снимков системы ASTER со спутника «Тегга». Текущая версия библиотеки (2.0), выпущенная в декабре 2008 г., содержит более 2400 спектров природных и искусственных материалов из трех коллекций данных – Университета Джона Хопкинса, Лаборатории реактивного движения НАСА и Геологической службы США [Baldrige et al., 2009].

Библиотека оснащена описанием методик спектрометрических измерений для каждой коллекции и интерфейсом поиска спектров по типу объекта. После поиска можно визуализировать спектр выбранного объекта (только один) и скачать текстовый файл данных (значения КСЯ на разной длине волны) для самостоятельной визуализации и анализа. Имеется возможность бесплатного заказа всей библиотеки на CD-ROM. На август 2014 г. библиотека содержала 1748 спектров минералов, 473 спектра горных пород, 69 спектров почв, 4 спектра растительности, видов растений, 9 спектров воды, снега и льда, 84 спектра искусственных материалов, 17 спектров лунного грунта и 60 спектров метеоритных материалов. Измерения, как правило, проводились в лабораторных условиях, у образцов нет географической привязки. Из указанного видно, что в библиотеке ASTER Spectral Library представлены в основном минералы и горные породы, практически нет информации о спектральных образах растений, в то время как значительные территории суши Земли покрыты сомкнутым растительным покровом, кроме того, отсутствуют фото образцов, нет их привязки к местности.

Существуют также спектральные библиотеки, направленные на дистанционное изучение других планет, например Марса. Среди них можно отметить спектральную библиотеку лаборатории полетов на Марс Аризонского университета [ASTER..., 2015], которая позволяет одновременно визуализировать несколько выбранных спектров, просматривать химические формулы выбранных минералов, экспортировать выбранные спектры и др.

Отметим, что данные о спектральных характеристиках объектов на земной поверхности редко организованы в виде общедоступных библиотек (исключение ASTER Spectral Library). Исследовательские проекты, в которых собраны и систематизированы спектрометрические данные, достаточно многочисленны, но обработанные результаты измерений пока не опубликованы.

Анонсирована, но пока недоступна спектральная и биохимическая база данных проекта изучения тропических лесов Spectranomics [The Spectranomics..., 2015].

Группа исследователей [Durgante et al., 2013] по спектральным характеристикам определяла виды деревьев в тропических лесах, в результате получено 36 образцов каждого вида (6 измерений шести листьев), достигнута достоверность 99,4% определения вида растения по усредненным значениям коэффициента спектральной яркости. Для измерений использованы высушенные листья, в том числе гербарные образцы, однако спектральная библиотека не опубликована.

В работе [Cambule et al., 2012] приводится пример создания библиотеки спектральных характеристик почв для оценки содержания органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в почве, на примере Мозамбика. Были измерены 412 образцов почв в диапазоне 1,25–2,5 мкм с разрешением 3,86 нм, 129 образцов использовано для создания модели определения содержания $C_{\text{орг}}$ по спектральным характеристикам. Результат рекомендован к использованию для картографирования почв в пределах Национального парка Лимпопо (1 млн га), однако спектральная библиотека не опубликована.

Создана библиотека спектральных характеристик болотной растительности (1336 образцов) на примере болота береговой зоны Калифорнии, Техаса и Миссисипи, что крайне актуально для воздушного и космического мониторинга труднодоступных болотных территорий [Zomer et al., 2009]. Для обработки измерений использована специализированная программа Spectral Analysis Management System (SAMS) [Spectral..., 2015], для обработки снимков результирующая спектральная библиотека создана в программе ENVI и успешно апробирована для дешифрирования гиперспектральных снимков. Авторы этой работы указывают на важность создания стандартизированных спектральных библиотек для различных регионов, свои данные они не опубликовали.

Спектральные характеристики верховых торфяных болот на возвышенностях исследованы на севере Англии, где детально изучены фенологические вариации на основе данных ежемесячных измерений в течение года, выявлена характерная динамика для каждого рассмотренного вида растений, но библиотека также не опубликована [Cole et al., 2014].

Принципы формирования спектральной библиотеки. На основе многолетнего опыта работы в области дешифрирования космических снимков, получения и использования данных спектрометрических измерений [Касимов и др., 2013; Экология..., 2003; Rees et al., 2004] мы считаем, что при создании спектральных библиотек важно соблюдать ряд принципов:

- использовать высококачественное калиброванное измерительное оборудование, которое обеспечивает получение подробных и достоверных данных;
- применять обоснованную и хорошо документированную методику измерений;

– выбирать типичные виды и их состояния, т.е. доминантные виды растений в основных фенологических фазах;

– обеспечить удобное пользование спектральной библиотекой, в том числе доступ через интернет, возможности поиска по территории, типу объекта, времени измерений, просмотр данных онлайн, экспорт данных из библиотеки для просмотра и анализа в программном обеспечении пользователя.

Спектральные характеристики объектов.

Нами спроектирована спектральная библиотека северных растений, включающая следующие основные элементы: описание объекта (географическое положение, рельеф и почвенный покров, флора и растительность, характер и степень антропогенного воздействия и др.), данные спектрометрических измерений (в текстовой и графической форме), условия проведения измерений и другая информация (рисунок).

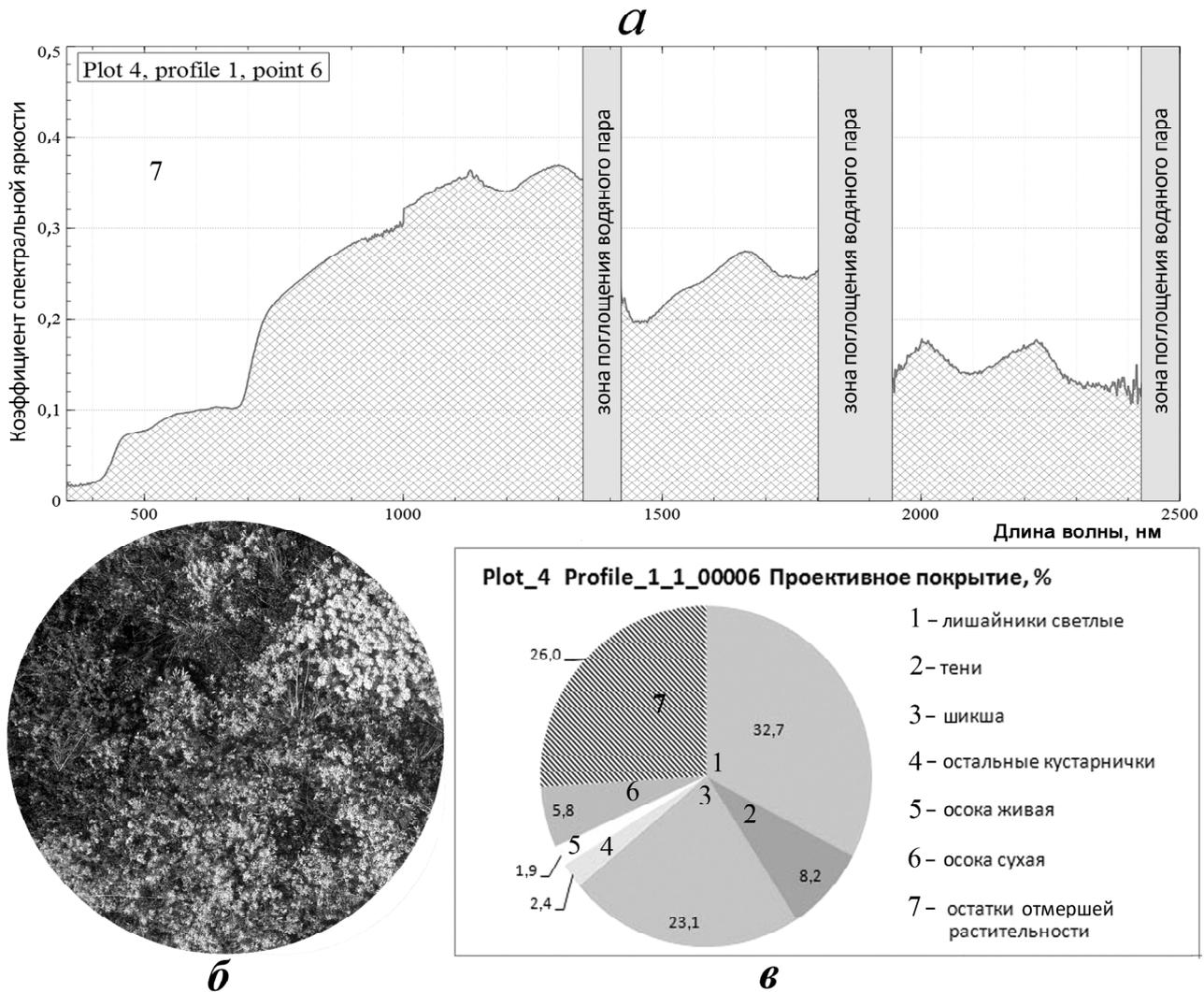
Пилотная версия спектральной библиотеки

Геопортала МГУ. К наиболее активно развивающимся направлениям геоинформатики на сегодняшний момент относятся геопортальные технологии, позволяющие не только визуализировать пространственные данные и анализировать их, но и обмениваться данными в рамках открытых коммуникационных сетей. С этой точки зрения геопортальные технологии оптимальны для развертывания и организации доступа к спектральной библиотеке.

Нами сформулирована и апробирована концепция создания спектральной библиотеки в структуре Геопортала МГУ. Эта платформа объединяет пространственную составляющую, представленную географической основой, исходными материалами дистанционного зондирования и результатами их тематического дешифрирования, а также содержательную часть базы данных, включающую результаты измерения, фотографии и другие характеристики образцов. Эффективное функционирование Геопортала МГУ в научно-исследовательской и образовательной сфере во многом опирается на данные изучения спектральных образов. Создание библиотеки спектральных образов позволит оптимизировать работу с данными дистанционного зондирования Земли разного уровня пространственного и спектрального разрешения.

Начаты работы по развертыванию программных средств поиска и анализа спектрометрических данных на Геопортале МГУ. Система предоставляет три вида поиска данных: по координатам, по адресной базе данных, по атрибутивной информации.

Результатом проведенного в 2014 г. исследования стала пилотная версия спектральной библиотеки для северных растений и некоторых других типов поверхностей в центре Кольского п-ова, включающая следующие основные элементы для каждого объекта: описание объекта, данные спектрометрических измерений в виде текстового файла и графика, географические координаты и фото образца. Данные из спектральной библиотеки можно использовать в междисциплинарных исследованиях поверхности Земли. Такого рода спектральная биб-



Графические данные для маршрутной точки спектрометрирования в экосистеме кустарничково-лишайниковых тундр, Ловозерский горный массив: *а* – график значений коэффициента спектральной яркости образца, *б* – фото образца (обрезано по полю зрения спектрорадиометра), *в* – диаграмма фракционного состава образца

лиотека создается впервые. Пилотная версия спектральной библиотеки Геопортала МГУ размещена по адресу URL: <http://www.geogr.msu.ru:8082/api/index.html?RUBKP>.

Выводы:

– исследования показали, что существуют разнообразные перспективы использования спектральных библиотек как для решения научных, так и прикладных задач. Эффективное функционирование Геопортала МГУ в образовательной и исследовательской сфере во многом опирается на данные изучения спектральных характеристик различных объектов. Предложенная концепция создания спектральной библиотеки и ее пилотная версия позволят оптимизировать работу с данными дистанционного зондирования Земли разного уровня разрешения;

– результаты исследований показали существенную вариацию спектральных характеристик различных видов растений, горных пород и минералов. Поэтому при создании спектральной библиотеки растений особое внимание необходимо обратить на их вариабельность в зависимости от фенологи-

ческого состояния, условий произрастания (увлажнение, затененность, экспозиция и крутизна склонов и др.), степени и характера техногенного воздействия. Это предполагает формирование сложной структуры базы спектральных характеристик и данных о состоянии каждого вида растения и возможность ее пополнения. Особого внимания требуют спектральные характеристики растительных сообществ, образуемых разнообразными сочетаниями растений разных видов и жизненных форм, которые преимущественно отображаются на космических снимках. Такая структура библиотеки касается не только растительности, но и почвенного покрова и каменистого субстрата. В соответствии с этим индивидуальные образы любых поверхностей должны дополняться образами их сочетаний на исследуемых территориях;

– анализ отечественного и зарубежного опыта показал, что создание спектральных библиотек относится к задачам, решаемым мировым научным сообществом, и вклад нашей страны составляет значимую величину.

Благодарности. Исследования выполнены за счет гранта РФФИ (гранты 13-05-12061, 13-05-00870), проекта Spectral Library of Arctic Plants международной программы ЕС INTERACT, а также Президентской программы поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-2248.2014.5.) и Программы развития МГУ до 2020 г.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета МГУ и ее заведующему Ю.Ф. Книжникову за предоставление спектрометрического оборудования, а также студентам А.А. Деркачевой, А.В. Устюхиной, Т.М. Гизатулину, С.А. Буториной, А.М. Трофайер и З. Звирад за помощь в сборе полевых данных, а В.Н. Семину за консультации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Зимин М.В., Тутубалина О.В., Голубева Е.И., Рус Г.У. Методика наземного спектрометрирования растений Арктики для дешифрирования космических снимков // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2014. № 4. С. 34–41.

Касимов Н.С., Зимин М.В., Тутубалина О.В., Ботавин Д.В. Геопортал МГУ – инновационная база для географических исследований // Информатизация географических исследований и пространственное моделирование природных и социально-экономических систем. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2013. С. 42–56.

Экология Севера: дистанционные методы изучения нарушенных экосистем (на примере Кольского полуострова). М.: Научный мир, 2003.

ASTER Spectral Library. URL: <http://speclib.jpl.nasa.gov> (Accessed: 15.10.2015).

Baldrige A.M., Hook S.J., Grove C.I., Rivera G. The ASTER Spectral Library Vers. 2.0 // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113, pp. 711–715.

Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A. Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique // Geoderma. 2012. Vol. 183–184, pp. 41–48.

Cole B., McMorrow J., Evans M. Spectral monitoring of moorland plant phenology to identify a temporal window for hyperspectral remote sensing of peatland // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2014. Vol. 90, pp. 49–58.

Durgante F.M., Higuchi N., Almeida A., Vicentini A. Species Spectral Signature: Discriminating closely related plant species in the Amazon with Near-Infrared Leaf-Spectroscopy // Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 291, pp. 240–248.

Rees W.G., Tutubalina O.V., Golubeva E.I. Reflectance spectra of subarctic lichens between 400 and 2400 nm. // Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 90, pp. 281–292.

Spectral Analysis and Management System. URL: <https://github.com/carueda/sams> (Accessed: 15.10.2015).

The Spectranomics Database. URL: http://spectranomics.stanford.edu/spectranomics_database (Accessed: 15.10.2015).

Zomer R.J., Trabucco A., Ustin S.L. Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing // J. Environ. Management. 2009. Vol. 90, pp. 2170–2177.

Поступила в редакцию 08.04.2015

Принята к публикации 11.09.2015

N.S. Kasimov¹, E.I. Golubeva², I.K. Lurie³, M.V. Zimin⁴, T.E. Samsonov⁵,
O.V. Tutubalina⁶, W.G. Rees⁷, A.I. Mikheeva⁸, A.R. Alyautdinov⁹

LIBRARY OF SPECTRAL CHARACTERISTICS OF GEOGRAPHICAL OBJECTS WITHIN THE STRUCTURE OF THE LOMONOSOV MOSCOW STATE UNIVERSITY GEOPORTAL

Structural framework of the MSU Geoport spectral library is discussed. A part of the library includes information about northern plants (of the Kola Peninsula). The spectra are referred to the topographic map and placed over multi- and hyperspectral space images and thematic maps resulting from imagery interpretation. Primary attention was given to the spectra of typical plant species. The collection of spectra considers the variations of spectral parameters of a certain species due to different site conditions, such as humidity, slope aspect and gradient, soil properties, etc., and the type and degree of technogenic impact. Each item of the designed spectral library of northern plants provides the description of the object, spectrometry data (textual file and graph), geographic coordinates and photo of a sample plant.

Keywords: spectral libraries, remote sensing data, hyperspectral satellite images, MSU Geoport, northern plants.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; *e-mail:* secretary@geogr.msu.ru

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

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Head of the Department, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* lurie@mail.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Aerospace methods, Senior Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail:* ziminmv@mail.ru

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Head of the Laboratory of Automatization in Cartography, Ph.D. in Geography; *e-mail:* tsamsonov@geogr.msu.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Aerospace Methods, Leading Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail:* olgatut@mail.ru

⁷ Scott Polar Research Institute, University of Cambridge, UK, Senior Lecturer, Ph.D.; *e-mail:* wgr2@cam.ac.uk

⁸ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Aerospace Methods, Senior Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail:* arwin2@yandex.ru

⁹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Laboratory of Automatisatation in Cartography, Senior Research Scientist; *e-mail:* ali_alia@mail.ru

Acknowledgement. The research was financially supported by the RFBR (projects 13-05-12061 and 13-05-00870), the Spectral Library of Arctic Plants Project of the EC INTERACT International Programme, the Presidential Programme of Support for the RF Leading Scientific Schools (SSc-2248.2014.5) and the MSU Development Programme till 2020.

The authors are grateful to the staff of the Laboratory of Aerospace Methods of the Department of Cartography and Geoinformatics, the MSU Faculty of Geography, and its Head, Prof. Yu.F.Knizhnikov for the provision of spectrometric equipment, to the students A.A.Derkacheva, A.V.Ustyukhina, T.M.Gizatulin, S.A.Buturin, A.M.Trofayer and Z.Zvirad for their assistance in obtaining the field data, as well as to V.N.Semin for his consultations.

REFERENCES

- ASTER Spectral Library. URL: <http://speclib.jpl.nasa.gov> (Accessed: 15.10.2015).
- Baldrige A.M., Hook S.J., Grove C.I., Rivera G. The ASTER Spectral Library Vers. 2.0 // Remote Sensing of Environment. 2009. Vol. 113, pp. 711–715.
- Cambule A.H., Rossiter D.G., Stoorvogel J.J., Smaling E.M.A. Building a near infrared spectral library for soil organic carbon estimation in the Limpopo National Park, Mozambique // Geoderma. 2012. Vol. 183–184, pp. 41–48.
- Cole B., McMorrow J., Evans M. Spectral monitoring of moorland plant phenology to identify a temporal window for hyperspectral remote sensing of peatland // ISPRS J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2014. Vol. 90, pp. 49–58.
- Durgante F.M., Higuchi N., Almeida A., Vicentini A. Species Spectral Signature: Discriminating closely related plant species in the Amazon with Near-Infrared Leaf-Spectroscopy // Forest. Ecology and Management. 2013. Vol. 291, pp. 240–248.
- Jekologija Severa: distancionnye metody izuchenija narushennyh jekosistem (na primere Kol'skogo poluostrova) [Ecology of the North: remote sensing study of disturbed ecosystems (on the example of the Kola Peninsula)]. M.: Nauchnyj mir, 2003 (in Russian).
- Kasimov N.S., Zimin M.V., Tutubalina O.V., Botavin D.V. Geoportal MGU – innovacionnaja baza dlja geograficheskikh issledovanij [Geoportal State University – an innovative framework for geographical research], Informatizacija geograficheskikh issledovanij i prostranstvennoe modelirovanie prirodnyh i social'no-jekonomicheskikh sistem. M.: Tov-vo nauchnyh izdanij KMK, 2013, pp. 42–56 (in Russian).
- Rees W.G., Tutubalina O.V., Golubeva E.I. Reflectance spectra of subarctic lichens between 400 and 2400 nm. // Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 90, pp. 281–292.
- Spectral Analysis and Management System. URL: <https://github.com/carueda/sams> (Accessed: 15.10.2015).
- The Spectranomics Database. URL: http://spectranomics.stanford.edu/spectranomics_database (Accessed: 15.10.2015).
- Zimin M.V., Tutubalina O.V., Golubeva E.I., Rees G.U. Metodika nazemnogo spektrometrovanija rastenij Arktiki dlja deshifirovanija kosmicheskikh snimkov [Methods of ground spectrometry of Arctic plants for satellite image interpretation], Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija. 2014, no 4. pp. 34–41 (in Russian).
- Zomer R.J., Trabucco A., Ustin S.L. Building spectral libraries for wetlands land cover classification and hyperspectral remote sensing // J. Environ. Management. 2009. Vol. 90, pp. 2170–2177.

Received 08.04.2015

Accepted 11.09.2015

УДК 911.3:33 (470.6)

В.Л. Бабури¹, С.В. Бадина²

ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ, ПОДВЕРЖЕННОЙ НЕБЛАГОПРИЯТНЫМ И ОПАСНЫМ ПРИРОДНЫМ ЯВЛЕНИЯМ

Предложена методика оценки уязвимости социально-экономических территориальных систем, подверженных воздействию неблагоприятных и опасных природных явлений (НОЯ) на уровне муниципальных образований. Для целей оценки создан интегральный индекс плотности социально-экономического потенциала территории. Соотношение значений этого индекса с показателями, характеризующими степень подверженности территории разным сочетаниям НОЯ (в пространстве и времени), позволит выявлять зоны максимального риска. В практическом плане методика может быть полезна при планировании развития территории, выборе оптимальных мест для реализации инвестиционных проектов, промышленного и гражданского строительства, инфраструктуры и пр.

Кроме того, методика может служить целям обеспечения безопасности уже существующих хозяйственных объектов и населения с учетом рисков НОЯ. Методика позволяет рассчитывать социально-экономический потенциал исключительно хозяйственно освоенной территории, а не административно-территориальной единицы в целом. Это позволит повысить объективность при оценке рисков стихийных бедствий, учесть фактор концентрации социально-экономического потенциала в пространстве. Методика апробирована на примере муниципальных образований регионов Северного Кавказа. В рамках методики предложен способ подсчета условного валового муниципального продукта (аналог валового регионального продукта).

Ключевые слова: социально-экономический потенциал территории, неблагоприятные и опасные природные явления (НОЯ), природные риски, Северный Кавказ.

Введение. Социально-экономическое развитие любой территориальной системы не может быть рационально спрогнозировано и спланировано без учета ее физико-географической характеристики как базисного первичного фактора развития. Особое практическое значение имеют комплексные междисциплинарные исследования на стыке физической и социально-экономической географии. Территория России в высокой степени подвержена множеству неблагоприятных и опасных природных явлений (НОЯ), которые даже в нынешний век высоких технологий остаются малопредсказуемыми и малуправляемыми, наносят тяжелый ущерб экономике и приводят к гибели населения. Особенно важно учитывать фактор подверженности территории НОЯ при планировании развития территориальных социально-экономических систем, поскольку научно обоснованное решение проблемы, снижение вероятных рисков предпочтительнее, чем ликвидация негативных последствий.

В России среди ученых, занимающихся оценкой рисков НОЯ, можно выделить В.А. Акимова, В.Л. Бабурина, П. Колтерманна, С.М. Мягкова, Г.Г. Малинецкого, В.И. Осипова, Е.Г. Петрову, Б.Н. Порфирьева, А.Л. Рагозина, А.Л. Шныпаркова и др. В ряде работ внимание акцентируется на том, что оценка риска НОЯ основана на учете двух факторов, влияющих на его величину: геофизических показателей опасного природного процесса и со-

циально-экономических показателей территории, на которую воздействуют рассматриваемые группы НОЯ [Мягков, 1995; Оценка..., 2003; Порфирьев, 2011; Рагозин, 2003]. Для этого необходимо разработать удобный и доступный алгоритм, позволяющий определить уровень риска для территории, который зависит, по-видимому, от сочетания двух параметров – социально-экономического потенциала и степени подверженности НОЯ. Понятие «социально-экономический потенциал территории» полисеманлично и многокомпонентно, в связи с чем, действуя в рамках неполной индукции, невозможно в отдельном исследовании охватить все его компоненты в полной мере, используя ограниченный набор статистических показателей. Тем не менее для разных целей исследования используют преимущественно специфические методики оценки социально-экономического потенциала территории, адаптированные к целям и задачам конкретной работы. В связи с этим экспертным путем выбирают группы параметров, методы их комбинирования и дальнейшей обработки. В большинстве случаев под потенциалом экономической системы понимают ее способность производить определенное количество продукции или услуг при реализации целевой функции [Гехаева и др., 2008]. Экономический потенциал региона характеризуется его основными составляющими: трудовым, материально-техническим, экологическим, управленческим, образовательным и

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, аспирант; *e-mail*: bad412@yandex.ru

другими видами потенциала [Андрианов, 1999; Социально-экономический..., 1990].

В настоящее время существует много разных методик, в той или иной степени направленных на оценку социально-экономического потенциала территории. На основании полученных данных создаются рейтинги и типологии регионов. Их разработкой и применением занимаются в крупных научных и учебных организациях (ИГРАН, Институт экономики переходного периода, МГУ имени М.В. Ломоносова, Министерство регионального развития Российской Федерации, НИСП, «Эксперт РА» и пр.), а также конкретные ученые. Среди ученых, географов и экономистов, работающих в этом направлении исследований, назовем С.Д. Валентя, А.Г. Гранберга, С.М. Дробышевского, Н.В. Зубаревич, О.В. Кузнецову, В.Н. Лексина, Т.Г. Нефедову, А.Д. Юдина и др.

Большинство методик основано преимущественно на составлении разного рода рейтингов, основанных на сочетаниях различных нормированных социально-экономических показателей с соответствующими весами или без них [Бутс и др., 2002; Типы..., 2006, 2010]. Такие оценки субъективны, поскольку весьма высока зависимость результатов от параметров, выбранных исследователем [Кузнецова и др., 2012], кроме того, проблемы связаны с ограниченностью статистики. Однако у таких оценок есть очевидная положительная сторона – они позволяют в достаточной степени объективно сравнивать множество территориальных единиц между собой.

Материалы и методы исследований. Мы предлагаем методику оценки социально-экономического потенциала территории, подверженной НОЯ, которая может быть в дальнейшем применима в практических целях, например при выборе оптимальных мест для реализации инвестиционных проектов, промышленного и гражданского строительства, инфраструктуры и пр. Кроме того, расчеты, выполненные в соответствии с предлагаемой методикой, могут послужить материалом для разработки программ по защите населения и хозяйственных объектов от потенциально возможных НОЯ на конкретной территории. С точки зрения научной ценности методика предлагает механизмы интегрирования трудно сопоставимых переменных в единый выходной параметр в зависимости от конкретной прикладной задачи.

На начальном этапе исследования необходима первичная мелкомасштабная оценка социально-экономических рисков НОЯ для территории, например, на уровне регионов и муниципальных образований, с целью отбора некоторых из них для более тщательных крупномасштабных исследований. Для этого необходимо разработать удобный и доступный механизм, позволяющий определить территории с максимальными рисками, т.е. с высокими социаль-

но-экономическим потенциалом территории и подверженностью НОЯ, поскольку риск представляет собой произведение вероятности наступления опасного явления и потенциального ущерба от его воздействия [Мягков, 1995; Оценка..., 2003; Порфирьев, 2011; Рагозин, 2003].

Предлагаемая методика заключается в разработке интегрального индекса, позволяющего оценить социально-экономический потенциал территории на системном мезоуровне (если рассматривать регион как макросистему, то на уровне муниципальных образований). По совокупности полученных данных составляется типология муниципальных образований одного или нескольких регионов, дифференцированных на группы в соответствии с уровнем социально-экономического потенциала, накопленного на их территории.

В этом направлении при оценке социально-экономического потенциала территории, выборе параметров и методов обработки статистических данных необходимо в первую очередь учитывать специфику воздействия НОЯ на антропогенные системы. В связи с этим можно выделить некоторые важные положения.

1. НОЯ, в том числе те из них, действие которых носит локальный характер, в большинстве случаев наносят ущерб всей территориальной социально-экономической системе за счет сложности ее внутренних связей (при условии соизмеримости площади оцениваемой территории и силы воздействия НОЯ).

2. НОЯ проявляются лишь на хозяйственно освоенной человеком территории, в противном случае они представляют собой естественные природные явления. В связи с этим социально-экономический потенциал территории рационально оценивать лишь для зоны наиболее интенсивного освоения, не распространяя его значение на всю административно-территориальную единицу, для которой предоставляется статистическая информация.

3. Набор НОЯ и особенности распределения социально-экономического потенциала по территории зависят от ее физико-географических условий (особенностей рельефа, наличия бассейнов крупных рек, климатических характеристик и пр.). Поэтому методика должна быть гибкой и легко трансформироваться в зависимости от характеристик конкретной территории.

В рамках работы для прогнозирования возможных материальных ущербов для территории, причиненных НОЯ, мы разработали интегральный индекс плотности социально-экономического потенциала территории. Наложение полученной модели на модель подверженности территории разным сочетаниям НОЯ позволит планировать развитие территории и обеспечение безопасности хозяйственных объектов и населения с учетом рисков НОЯ³.

³ Результаты интеграции значений социально-экономического потенциала территории и степени ее подверженности разным сочетаниям НОЯ представлены в разделах, выполненных авторами статьи в рамках отчета о НИР «Экспериментальные исследования поставленных перед НИР задач. Обобщение и оценка результатов исследований» по теме «Оценка природного риска, вызванного снежными лавинами и селевыми потоками на юге европейской части России и их мониторинг» (МГУ имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, 2013).

Результаты исследований и их обсуждение. При выборе параметров для оценки социально-экономического потенциала территории в целях оценки ее уязвимости к НОЯ, на наш взгляд, необходимо в первую очередь уделить внимание таким ее важнейшим характеристикам, как численность населения, стоимость основных фондов и валовой внутренний продукт [Бабурин и др., 2013]. Для первых двух параметров ущерб от потенциально возможных НОЯ носит преимущественно прямой характер и проявляется незамедлительно (гибель людей, выход из строя производственных мощностей, разрушение зданий и сооружений и пр.). Деструктивное влияние НОЯ на объем валового продукта территории тесно связано с первыми двумя параметрами, но может проявляться и напрямую, независимо от них (недопроизводство в перспективе за счет разрушения инфраструктуры, отдельных предприятий, производственных цепочек, сельскохозяйственных угодий и пр.).

В качестве объектов исследования, к которым может быть применима предлагаемая методика, особый интерес представляют регионы с неоднородным рельефом, где четко выражены горная, предгорная и равнинная части, что предполагает большое разнообразие форм расселения, видов хозяйственной деятельности, сочетаний НОЯ и как следствие разнообразие их негативных эффектов. В связи с этим для апробации методики и демонстрации возможных корректировок входных параметров индекса в зависимости от специфики территории можно рассмотреть регионы Северного Кавказа.

Рассмотрим группу НОЯ, имеющих площадное распространение и действующих, как правило, локально в границах определенных и постоянных участков (долины рек, селевые лотки, лавиноопасные склоны и пр.), это, например, наводнения и опасные склоновые процессы (снежные лавины, селевые потоки и др.).

При разработке методики особое значение имеет перевод абсолютных значений исходных параметров в удельные. Принимая во внимание вышеизложенные положения о специфике воздействия НОЯ на социально-экономические системы, необходимо ввести плотностные характеристики социально-экономического потенциала территории. В связи с этим при переводе входных параметров индекса социально-экономического потенциала из абсолютных значений в удельные целесообразнее соотносить их не с численностью населения (значение показателя на душу населения), а с единицей площади рассматриваемой территории. Однако плотность социально-экономического потенциала территории внутри ячеек административно-территориального деления (АТД), в разрезе которых предоставляются статистические данные, неоднородна, часто она имеет ярко выраженную центр-периферийную дифференциацию и дифференциацию между территориями с разным рельефом, что характерно для рассматриваемого нами примера.

Поэтому необходимо провести более трудоемкую процедуру, т.е. покомпонентно разделить абсолютные значения социально-экономических показателей, входящих в состав индекса (численность населения, основные фонды и валовой продукт), не на всю площадь муниципального образования, а на площадь соответствующей категории земель муниципального образования. Статистические данные, которые по всем муниципальным образованиям предоставляет Росстат, позволяют выделить для поставленных целей такие категории земель, как земли сельскохозяйственного назначения (показатель «площадь земель сельхозугодий») и земли поселений (показатель «общая площадь застроенных земель»), где преимущественно концентрируется основной социально-экономический потенциал территории. Показатели по населению и основным фондам, вероятно, необходимо соотносить с «общей площадью застроенных земель», а валовой продукт муниципального образования – с суммой показателей «площадь земель сельхозугодий» и «общая площадь застроенных земель», если доля агросектора в структуре экономики региона высока, как в выбранных нами регионах Северного Кавказа.

В качестве информационного источника данных для расчета интегрального индекса социально-экономического потенциала территории в разрезе муниципальных образований мы использовали базу данных показателей муниципальных образований Росстата. В качестве базовых параметров для составления формулы расчета интегрального индекса выбраны следующие:

1) численность населения на 1 января текущего года (человек);

2) стоимость основных фондов (по полной учетной стоимости, млн руб.). В разрезе муниципальных образований доступен лишь показатель «наличие основных фондов на конец года по полной учетной стоимости по коммерческим и некоммерческим организациям (тыс. руб.)». Под этим видом фондов, очевидно, следует понимать фонды организаций муниципальной формы собственности, т.е. муниципальный жилищный фонд и объекты городской инфраструктуры, муниципальные социально значимые объекты недвижимости (детские дошкольные учреждения, школы, библиотеки и пр.), которые вносят минимальный вклад в валовой муниципальный продукт, а также муниципальную недвижимость, используемую в коммерческих целях. Эти фонды, по нашим оценкам, составляют для разных регионов лишь ~5–20% от общей суммы, поэтому необходимо провести дооценку исходя из значений стоимости основных фондов по видам экономической деятельности (суммарного значения по субъекту). Такая оценка достаточно грубая, однако ее невозможно избежать при определении экономического потенциала муниципального образования с точки зрения рисков НОЯ. Она позволяет соблюсти основные пропорции и получить объективное распределение. Фонды по видам экономической деятельности (согласно общероссийскому классификатору видов эко-

номической деятельности (ОКВЭД)) предлагается рассчитывать для каждого муниципального образования следующим образом: стоимость фондов региона необходимо распределить пропорционально численности населения (сельского, городского или общей численности в зависимости от вида экономической деятельности) или пропорционально конечной стоимости произведенного по данному виду деятельности продукта. Затем при необходимости надо рассчитать среднее арифметическое этих значений. Сумма фондов, рассчитанных для каждого вида экономической деятельности, принимается за искомый параметр:

$$A = \sum a_i, (i = 1, 2, 3 \dots 8),$$

где a_i – стоимость основных фондов региона для вида экономической деятельности i , распределенных пропорционально численности населения или объему производства по данному виду деятельности в стоимостном выражении в каждом муниципальном образовании (либо – в зависимости от специфики вида экономической деятельности – их среднее арифметическое).

Так, фонды по виду экономической деятельности «добыча полезных ископаемых» рационально соотносить с объемами производства, «транспорт и связь» – с общей численностью населения, «сельское хозяйство» – со средним арифметическим объемом производства сельскохозяйственной продукции и численности сельского населения и т.д.;

3) условный валовой муниципальный продукт (УВМП, тыс. руб.). Здесь следует оговорить следующее допущение: сумма УВМП по муниципальным образованиям, рассчитанного по предложенной методике, будет несколько отличаться от значения ВРП, приведенного Росстатом. Однако в качестве базовых составляющих УВМП мы постарались выбрать те виды экономической деятельности, статистика по которым доступна в разрезе муниципальных образований и которые учитываются Росстатом в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости, и имеют значимую долю для конкретных регионов: 1) объем промышленного производства (сумма по трем видам экономической деятельности: производству и распределению электроэнергии, газа и воды, обрабатывающим отраслям и добыче полезных ископаемых); 2) объем производства продукции сельского хозяйства; 3) объем производства услуг населению; 4) оборот розничной торговли (в фактически действующих ценах).

Объемы промышленного и сельскохозяйственного производства в стоимостном выражении были суммированы с производством и распределением электроэнергии, газа и воды, что позволило на основе прямого расчета получить значения объема выпуска для реального сектора экономики (производство товаров).

По сектору услуг из-за отсутствия необходимых данных в разрезе муниципальных образований первоначально был рассчитан их душевой уровень по субъекту РФ (объем услуг в стоимостном выра-

жении в субъекте Российской Федерации, разделенный на численность его населения). Затем полученный коэффициент перемножали на численность населения конкретного муниципального образования и получали значения нормативного объема предоставляемых услуг в стоимостном выражении.

Следующим шагом было объединение (сложение) значений объема производства товаров и торговли (получены прямым расчетом) и услуг (получены на основе нормативного подхода) в стоимостном выражении с выходом на значения УВМП. Таким образом, формула для расчета УВМП (GMP) будет иметь вид:

$$GMP = IP + AP + PS + RT, \text{ тыс. руб.},$$

где IP – объем промышленного производства, тыс. руб., AP – объем сельскохозяйственного производства, тыс. руб., PS – объем услуг населению, тыс. руб., RT – оборот розничной торговли, тыс. руб.

Как отмечено выше, особое значение в предлагаемой методике имеет перевод абсолютных значений параметров в удельные с целью их сравнения между муниципальными образованиями и на основании этого создание рейтинга. Исходя из поставленных задач, т.е. оценки рисков НОЯ для социально-экономических систем, необходимо ввести понятие «плотность социально-экономического потенциала территории». Для этой цели введем переменные A_i , B_i , C_i , отражающие плотность компонентов индекса социально-экономического потенциала территории муниципального образования:

$$A_i = P_i/a_i,$$

где P_i – численность населения i -го муниципального образования, a_i – общая площадь застроенных земель i -го муниципального образования;

$$B_i = F_i/a_i,$$

где F_i – стоимость основных фондов i -го муниципального образования, a_i – общая площадь застроенных земель i -го муниципального образования;

$$C_i = (GMP)_i/(a_i + b_i),$$

где $(GMP)_i$ – УВМП i -го муниципального образования, a_i – общая площадь застроенных земель i -го муниципального образования, b_i – площадь земель сельхозугодий i -го муниципального образования⁴.

Следующий шаг – перевод полученных относительных значений компонентов индекса в безразмерные величины методом ранжирования. Муниципальным образованиям регионов присваивается ранг от 0 до 1 в зависимости от значения каждого из трех плотностных показателей (A_i , B_i и C_i). Предварительно для этой процедуры для каждой исходной переменной определяются максимальное (соответствующее единице) и минимальное (соответствующее нулю) значения среди всех муниципалитетов рассматриваемого региона. Затем для расчета ранга используется формула линейного масштабирования:

$$I_i = (X_i - X_{\min}) / (X_{\max} - X_{\min}),$$

⁴ Учитывается при условии, что доля агросектора в структуре экономики региона достаточно высока (например, выше среднероссийского значения).

где X_i – значение переменной для рассматриваемого муниципального образования, X_{\min} – наименьшее значение из группы сравниваемых переменных, X_{\max} – наибольшее значение. Сумма рангов по трем компонентам (A_i , B_i и C_i) дает искомый интегральный индекс плотности социально-экономического потенциала территории (I_i):

$$I = \sum R_k \quad (k = 1, 2, 3),$$

где R_1 – ранг муниципального образования по населению, R_2 – ранг муниципального образования по основному фонду, R_3 – ранг муниципального образования по условному валовому муниципальному продукту.

Затем составляется рейтинг муниципальных образований по уровню индекса плотности социально-экономического потенциала территории (распределение от максимального к минимальному значению). Предлагаем следующую типологию муниципальных образований по интервалам значений интегрального индекса:

- 1) очень высокая плотность потенциала ($I > 1$),
- 2) плотность потенциала выше среднего ($I \in (1; 0,5)$),
- 3) плотность потенциала ниже среднего ($I \in (0,5; 0,1)$),
- 4) очень низкая плотность потенциала ($I < 0,1$).

Сопоставление полученных результатов расчета интегрального индекса плотности социально-экономического потенциала территории с вероятностными моделями подверженности территории НОЯ в разных сочетаниях позволит создать целостное представление о территориях с максимальными рисками.

В целях подтверждения преимуществ предложенной методики над широко распространенным принципом соотнесения абсолютных значений социально-экономических показателей с площадью административно-территориальной единицы сравним результаты, полученные этими двумя способами, на примере регионов Северного Кавказа (рис. 1, 2). Для наглядности шкала интервалов во втором случае была принята в целом без изменений.

Таким образом, можно сделать важный вывод: если не учитывать концентрацию социально-экономического потенциала на хозяйственно освоенной территории, а равномерно распределять его по всей площади муниципального образования, получается более субъективная картина, которая затрудняет оценку реальных возможных ущербов от НОЯ. Как видно на рис. 2, при использовании предлагаемой методики наибольшую плотность социально-экономического потенциала имеют лишь городские округа, а между муниципальными районами различия не выражены четко. Наблюдается «классическая» центр-периферийная картина – максимальная плотность характерна для крупнейших городов и прилегающей к ним территории. Высокую плотность социально-экономического потенциала имеют также муниципальные образования Краснодарского края – наиболее экономически развитого из рассмотренных субъектов РФ, где высоки абсолютные значения

социально-экономического потенциала. Для наглядности мы ввели в шкалу дополнительный минимальный интервал, чтобы продемонстрировать центр-периферийную закономерность и влияние гор. Подавляющее большинство горных районов имеет минимальную плотность социально-экономического потенциала, более высокая плотность наблюдается в предгорьях, она снова убывает к равнинной периферии Ставропольского края и Дагестана – наиболее засушливым территориям на границе с депрессивной Калмыкией.

Расчет индекса с учетом хозяйственно освоенной территории демонстрирует уже несколько отличную ситуацию – на первый взгляд «пустые» и не заслуживающие детального рассмотрения периферийные горные муниципальные районы обладают определенным потенциалом, который имеет очень высокую степень концентрации, а соответственно, и большую степень уязвимости перед НОЯ (рис. 1). В качестве примера можно привести высокогорные (3000 м и более) Цумадинский и Тляртинский районы Дагестана, где крайне низки значения абсолютного социально-экономического потенциала, но за счет малой площади застроенных земель (27 и 52 га соответственно) чрезвычайно высока его концентрация. Детальный анализ показывает, что существует иерархия периферийных горных районов, в которой выделяются своеобразные субцентры. Основной социально-экономический потенциал сконцентрирован в межгорных котловинах, где на наиболее ровных участках на протяжении веков усиленно ведется земледельческое освоение, при этом селитебная зона расширяется за счет крутых скалистых склонов. Таким образом, дефицит земельных ресурсов для развития селитебной зоны подталкивает население горных районов к освоению потенциально наиболее опасных участков с точки зрения НОЯ.

Выводы:

– предложена методика оценки социально-экономического потенциала территории, подверженной НОЯ, которая позволяет дифференцировать территориальные единицы по объему потенциального ущерба от возможных природных катастроф. Необходимость оценки социально-экономического потенциала территории вытекает из понятия «риск», которое определяется двумя параметрами: вероятностью возникновения НОЯ и потенциальным ущербом от его воздействия;

– наложения простых вероятностных моделей НОЯ, действие которых носит площадной характер и отличается высокой повторяемостью во времени и пространстве, на модель, полученную посредством предложенной методики, на наш взгляд, достаточно для определения зон максимальных рисков на территории конкретных регионов;

– длительная итеративная процедура создания интегрального индекса социально-экономического потенциала территории, подверженной НОЯ, привела к необходимости введения плотностных характеристик. Этот вывод вытекает из сути понятия НОЯ, которые представляют наибольшую опас-

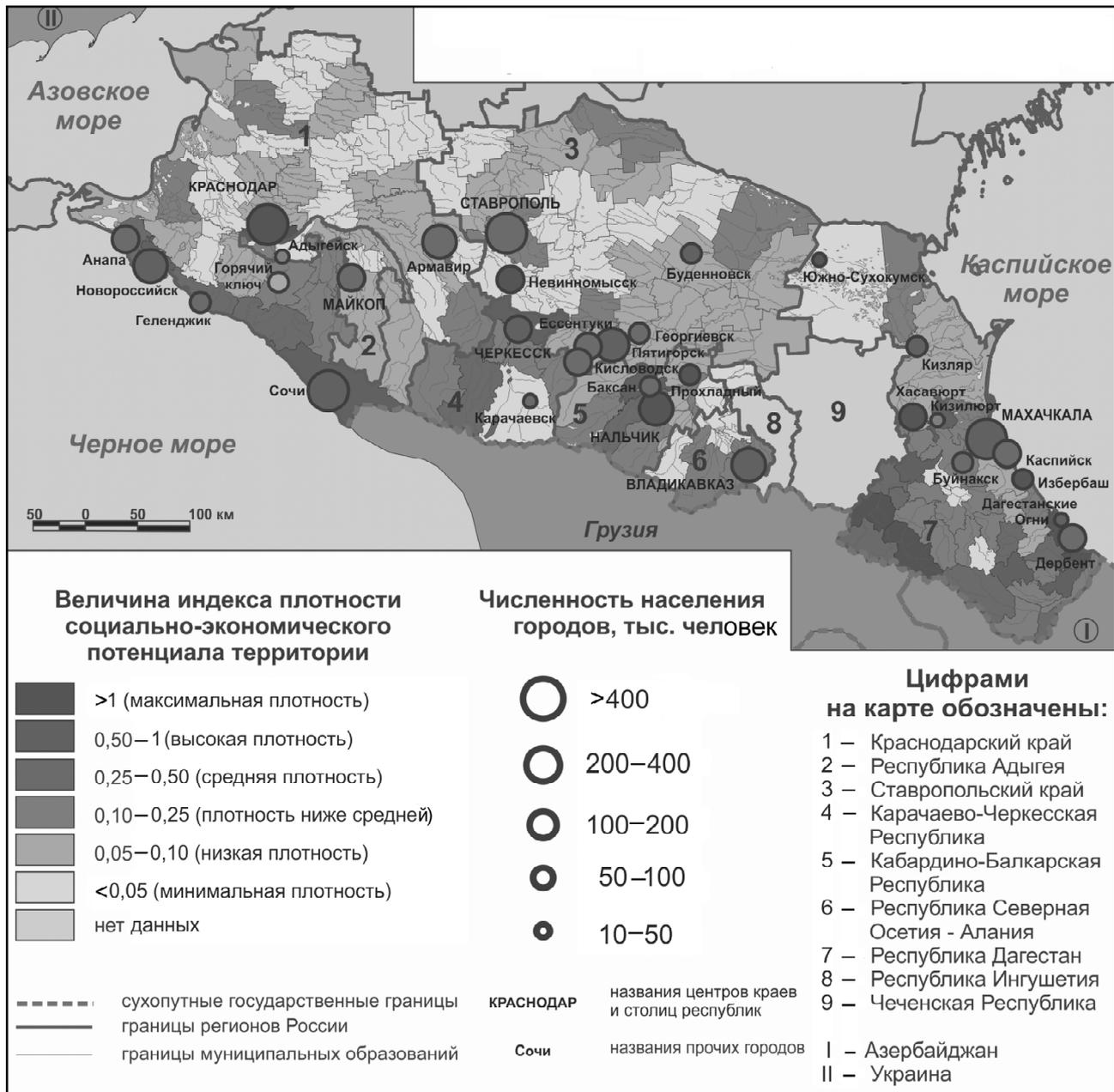


Рис. 1. Карта «Индекс плотности социально-экономического потенциала территории по муниципальным образованиям регионов Северного Кавказа, 2012 г.»

ность лишь на хозяйственно освоенной человеком территории. В противном случае они представляют собой лишь естественные природные явления. В связи с этим концептуальной основой предложенной методики стало соотношение абсолютных социально-экономических показателей, входящих в состав интегрального индекса, не на полную площадь муниципального образования, а лишь на площадь его освоенной территории, где и сконцентрирован основной социально-экономический потенциал. Ограниченность статистических данных позволила отождествить ее лишь с показателем площади застроенных земель и в ряде случаев – с площадью сельхозугодий;

– уровень муниципальных образований, на наш взгляд, оптимален для первичной грубой оценки, осуществляемой посредством предлагаемой методики, поскольку на этом уровне можно выявить территории, характеризующиеся максимальным социально-экономическим потенциалом и вместе с тем высокой вероятностью возникновения природных катастроф. Именно эти территории требуют дальнейших крупномасштабных исследований, что предполагает усложнение методики и учет большего числа параметров, поскольку ареалы активного действия НОЯ и хозяйственной деятельности человека не всегда пересекаются.

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

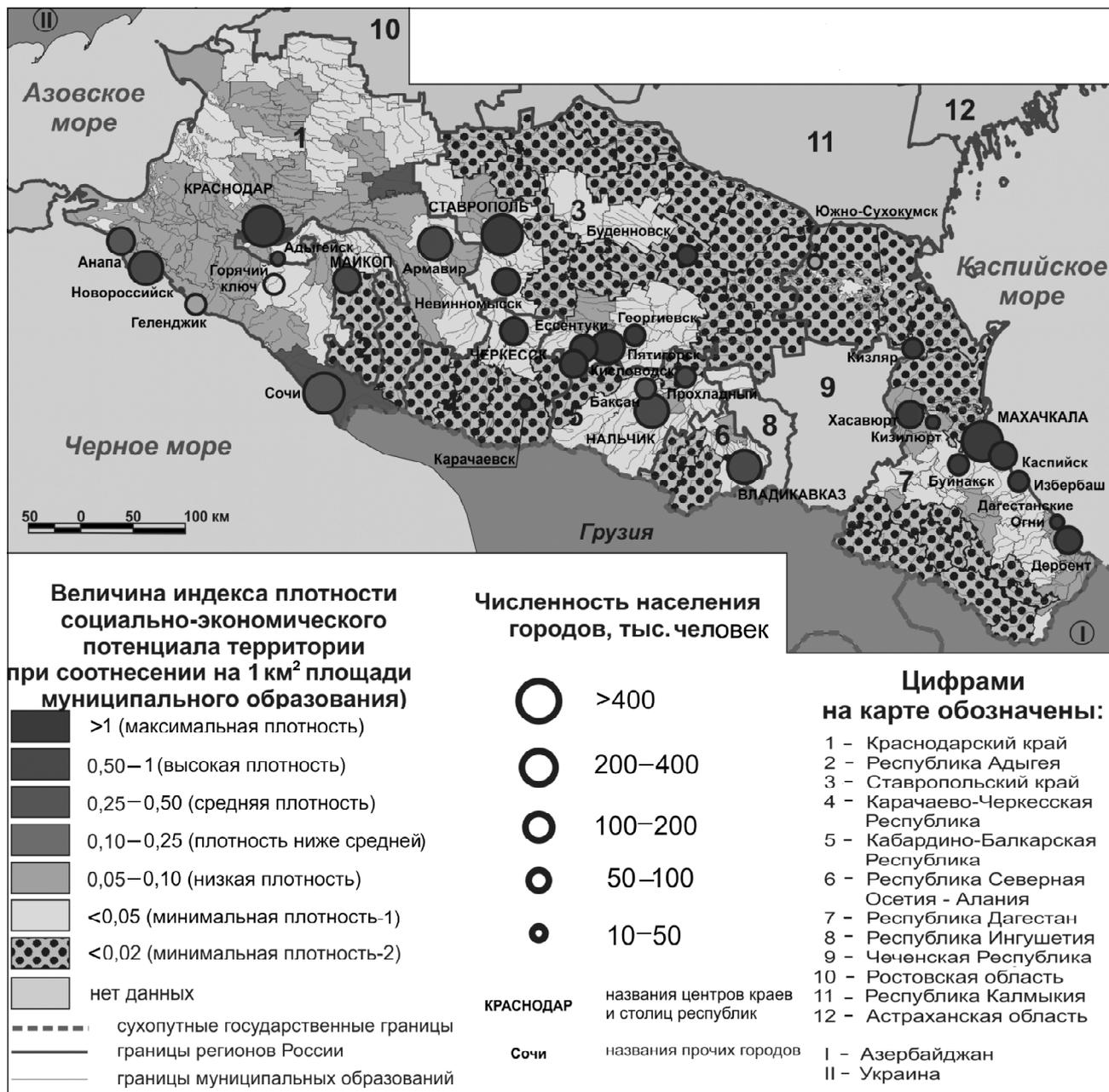


Рис. 2. Карта «Плотность социально-экономического потенциала территории по муниципальным образованиям регионов Северного Кавказа (при соотношении на общую площадь муниципальных образований), 2012 г.»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Андреанов В.Д. Россия: экономический и инвестиционный потенциал. М.: ОАО «Экономика», 1999.

Бабурин В.Л., Бадина С.В. Социально-экономическая оценка природных рисков регионов Юга России, развитие регионов в XXI веке: Мат-лы I Междунар. науч. конф. Ч. I. Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова, 2013. С. 17–21.

Бутс Б.С., Дробышевский С.М., Кочеткова О.А. и др. Типология российских регионов. М.: Институт экономики переходного периода, 2002.

Гехаева П.Т., Булгакова Л.Н. Методика оценки экономического потенциала региона // Современ. науч. исследования. 2008. № 3. С. 54–57.

Кузнецова О.В., Кузнецов А.В. Системная диагностика экономики региона. Изд. 3. М.: Кн. дом «ЛИБРОКОМ», 2012.

Мягков С.М. География природного риска. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995.

Оценка и управление природными рисками / Под ред. А.Л. Рагозина. М.: КРУК, 2003.

Порфирьев Б.Н. Природа и экономика: риски взаимодействия (Эколого-экономические очерки) / Под ред. В.В. Ивантера. М.: Анкил, 2011.

Рагозин А.Л. Современные методы и проблемы количественной оценки и управления природными рисками: Мат-лы Всеросс. конф. «Риск-2003». Т. 1. М.: Изд-во РУДН, 2003.

Социально-экономический потенциал и эффективность его использования (понятия, факторы роста, показатели). М.: МЭСИ, 1990.

Типы регионов по уровню социально-экономического развития. М.: НИСП, 2006, 2010.

Поступила в редакцию 30.03.2015
Принята к публикации 11.09.2015

V.L. Baburin¹, S.V. Badina²

EVALUATION OF THE SOCIAL-ECONOMIC POTENTIAL OF NATURAL HAZARD-SUBJECTED TERRITORIES

A methodology of assessing the vulnerability of socio-economic territorial systems of municipal level to natural hazards is suggested. A complex index of the density of socio-economic potential was designed for this purpose. Correlation of the index values with the degree of natural hazards exposure of a territory (both in space and time) will help to identify areas of the maximum risk. The methodology could be useful in territorial development planning or locating the investment projects, industrial and civil construction, infrastructure, etc. It could also help to ensure the safety of population and existing economic facilities taking into account the risk of natural hazards. The methodology provides for calculation of the socio-economic potential of economically developed area rather than the administrative-territorial unit as a whole, thus contributing to the adequate evaluation of the natural hazards risk with due consideration of the spatial concentration of socio-economic potential. We also suggest a technique of calculating the gross municipal product (an analogue of the gross regional product) as a part of the methodology. The suggested methodology was tested for municipalities of the Northern Caucasus regions.

Keywords: socio-economic potential of a territory, natural risks, Northern Caucasus.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-37-00038).

REFERENCES

- Andrianov V.D.* Rossiya: jekonomicheskij i investicionnyj potencial [Russia: economic and investment potential], OAO «Jekonomika», Moscow, 1999 (in Russian).
- Baburin V.L., Badina S.V.* Social'no-jekonomicheskaja ocenka prirodnyh riskov regionov Juga Rossii [Socio-economic assessment of the natural risks for Southern Russia regions], razvitie regionov v XXI veke: materialy 1 mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, Vol. 1, Vladikavkaz: Severo-Osetinskij gosudarstvennyj universitet imeni K.L. Hetagurova, 2013, pp. 17–21 (in Russian).
- Buts B.S., Drobyshevskij S.M., Kochetkova O.A.* et al. Tipologija rossijskih regionov [The typology of Russian regions]. Moscow, Institut jekonomiki perehodnogo perioda, 2002 (in Russian).
- Gehaeva P.T., Bulgakova L.N.* Metodika ocenki jekonomicheskogo potenciala regiona [Methods to assess the economic potential of the region], Sovremennye nauchnye issledovanija. 2008, no 3, pp. 54–57 (in Russian).
- Kuznecova O.V., Kuznecov A.V.* Sistemnaja diagnostika jekonomiki regiona [System diagnostics of the regional economy]. Ed. 3, Moscow, Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2012 (in Russian).
- Mjagkov S.M.* Geografija prirodnogo riska [The geography of natural risks]. Moscow, izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1995 (in Russian).
- Ocenka i upravlenie prirodnyimi riskami [Assessment and management of natural risks]. Pod redakciej A.L. Ragozina. Moscow, KRUK, 2003 (in Russian).
- Porfir'ev B.N.* Priroda i jekonomika: riski vzaimodejstvija. (Jekologo-jekonomicheskie ocherki) [Nature and economy: the risk of interaction (Ecological and economic essays)], pod redakciej V.V. Ivantera, Moscow, Ankil, 2011 (in Russian).
- Ragozin A.L.* Sovremennye metody i problemy kolichestvennoj ocenki i upravlenija prirodnyimi riskami [Modern methods, measurement issues and the management of natural risks]: materialy Vserossijskoj konferencii «Risk-2003». Vol. 1. Moscow, RUDN, 2003 (in Russian).
- Social'no-jekonomicheskij potencial i jeffektivnost' ego ispol'zovanija (ponjatija, faktory rosta, pokazateli) [Socio-economic potential and efficiency of its use (concept, growth factors, indicators)], Moscow, MJeSI, 1990 (in Russian).
- Tipy regionov po urovnju social'no-jekonomicheskogo razvitija [Types of regions in terms of socio-economic development]. Moscow, NISP, 2006, 2010 (in Russian).

Received 30.03.2015
Accepted 11.09.2015

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

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, post-graduate student; e-mail: bad412@yandex.ru

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 910.1:303.64

М.В. Грибок¹, В.С. Тикун²**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПРИРОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ
ОБРАЗНОГО ПРОСТРАНСТВА РОССИИ В СМИ (НА ПРИМЕРЕ
«РИА-НОВОСТИ»)**

Приводятся данные анализа географических особенностей распределения сообщений информационной службы «РИА-новости» на тему экологии и природопользования по регионам России. Существенно повышенное внимание СМИ к событиям в сфере экологии происходит, как правило, в тех случаях, когда освещаемые события или их последствия напрямую связаны с политическими или экономическими событиями не только регионального, но и федерального уровня, вызвали сильный общественный резонанс (дискуссии, масштабные акции протеста и т.д.), повлекли за собой гибель людей либо нанесли существенный вред здоровью, представляют угрозу существования уникальных природных объектов или вымиранию редких видов животных. Также особый интерес журналистов вызывают регионы, где одни и те же события закономерно повторяются из года в год.

Карты, построенные на основе собранных данных, выявили основные очаги внимания СМИ за исследуемый период (2006–2012) и позволили сделать выводы о характере неравномерности распределения новостей экологической тематики, а также о возможных причинах этой неравномерности. Карты отражают не объективно существующие характеристики субъектов РФ, а образное пространство России, формируемое средствами массовой информации. При этом важно, что фактически именно таким в среднем представляют себе «портрет» страны в экологическом контексте представители аудитории федеральных СМИ, в том числе люди и организации, ответственные за принятие управленческих решений в области экологии и природопользования, которые направлены на разработку информационной политики в рамках концепции перехода России к устойчивому развитию.

Ключевые слова: информационное пространство, регионы России, СМИ, экологический образ территории.

Введение. Среди глобальных проблем, противодействующих России на пути к устойчивому развитию, особое место занимают проблемы экологического характера. Они непосредственно влияют на качество жизни людей и тесно связаны с социальной и экономической сферами жизнедеятельности общества. При этом для России с огромными размерами ее территории разработка эффективных стратегий, касающихся проблем взаимодействия природы и общества, возможна только при грамотном подходе к информированию населения об экологических проблемах, существующих в разных регионах страны.

Согласно П.В. Касьянову [2005]: «...одним из базисных положений национальной политики устойчивого развития должно быть следующее: решение экологических проблем в принципе и переход к устойчивому развитию возможны лишь в результате радикального изменения мировоззрения, системы общественных ценностей». При этом очевидно, что самый масштабный по охвату населения источник актуальной информации об экологии, а значит, и фактор формирования массовых представлений о постоянно меняющемся состоянии окружающей сре-

ды в разных регионах страны представляют средства массовой информации [Опрос..., 2013].

Образное пространство России, формирующееся в СМИ, имеет свои географические особенности, поэтому для проведения грамотной информационной политики на уровне всей страны или отдельных регионов необходимы исследования этого «медийного» пространства страны.

Исследования материалов СМИ как транслятора особого образно-географического пространства в отечественной науке пока еще носят весьма фрагментарный характер. В основе большинства таких исследований лежит анализ материалов средств массовой информации, который осуществляется с применением математико-статистического аппарата. Исследуемая статистика может быть получена путем нахождения частоты упоминаний определенных слов в тексте архивов СМИ (контент-анализ), подсчета числа публикаций за определенный период или другими способами.

Примеры исследования образов стран, отраженные в материалах СМИ, представлены в работе Е. Дэвиса [Davis, 1988], статьях А.И. Миллера [1995, 1995a], В.А. Евсеева [2000], в диссертации

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория комплексного картографирования, науч.с., канд. геогр. н.; e-mail: marina.ary@gmail.com

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

О.А. Фокиной [2013]. С позиции применения математико-статистического подхода в исследованиях географических образов в СМИ интересны результаты, представленные в статьях В.А. Колосова с соавторами [2003], Н.Ю. Замятиной и К.М. Арутюнян [2005].

В методологическом плане также интересна работа Н.В. Петрова и А.С. Титкова [1998], в которой авторы исследуют образы российских регионов в средствах массовой информации и общественном массовом сознании. Анализ материалов СМИ в этих исследованиях совмещен с анализом результатов опроса экспертов. В частности, эксперты определяли уровень общей заметности регионов в новостном потоке.

С точки зрения визуализации результатов исследования показательна статья В.А. Колосова, В.С. Тикунова и Д.В. Зайца [2000], проиллюстрированная при помощи анаморфоз. Примечательно, что подобный опыт по созданию анаморфоз на основе числа упоминаний стран в газетных публикациях разных стран (правда, по данным всего за месяц) описан в книге британского ученого П. Коула, изданной в 1969 г. [Cole, 1969].

В диссертационной работе М.В. Грибок [2009] исследовано образное пространство России, формирующееся в новостных потоках ведущих федеральных телеканалов «Россия 1» и НТВ. При этом учтена динамика географического распределения новостей по регионам, а также рассмотрены следующие тематические категории: политика, экономика, криминал, культура и наука, происшествия, природные явления, экология, прочее для каждой тематической категории построены карты, отражающие особенности распределения внимания федеральных телевизионных СМИ по субъектам РФ. В частности, в результате анализа карты, отражающей распределение новостей по категориям «экология» и «природные явления» (НТВ, 2007), сделан вывод, что большинство новостей, которые касаются этих категорий, поступают из Дальневосточного региона – в первую очередь с Камчатки, а также из Сахалинской области (преимущественно это сюжеты о землетрясениях) и Приморского края, реже из Амурской области и Якутии (паводки, наводнения). Заметно некоторое увеличение числа сюжетов рассматриваемых категорий в прибрежных регионах. Это касается не только Дальнего Востока, но и некоторых западных субъектов РФ – Краснодарского края и Калининградской области. Множество сюжетов о природных явлениях и экологии относится и к Московской области, но чаще всего они связаны с погодой в Московском регионе.

Экологическая тема в СМИ важна не только с позиции формирования экологического мировоззрения россиян, но и крайне сложна с точки зрения журналистской работы. Состояние здоровья, благополучие человека напрямую связано с состоянием окружающей среды. Поэтому информация по этой теме воспринимается населением обострен-

но, как затрагивающая один из основных инстинктов человека – инстинкт выживания [Кочинева и др., 1999].

На особый раздел журналистики – экологическую журналистику возложен ряд важных функций: *информационная* – предоставление аудитории сведений о состоянии окружающей среды, информирование о существующем или потенциальном риске для здоровья человека и устойчивого существования экосистем;

просветительская – знакомство читателей с основными законами экосистем, с опасностью и негативными последствиями антропогенного воздействия на окружающую среду;

организационная – «стимулирование» населения к принятию тех или иных решений, к конкретным действиям;

контролирующая – информирование о деятельности властей, предприятий, влияющих на состояние окружающей среды; предоставление возможности людям реализовать свое право на знание о состоянии окружающей среды, утвержденное законодательством РФ, и защиту своего права на благоприятную окружающую среду [Кочинева и др., 1999].

Однако следует учитывать, что по ряду причин образное пространство России, формирующееся в СМИ, существенно отличается от реальности из-за намеренного или случайного отбора освещаемых событий корреспондентами, разной транспортной доступности территорий либо по другим причинам.

В совокупности множество новостных сообщений, поступающих из субъекта РФ за определенный период времени, формирует в представлении аудитории СМИ особый образ этого региона. Он может быть описан при помощи различных качественных и количественных параметров, характеризующих частоту появления сообщений и их тематические особенности.

Материалы и методы исследований. Картографический метод. По результатам опроса Фонда «Общественное мнение», проведенного в 2013 г., основными источниками актуальной информации для россиян служат: телевидение (указали 89% опрошенных), новостные сайты в интернете (29%), печатная пресса (26%). При этом с 2011 г. охват аудитории новостных сайтов растет примерно на 3% в год [Опрос..., 2013]. Такой стремительно растущий интерес населения к интернет-СМИ обусловил выбор источника информации для наших исследований в пользу электронного новостного ресурса – сайта «РИА-новости» [URL: www.ria.ru].

До реорганизации в 2013 г. компания «РИА-новости» была одним из крупнейших информационных агентств России, поставляющим новостные ленты для правительственных структур, ведущих министерств и ведомств, администраций регионов, общественных организаций, многих российских и зарубежных СМИ. Целевая аудитория агентства – весьма широкий круг лиц, интересующихся ежедневными новостями и разносторонней информаци-

ей. По данным GoogleAnalytics на апрель 2012 г., совокупная аудитория сайтов агентства «РИА-новости» превысила 20 млн уникальных посетителей в месяц [URL: http://ria.ru/docs/about/ria_history.html].

Для исследования составлена реляционная (табличная) база данных сюжетов архива сайта www.ria.ru по теме «экология» за период с 2006 по 2012 г., доступных в архиве через функцию расширенного поиска, позволяющую отбирать новости с заданными метками. Для базы данных отобраны только те сюжеты, в заголовке которых указана региональная принадлежность освещаемого события (новости о Москве и Санкт-Петербурге нами не учитывались).

Новости, обозначенные в архиве меткой «экология», весьма разнообразны. В основном это сюжеты, касающиеся разнообразных аспектов взаимодействия природы и человека. Речь в них может идти о влиянии природных факторов на жизнь человека (чаще всего негативном, т.е. об опасных природных явлениях, температурных аномалиях и т.д.) или, наоборот, о влиянии человека на природу, как правило, в новостных сюжетах представлены его негативные аспекты: браконьерство, незаконные вырубки лесов, загрязнение окружающей среды и т.д. Но встречаются сюжеты и о положительном или нейтральном результате воздействия человека на природные сообщества (охрана природы, экологический туризм, исследования в сфере экологии).

При составлении базы данных выделен следующий ряд узких тематических категорий сюжетов: опасные природные и климатические явления, лесные пожары, паводки, браконьерство, гибель животных, загрязнение почв, загрязнение вод, загрязнение воздуха, вырубка лесов, аномально высокая температура, аномально низкая температура, экологические исследования, заповедники, также введена категория «прочее». Количественные особенности распределения информационных сюжетов по регионам России и тематическим категориям стали материалом для построения серии карт.

Результаты исследований и их обсуждение.

Карта, представленная на рис. 1, иллюстрирует общую картину распределения информационных сюжетов экологической тематики по регионам России. В целом наблюдается тенденция к увеличению интереса СМИ к событиям и явлениям в сфере экологии от западных регионов к восточным. Сюжеты о регионах Дальнего Востока и в меньшей степени Восточной Сибири достаточно регулярны, а их территориальная принадлежность суммарно охватывает почти всю территорию Зауралья. Для европейской части России наблюдаются только отдельные очаги внимания СМИ к экологическим новостям – Краснодарский край, где в исследуемый период осуществлялась подготовка к Олимпиаде в Сочи, и Московская область.

Весьма характерно отобразилось на карте кольцо регионов, окружающих Подмоскovie. В основном составляющие его субъекты РФ характеризуются наименьшим числом сюжетов по экологичес-

кой тематике. Как правило, если в новостях идет речь об этих регионах, одновременно упоминается сразу несколько субъектов РФ, т.е. сюжеты привязаны не к локальным точкам, а к достаточно обширным пространствам (например, к европейской части России в целом) и, следовательно, не были внесены в базу данных.

Также на карту нанесено 16 точек, обозначающих локализации наиболее освещаемых в СМИ событий в сфере экологии и природопользования за исследуемый период (2006–2012). В получившемся списке событий присутствуют различные природные катастрофы, новости об охране популяций редких видов животных, часто повторяющихся природных явлениях и т.д. В целом размещение наиболее освещаемых событий экологической тематики соответствует общим закономерностям территориального распределения сюжетов из базы данных по территории России.

Следующие две карты иллюстрируют особенности освещения в СМИ отдельных категорий событий экологической тематики. На рис. 2 представлено распределение по субъектам РФ освещаемых в СМИ природных и климатических явлений, связанных с ограничениями каких-либо аспектов жизнедеятельности человека, угрозой его жизни или здоровью либо с риском нанесения материального ущерба. Среди информационных сюжетов такого типа выделяются следующие преобладающие темы: лесные пожары, паводки, опасные погодные условия, лавинная опасность, землетрясения. При этом для большинства регионов можно достаточно четко выделить одну из перечисленных тем, существенно превосходящую по числу сюжетов остальные тематические категории.

Фон на карте передает два параметра – число сюжетов об опасных природных и климатических явлениях в год (более темный фон) и преобладающую тематику таких новостей (отображаемых тоном); если сюжетов суммарно меньше 5 в год, преобладающая тематика не выделяется, такие регионы обозначены в легенде наиболее светлым фоном.

На этой карте достаточно четко прослеживаются географические закономерности распределения преобладающих категорий новостей. Сюжеты с тематикой «опасные погодные условия» в основном доминируют в новостях о регионах, имеющих выход к морю. Часто повторяющиеся новости о сильных ливнях, снегопадах, штормовых предупреждениях, закрытии автодорог или отмене авиарейсов по причине неблагоприятных погодных условий становятся важным фактором формирования массовых представлений о таких регионах, как Сахалинская область и Камчатский край. Эта категория сюжетов преобладает во всех субъектах РФ, имеющих выход к Тихому океану, а также в некоторых других приморских регионах – Краснодарском крае, Дагестане, Ленинградской и Калининградской областях.

Преобладание тематики «паводки» наблюдается в новостях из Республики Саха (Якутия), а так-



Рис. 1. Освещение событий экологической тематики в СМИ (по данным архива www.gia.ru за 2006–2012 гг.). Цифрами на карте обозначены события природно-экологической тематики, привлечение наибольшее внимание СМИ: 1 – разлив нефтепродуктов в Керченском проливе (ноябрь, 2007) и ликвидация его последствий; 2 – экологические аспекты подготовки к Олимпиаде-2014 в Сочи; 3 – катастрофическое наводнение в Крымске (июль, 2012) и его последствия; 4 – лесные пожары после аномальной жары в Подмосковье (август, 2010); 5 – мероприятия в защиту Химкинского леса (2007–2011 гг.); 6 – запрет охоты на белков в 2009 г., случаи браконьерства на Белом море; 7 – проблема восстановления популяции ирбиса на Алтае (2009–2012 гг.); 8 – судебные разбирательства по делу о незаконной охоте на архаров в Республике Алтай (2009–2010 гг.); 9 – мониторинг заражения воды и почв токсичными веществами после падения обломков космического корабля «Прогресс» в Республике Алтай (август, 2011); 10 – серии землетрясений мощностью до 9 баллов в Республике Тыва (декабрь, 2011 и февраль, 2012); 11 – авария на Саяно-Шушенской ГЭС (август, 2009) и ликвидация ее последствий; 12 – проблемы загрязнения оз. Байкал, связанные с работой Байкальского ЦБК; 13 – ежегодные паводковые наводнения на реке Лена в Якутии; 14 – проблема сохранения популяции уссурийского тигра в Приморье; 15 – оценка последствий цунами в Японии (март, 2011), мониторинг радиации в регионах Дальнего Востока; 16 – последствия схода оползня на Долину Гейзеров (июнь, 2007)

же из некоторых регионов, где протекают крупнейшие реки, – в Красноярском (Енисей) и Алтайском (Обь) краях, Саратовской области (Волга). Вспышки новостной активности СМИ на тему наводнений, затопления деревень в бассейнах крупных рек, как правило, имеют регулярный сезонный характер и почти ежегодно приурочены к периоду весеннего половодья.

Доминирование новостей о лесных пожарах над другими сюжетами об опасных природных и климатических явлениях наиболее выражено в Московской области (в основном за счет аномальной жары летом 2010 г.), а также в Томской области и Забайкальском крае, где наблюдались сильнейшие лесные пожары в 2012 г. (В дальнейшем планируется сравнить полученную статистику материалов СМИ с реальными статистическими данными о лесных пожарах.)

Кроме того, выделена группа регионов Северного Кавказа с доминированием сюжетов о лавинной опасности, как правило, приводящей к перекрытию горных дорог.

Отдельно на карте выделена Республика Тыва, где произошли сильные землетрясения в 2011 и

2012 гг., повлекшие за собой множественные разрушения, ущерб от которых оценивается в несколько миллиардов рублей.

Следующая карта (рис. 3) построена на основе данных о территориальном распределении сюжетов о влиянии человека на природные комплексы.

Среди отобранных для анализа сюжетов также выделены три преобладающие темы: незаконные вырубки лесов, браконьерство и загрязнение окружающей среды. Распределение новостей этих категорий по регионам показано при помощи картодиаграмм, представляющих собой наборы квадратов трех видов. Каждый квадрат соответствует 5 сюжетам одной категории, а вид квадрата обозначает принадлежность к соответствующей категории.

Сюжеты категории «о незаконных вырубках лесов» становятся сколько-нибудь заметны среди других новостей прежде всего в тех случаях, когда освещаемые события служат причиной масштабных протестных мероприятий, проводящихся по инициативе экологических или общественных организаций. Так, в 2006–2012 гг. наиболее заметное внимание СМИ было привлечено к мероприятиям в защиту Химкинского леса (Московская область,

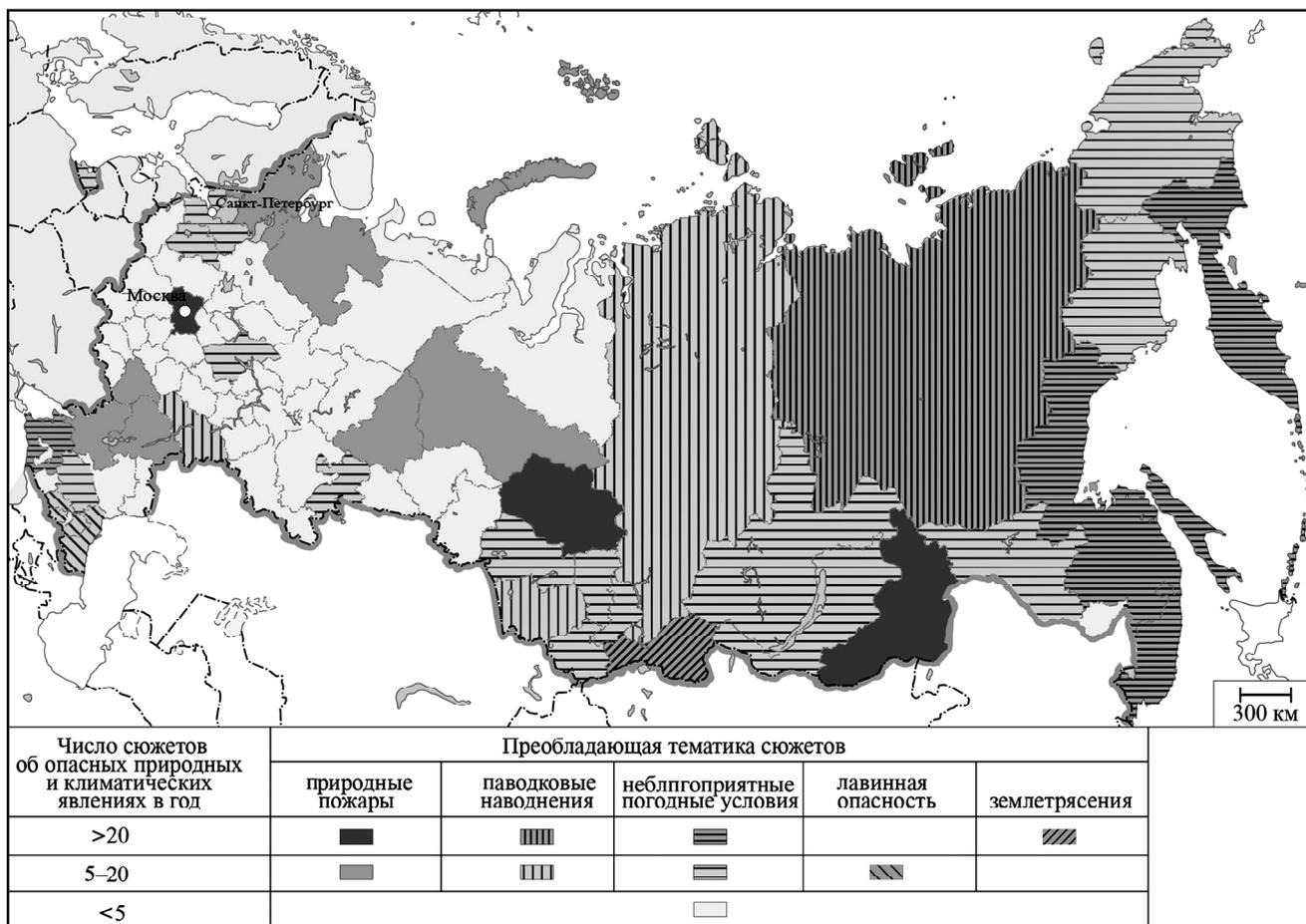


Рис. 2. Региональные новостные сюжеты об опасных природных и климатических явлениях (по данным архива www.gia.ru за 2006–2012 гг.)

2010), акциями против строительства дороги по территории заповедника Утриш (Краснодарский край, 2008–2009), судебными разбирательствами в связи с незаконными вырубками корейского кедра (Приморский край).

Распределение новостей категории «о браконьерстве» имеет еще более неравномерный очаговый характер. Наиболее заметным локальным событием, привлечшим внимание СМИ, стала история о незаконной охоте на архаров (горных козлов, занесенных в Красную книгу) в Республике Алтай и последовавших за ней судебных исков. Другая территория распространения сюжетов этой категории – группа регионов Дальнего Востока (Камчатский край, Сахалинская область, Приморский и Хабаровский края), откуда с относительной регулярностью поступают новости о незаконном лове рыбы или морских животных. Кроме того, в Приморье новости о браконьерстве дополняются сюжетами о защите уссурийского тигра.

Наиболее часто поступающие новости о негативном воздействии человека на природу относятся к категории «о загрязнении окружающей среды». Как правило, это воздействие опосредованное, т.е. является побочным эффектом хозяйственной деятельности людей (в том числе работы предприятий) или результатом каких-либо сбоев или аварий. Эта категория сюжетов представляет собой наи-

более наглядный пример несоответствия экологического портрета страны, транслируемого СМИ и источниками официальной статистики по регионам. Субъекты РФ, лидирующие по количеству выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (Тюменская область, Красноярский край, Кемеровская область, Свердловская область [Регионы России, 2012]), на карте не заметны на фоне других регионов. Это означает, что стабильно неблагоприятная экологическая ситуация не является причиной для активного освещения в СМИ, если нет дополнительных информационных поводов, которые могли бы заинтересовать журналистов. Похожая ситуация наблюдается и по другим категориям новостей.

Построенные карты отражают не объективно существующие характеристики субъектов РФ, а образное пространство России, формирующееся в средствах массовой информации. При этом важно, что фактически именно таким в среднем представляют себе портрет страны в экологическом контексте представители аудитории СМИ, в том числе люди и организации, ответственные за принятие управленческих решений в области экологии и природопользования.

По картам можно сделать вывод, что существенно повышенное внимание СМИ к событиям в сфере экологии происходит, как правило, в тех случаях, когда эти события (или их последствия)



Рис. 3. Региональные новостные сюжеты о негативном воздействии человека на окружающую среду (по данным архива www.gia.ru за 2006–2012 гг.)

– напрямую связаны с политическими или экономическими событиями не только регионального, но и федерального уровня (например, новости, касающиеся экологических аспектов подготовки к Олимпиаде в Сочи);

– вызывают сильный общественный резонанс: дискуссии, масштабные акции протеста и т.д. (например, защита Химкинского леса или судебные разбирательства в деле о незаконной охоте на архаров в горах Алтая);

– повлекли за собой гибель людей либо нанесли существенный вред здоровью (наводнение в Крыму, лесные пожары в Подмосковье) или урон хозяйству (например, авария на Саяно-Шушенской ГЭС);

– представляют угрозу существованию уникальных природных объектов (катастрофа в Долине Гейзеров, загрязнение Байкала) или вымирания редких видов животных (защита популяции ирбиса, уссурийского тигра, запрет охоты на бельков);

– повторяются из года в год (паводковые наводнения в Якутии).

Количественная неравномерность распределения сюжетов по регионам усугубляется при появлении какой-либо горячей новости (например, крупной природной катастрофы), так как срабатывает эффект «снежного кома», когда на основе каждой новой подробности, ставшей известной журналистам, создается новый информационный сюжет. Таких сюжетов по одной и той же теме может появляться до нескольких десятков в день происшествия, а также в последующие дни, когда делаются обобщения, выводы о последствиях, появляются новые точки зрения на произошедшее событие. Таким образом, всего за день регион, ранее почти не фигурировавший в новостях,

становится лидером по числу новостей. Чем длиннее время, за которое рассматриваются новостные сюжеты, тем менее заметны на общем фоне подобные региональные всплески активности СМИ.

В дальнейшем планируется продолжить исследования по исследуемой теме и дополнить их расчетами интегральных индексов, при помощи которых можно будет охарактеризовать степень равномерности, тематической неоднородности и другие параметры изучаемого образного географического пространства. Кроме того, важный аспект предстоящих исследований – сравнение «медийного» природно-экологического пространства России с официальными статистическими данными по регионам (например, данными о числе лесных пожаров, загрязнении окружающей среды и т.д.).

Выводы:

– выявлены некоторые географические особенности распределения природно-экологических сюжетов РИА-новостей по регионам России и составлены карты, наглядно отражающие эти особенности;

– существенная количественная неравномерность распределения новостных сюжетов по регионам обусловлена несколькими факторами – прежде всего играют роль объективные проблемы регионов, к которым неоднократно возвращаются средства массовой информации (например, проблема браконьерства на Охотском море). Однако повышенный интерес СМИ к одним субъектам РФ не свидетельствует об отсутствии подобных проблем в других субъектах РФ;

– картографирование образного пространства на основе контент-анализа материалов СМИ – наглядный способ визуализации географических особенностей массовых представлений о территориях. Карты,

построенные на основе данных, которые получены в ходе изучения архивов РИА-новостей, проиллюстрировали неравномерность распределения новостей природно-экологической тематики за исследуемый период (2006–2012) и позволили сделать выводы о возможных причинах этой неравномерности;

– подобные исследования способствуют созданию конкретных рекомендаций по проведению экологической информационно-политической политики в рамках концепции перехода к устойчивому развитию как на уровне страны в целом, так и для отдельных субъектов РФ.

Благодарность. Исследование выполнено за счет Российского научного фонда (грант №15-17-30009).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Грибок М.В. Анализ формирования образов регионов России в федеральных информационных программах телевидения с помощью ГИС: Автореф. канд. дисс. М., 2009.

Евсеев В.А. Географические особенности информационных полей периодической печати, освещающей туристический бизнес // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2000. № 2. С. 54–59.

Замятина Н.Ю., Арутюнян К.М. Взаимосвязи образов стран Европы в прессе (по материалам газет «Таймс» и «Нью-Йорк Таймс») // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2005. № 5. С. 60–65.

Касьянов П.В. Переход к устойчивому развитию: экологические, информационные, социальные и экономические предпосылки // Горный информ.-аналит. бюлл. (научно-технический журн.). 2005. № 4.

Колосов В.А., Бородулина Н.А., Галкина Т.А. и др. Геополитическая картина мира в средствах массовой информации // Полис (Политические исследования). 2003. № 3. С. 33–49.

Колосов В.А., Тикун В.С., Заяц Д.В. Мир в зеркале средств массовой информации: использование анаморфоз в политико-географическом анализе // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2000. № 2. С. 55–65.

Кочинева А., Берлова О., Колесникова В. Экологическая журналистика: Уч. пособие. М.: Центр координации и инфор-

мации Социально-экологического Союза, 1999 [Электр. ресурс], URL: <http://www.seu.ru/cci/lib/books/ecojour/> (дата обращения: 10.02.2015).

Миллер А.И. Образ России и русских в западноукраинской прессе // Полит. исследования. 1995. № 3. С. 114–121.

Миллер А.И. Образ Украины и украинцев в российской прессе после распада СССР // Полит. исследования. 1995а. № 3. С. 130–135.

Опрос населения: Источники информации и телепредпочтения россиян // ФОМ. 04.06.2013 [Электр. ресурс]. URL: <http://soc.fom.ru/SMI-i-internet/10938> (дата обращения: 10.02.2015).

Петров Н.В., Титков А.С. Образы регионов в общественном сознании: мифы и стереотипы // Полит. альманах России. 1997. Т. 1. Выборы и политическое развитие. М., 1998. С. 61–75.

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2012. Стат. сб. М.: Росстат, 2012. 990 с.

Фокина О.А. Региональная повестка дня в общероссийских печатных СМИ: Автореф. канд. дисс. М., 2013.

Cole J.P. Political geography. London, 1969.

Davis E. Distant places and television news: A phenomenology of viewers' understandings, Ph.D. dissertation. Department of Geography, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1988.

Поступила в редакцию 17.04.2015

Принята к публикации 11.09.2015

M.V. Gribok¹, V.S. Tikunov²

NATURAL-ENVIRONMENTAL COMPONENT OF THE IMAGINATIVE SPACE OF RUSSIA IN MASS MEDIA (CASE STUDY OF THE RIA-NOVOSTI AGENCY)

Distribution of the RIA-Novosti agency news dealing with environment and nature management over the regions of Russia is analyzed. The increased attention of mass media to environmental news is characteristic if the events are directly related to political or economic developments of both regional and federal levels; cause a pronounced public response (discussions, large-scale protests, etc.); result in fatalities or serious injuries; threaten the existence of unique natural sites or rare animal species. Regions where the same natural events occur from year to year are also of particular interest for journalists. The maps compiled on the basis of collected data provided for the identification of the principal focuses of mass media attention in 2006–2012 and allowed concluding on their uneven geographic distribution and possible reasons of these irregularities. The resulting maps show the imaginative space of Russia emerging in mass media, rather than the real features of sub-federal units of the country. It is important that it is this environmental portrait of the country that is perceived by the audience of the federal mass media which includes, among others, individuals and institutions responsible for environment-oriented decision-making aimed at the development of the information policy within the Concept of transition of the Russian Federation to sustainable development.

Keywords: information space, regions of Russia, mass media, environmental image of territory.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 15-17-30009).

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Research Laboratory of Integrated Mapping, Research Scientist, Ph.D. in Geography; e-mail: marina.ary@gmail.com

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

REFERENCES

- Cole J.P.* Political geography. London, 1969.
- Davis E.* Distant places and television news: A phenomenology of viewers' understandings, Ph.D. dissertation. Department of Geography, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1988.
- Evseev V.A.* Geograficheskie osobennosti informacionnyh polej periodicheskoj pechati, osveshhajushhej turisticeskij biznes [The geographical features of information fields of periodicals on the theme of business travel], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya, 2000, no 2, pp. 54–59 (in Russian).
- Fokina O.A.* Regional'naja povestka dnja v obshherossijskikh pechatnyh SMI [Regional agenda in the national print media]. PhD dissertation. M., 2013 (in Russian).
- Gribov M.V.* Analiz formirovaniya obrazov regionov Rossii v federal'nyh informacionnyh programmah televidenija s pomoshh'ju GIS [Analysis of the formation of regional images of of Russia in Federal information television programs using GIS], PhD dissertation, Moscow, 2009 (in Russian).
- Kas'janov P.V.* Perehod k ustojchivomu razvitiyu: jekologicheskie, informacionnye, social'nye i jekonomicheskie predposylki [The transition to sustainable development: environmental, informational, social and economic background], Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten' (nauchno-tehnicheskij zhurnal). 2005, no 4 (in Russian).
- Kolosov V.A., Borodulina N.A., Galkina T.A.* et al. Geopoliticheskaja kartina mira v sredstvah massovoj informacii [The geopolitical picture of the world in mass media], Polis (Politicheskie issledovanija). 2003, no 3, pp. 33–49 (in Russian).
- Kolosov V.A., Tikunov V.S., Zajac D.V.* Mir v zerkale sredstv massovoj informacii: ispol'zovanie anamorfoz v politiko-geograficheskom analize [World in the mirror of mass media: the use of anamorphosis in politico-geographical analysis], Vestnik Moskovskogo universiteta, ser. geografija, 2000, no 2, pp. 55–65 (in Russian).
- Kochineva A., Berlova O., Kolesnikova V.* Ekologicheskaja zhurnalistika. Uchebnoe posobie [Environmental journalism. Tutorial], Moscow: Centr koordinacii i informacii Social'no-jekologicheskogo Sojuza. 1999 [web resource], URL: <http://www.seu.ru/cgi/lib/books/ecojour/> (Accessed: 10.02.2015) (in Russian).
- Miller A.I.* Obraz Rossii i russkih v zapadnoukrainskoj presse [The image of Russia and Russians in the Western Ukrainian press], Politicheskie issledovanija. 1995, no 3, pp. 114–121 (in Russian).
- Miller A.I.* Obraz Ukrainy i ukraincev v rossijskoj presse posle raspada SSSR [The image of Ukraine and Ukrainians in the Russian press after the collapse of the USSR], Politicheskie issledovanija. 1995a, no 3, pp. 130–135 (in Russian).
- Opros naselenija: Istochniki informacii i telepredpochtenija rossijan [Public opinion poll: Sources of information and Russians television preferences], FOM, 04.06.2013 [web resource], URL: <http://soc.fom.ru/SMI-i-internet/10938> (Accessed: 10.02.2015) (in Russian).
- Petrov N.V., Titkov A.S.* Obrazy regionov v obshhestvennom soznanii: mify i stereotipy [Images of regions in the public mind: myths and stereotypes], Politicheskij al'manah Rossii 1997. Vol. 1. Vybory i politicheskoe razvitie, Moscow, 1998, pp. 61–75 (in Russian).
- Regiony Rossii. Social'no-jekonomicheskie pokazateli. [Regions of Russia. Socio-economic indicators]. 2012. Stat. sb. Moscow, 2012. Rosstat. 990 p. (in Russian).
- Zamjatina N.Ju., Arutjunjan K.M.* Vzaimosvjazi obrazov stran Evropy v presse (po materialam gazet «Times» i «New-York Times») [The relationship of the images of Europe in mass media (based on materials of the newspaper «The Times» and «The New York Times»)], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya. 2005, no 5, pp. 60–65 (in Russian).

Received 30.03.2015

Accepted 11.09.2015

УДК 504.06

С.С. Укашова¹, П.П. Кречетов²

ОЦЕНКА ДОПУСТИМОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ НА ЭКОСИСТЕМЫ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Рассмотрены подходы к количественной оценке допустимого воздействия загрязняющих веществ на экосистемы Республики Казахстан. Выполнен региональный анализ антропогенной нагрузки для территории Республики Казахстан, результаты которого показали очень высокий уровень территориальной локализации химического загрязнения. Создана база данных свойств и параметров почв, использованных для оценки критических нагрузок. С использованием балансовой модели определены критические нагрузки кислотных выпадений и соединений азота. Расчет выпадения тяжелых металлов, не вызывающих негативных последствий для экосистем, проводился с учетом содержания органического вещества, сорбционной способности, а также наличия карбонатных солей. Построенные тематические карты, детальность контуров и обширный набор данных позволили подробно проанализировать почвы на рассматриваемой территории. Выявлена широтная зональность значений критических нагрузок кислотности и тяжелых металлов. Показано, что критическая нагрузка может служить индикатором чувствительности экосистем и позволяет оценить риск нанесения ущерба ее компонентам. Региональные оценки критической нагрузки дают возможность оптимизировать стратегию сокращения выбросов различных поллютантов и снизить их трансграничный перенос для достижения максимальной экологической выгоды.

Ключевые слова: почвы, экосистемы, загрязняющие вещества, критические нагрузки, кислотные выпадения, эвтрофикация, устойчивость, тяжелые металлы, Республика Казахстан.

Введение. Экологическая ситуация постепенно становится все более значимым фактором развития, влияющим на все сферы политического и экономического благополучия государства. На протяжении многих десятилетий в Казахстане складывалась преимущественно сырьевая система природопользования с экстремально высокими техногенными нагрузками на окружающую среду. Это привело к деградации природных экосистем и способствовало дестабилизации биосферы, утрате ею способности поддерживать качество окружающей среды, необходимое для жизнедеятельности общества.

Оценка антропогенного воздействия человека на природные ландшафты в первую очередь должна опираться на понимание закономерностей их функционирования. Природные экосистемы имеют свою пространственную структуру, что определяет обмен веществ между ее живыми и абиотическими компонентами. Ведущий средообразующий компонент наземной экосистемы – почва. Это сложное, постоянно функционирующее природное образование, все фазы которого (твердая, жидкая, газообразная и живое вещество) обмениваются между собой веществом и энергией.

Почва, будучи депонирующей средой для поступающих загрязняющих веществ (ЗВ), может служить индикатором состояния биосферы при различных видах антропогенного воздействия. Сохранение высокоплодородных и устойчивых к антропогенному воздействию почв – один из критериев развития общества и его стабильности.

Разработка нормативов допустимой антропогенной нагрузки на экосистемы на локальном, региональном и глобальном уровнях составляет главную задачу экологического нормирования. В настоящее время система регламентации загрязнения природных сред основана на санитарно-гигиенических нормативах, хотя общепризнана их низкая эффективность в целях защиты природных экосистем. Оценка устойчивости экосистем к разным видам антропогенной нагрузки – одна из важнейших экологических проблем. Именно разработка методологической базы ее проведения должна стать основой экологического нормирования. Однако окончательное решение о принятии экологических нормативов затрудняет отсутствие общепризнанных методик их определения, а также недостаточность фактических данных о реакции экосистем на антропогенные нагрузки.

Экологический норматив должен отражать безвредность воздействия загрязняющих веществ для всех компонентов экосистем. Почва, которая представляет собой геохимический барьер на пути миграции загрязняющих веществ в экосистеме, с одной стороны, предохраняет другие ее компоненты от техногенного воздействия, а с другой – накапливает загрязняющие вещества, что приводит к снижению ее устойчивости. Поэтому состояние почвы и ее буферную способность следует считать основным фактором устойчивости экосистемы в целом, и по нему проводить нормирование антропогенного воздействия на все компоненты экосистемы.

¹ Казахстанский филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экологии и природопользования, аспирант; *e-mail:* sabina.samarbaevna@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. биол. н.; *e-mail:* krechetov@mail.ru

Цель работы – пространственный анализ допустимого уровня воздействия загрязняющих веществ на наземные экосистемы Республики Казахстан и выявление наиболее уязвимых природно-территориальных комплексов. В ходе работы решались следующие задачи: сбор данных о свойствах почв, определяющих их буферность при воздействии загрязняющих веществ; расчет критических нагрузок (КН) кислотных выпадений, соединений азота и тяжелых металлов на наземные экосистемы; на основе сравнительного анализа между величинами критических нагрузок и современным уровнем техногенного давления выявление территорий с повышенным риском антропогенных нарушений.

Материалы и методы исследований. Опыт использования комплексных оценок антропогенного воздействия на окружающую среду в Республике Казахстан не очень большой. В основном работы посвящены экологической оценке воздействия какой-либо отрасли хозяйственной деятельности на состояние воздушного бассейна и водных объектов Республики Казахстан. Часть исследований связана с изучением качества жизни населения и инвестиционного климата регионов, в которых используются различные методики оценки, созданные экспертами ООН. В работе В.Р. Битюковой приведены результаты комплексного изучения экологических проблем развития регионов и предложено ранжирование территории по уровням экологической напряженности [Битюкова, 2009; Сайт рейтингового..., 2015; National..., 2009].

Существуют различные методы оценки уязвимости экосистем к антропогенному воздействию. При оценке устойчивости экосистем к антропогенному воздействию наиболее распространена балльная система оценок. В работах М.А. Глазовской, Н.Н. Солнцевой, М.Д. Богдановой, В.В. Снакина, П.П. Кречетова и других устойчивость почв к загрязнению оценивается как с учетом ее способности нейтрализовать негативные последствия от поступления поллютантов, так и ее самоочищающей способности [Богданова, 1994; Геннадиев, Пиковский, 2007; Глазовская, 1997; Копчик и др., 1998; Кречетов, Алябина, 2001; Кречетов и др., 2015; Снакин и др., 1995; Солнцева, 1982; Угарова, 2004; Филаретова и др., 2012]. Итоговые оценки устойчивости позволяют ранжировать природные комплексы на низко-, средне- и высокоустойчивые.

Количественную оценку допустимого воздействия на наземные экосистемы можно выполнить на основании двух подходов [Башкин, 1999]: 1) оценка различий между актуальными и критическими нагрузками; 2) оценка различий между современным содержанием поллютанта в определенных компонентах экосистемы и скоростью поступления этого поллютанта с атмотехногенными выпадениями, а затем расчет времени достижения максимальной допустимой концентрации (ПДК), установленной для загрязняющего вещества.

Предложенные методы количественной оценки похожи, но подход с использованием ПДК не учи-

тывает ни характеристики экосистем, ни их географическую привязку.

Для оценки допустимого воздействия на городскую среду был предложен подход, основанный на оценке соотношения показателей антропогенного воздействия и уровня загрязнения городской среды в динамике, что позволяет построить функции уязвимости среды [Угарова, 2004]. В основе этого подхода лежат представления о городской среде, как системе, обладающей определенным уровнем устойчивости по отношению к воздействию. Однако этот подход хорошо работает только при достаточном количестве исходных достоверных данных о выбросах промышленных предприятий и данных мониторинга загрязнения природной среды.

При трансграничном воздействии загрязненного воздуха на сопредельные государства на территории Северной Евразии в соответствии с Конвенцией ООН о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния была предложена методология критических нагрузок (КН). Эта методология базируется на анализе биогеохимической структуры природных экосистем с использованием специально разработанных и адаптированных методик расчетов величины КН отдельных загрязняющих веществ.

Критическая нагрузка – количественная оценка воздействия одного или нескольких загрязнителей, ниже которого не возникает значительных вредных последствий для конкретных чувствительных элементов окружающей среды [Башкин, 1999].

Величина КН не указывает на степень изменений и функционирования экосистемы, а только определяет допустимую величину воздействия. Уравнения, используемые для расчета величины КН, включают количественную оценку максимально возможного числа параметров, характеризующих круговорот загрязнителей в экосистемах. Этот метод рекомендован в качестве базового для расчетов КН Европейским координационным центром по воздействиям и успешно применяется во многих странах [De Vries et al., 1993; Hettelingh et al., 1995; Poschetal et al., 1999].

Базовый алгоритм, описанный выше, послужил основой при оценке допустимого уровня воздействия загрязняющих веществ на наземные экосистемы Республики Казахстан, где при расчетах КН питательного азота и кислотности за основу была взята модель масс-баланса [Башкин, Танканаг, 2001]. При расчетах КН учитывались особенности рассматриваемой территории, особое внимание уделялось физико-географическим и биохимическим характеристикам экосистем, а также использованы результаты исследований региональных управлений, фондовые материалы, статистические и электронные базы данных. Критическая нагрузка кислотности рассчитана на основании данных о поглощении и выветривании основных катионов, что зависит от температуры, количества осадков и свойств самих почв.

На основе созданной базы данных с использованием ГИС-технологий построены тематические карты, единой географической основой для которых

послужила почвенная карта масштаба 1:5 000 000 из Национального атласа Республики Казахстан [Национальный..., 2006], дополненная авторами. Значения КН рассчитывались для поверхностного слоя почвы мощностью 10 см и выражались в экв/га/год. Детальность почвенных контуров и обширная база данных позволили провести подробный количественный анализ пространственного распределения экосистем с разным уровнем устойчивости к химическому загрязнению.

Итоговые формулы для расчета КН кислотных выпадений:

минимальная критическая нагрузка азота:

$$CL_{\min}(N) = N_i^* + N_u^*;$$

критическая нагрузка питательного азота:

$$CL_{\text{nutr}}(N) = CL_{\min}(N) + N_i + N_{\text{de}}^*;$$

критическая нагрузка кислотности:

$$CL_{\text{acid}} = C_i (BC_w + Bc_u),$$

где N_i^* – иммобилизация азота из атмосферных выпадений; N_u^* – биологическое поглощение азота из атмосферных выпадений; N_i – иммобилизация азота почвы; N_{de} – денитрификация азота почвы; C_i – гидротермический коэффициент, характеризующий период года с температурой выше 5 °С; BC_w – выветривание основных катионов; Bc_u – поглощение основных катионов растениями.

Для расчета критической нагрузки тяжелых металлов (ТМ) разработана авторская методика, основанная на балансовой модели, которая также позволяет рассчитать целевые нагрузки на 50 лет. Оригинальная методика основана на способности почв образовывать труднодоступные для биоты соединения в форме карбонатов, органоминеральных соединений и в составе почвенного поглощающего комплекса.

Итоговые формулы расчета КН тяжелых металлов:

$$CL(TM)_i = (TM_{(\text{opr})_i} + TM_{(\text{nnk})_i} + TM_{(\text{CaCO}_3)_i}) / 50,$$

где $CL(TM)$ – допустимый уровень нагрузки тяжелых металлов; $TM_{(\text{opr})_i}$ – количество тяжелых металлов, которое может быть связано в составе органоминеральных соединений без превышения ПДК в почвенном растворе; $TM_{(\text{nnk})_i}$ – количество тяжелых металлов, которое может быть закреплено в почвенном поглощающем комплексе почв без превышения ПДК в почвенном растворе; $TM_{(\text{CaCO}_3)_i}$ – количество тяжелых металлов, которое может быть связано в виде труднорастворимых карбонатных солей без превышения ПДК в почвенном растворе; 50 – период (годы), за который допускается полная нейтрализация буферных свойств почв по отношению к ТМ. Сделано допущение, что за это время произойдет смена технологии промышленности, что снизит выбросы загрязняющих веществ до экологически безопасного уровня; i – тип почвы.

На основе выполненных расчетов КН питательного азота, кислотности и тяжелых металлов выполнено районирование территории республики. Для вы-

явления площадей с повышенным риском антропогенных нарушений проведен сравнительный анализ между величинами КН и современным уровнем техногенного давления. Для этого использованы статистические данные о выбросах кислотообразующих веществ в 14 областях, а также проведено сравнение уровней нагрузки тяжелых металлов с суммарным показателем химического загрязнения почв в 18 городах.

Результаты исследований и их обсуждение. Казахстан характеризуется очень высоким уровнем территориальной локализации химического загрязнения. Пространственный анализ распределения антропогенной нагрузки на территории Республики Казахстан показывает, что основными источниками химического загрязнения окружающей среды, вызывающими деградацию природных систем, служат промышленность, сельское хозяйство, автомобильный транспорт и другие антропогенные факторы.

Уровень загрязнения атмосферы городов и промышленных центров, несмотря на сокращение производства, остается достаточно высоким. Около 1/3 промышленных предприятий не имеет санитарно-защитных зон нормативного размера. Значительная часть населения промышленных центров живет в зоне непосредственного влияния вредных производственных факторов – выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух, шума, вибрации, электромагнитных полей, других физических факторов.

Тенденции по видам загрязнителей весьма различны. Так, в период с 2009 по 2012 г. объем выбросов в атмосферу возрос следующим образом (%): оксидов азота – на 20,7; аммиака – на 29,4; неметановых летучих органических соединений – на 33; углеводородов – на 30,7; кадмия – на 168,5; толуола – на 50,2; бензапиренов – на 6,9. Наибольший уровень загрязнения воздуха характерен для г. Алматы (ИЗА5=11,7) [Сайт агентства статистики..., 2015; Охрана..., 2012]. К загрязненным городам республики (ИЗА5≥5) отнесено 12 городов, в том числе с высоким уровнем загрязнения воздуха (ИЗА5≥7) 8 городов (Алматы, Шымкент, Темиртау, Актобе, Тараз, Караганда, Усть-Каменогорск, Жезказган).

Вклад в загрязнение атмосферного воздуха городов вносит скопление промышленных предприятий, большое число автомобилей и высокая доля частного сектора в период отопительного сезона. Влияют также орографические условия, это относится к таким городам, как Алматы, Шымкент, Усть-Каменогорск и др.

По сумме выбросов основных кислотообразующих оксидов по областям можно выделить *области с невысокой загрязненностью атмосферы* – Жамбылская и Южно-Казахстанская, а также *с высокой* – Актюбинская, Павлодарская и Карагандинская области [Регионы..., 2012]. Это связано с тем, что последние области – индустриальные регионы Казахстана, в которых сформированы промышленность, специализирующаяся на энерго- и материалоемкой продукции черной металлургии и производстве цветных металлов, а также добыче угля и руд. В регионах развиты предприятия пище-

вой промышленности, машиностроения и металлообработки, производства строительных материалов, химической промышленности, производства резиновых и пластмассовых изделий. Кроме того, негативную роль в загрязнении воздушного бассейна Западно-Казахстанской, Атырауской и Мангистауской областей играют предприятия нефтегазового комплекса. Для Северо-Казахстанской, Алматинской, Акмолинской, Кызылординской и Восточно-Казахстанской областей характерен средний уровень загрязнения атмосферы оксидами серы и азота.

Помимо газообразных выбросов в воздух попадает значительное количество мельчайших частиц, содержащих тяжелые металлы и опасных для здоровья человека. Среди стационарных источников загрязнения Казахстана наибольший объем выбросов дают предприятия энергетики – главные поставщики оксидов азота и пыли (зола) в атмосферу. Источниками загрязнения вод тяжелыми металлами служат сточные воды гальванических цехов, предприятий горнодобывающей, черной и цветной металлургии, машиностроительных заводов, а также автотранспорт. Тяжелые металлы входят в состав удобрений и пестицидов, которые могут попадать в водоемы вместе со стоком с сельскохозяйственных угодий.

На основе данных наблюдений, проводимых РГП «Казгидромет» [Национальный..., 2011], для 18 городов рассчитан суммарный показатель загрязнения почвы (Z_c). По полученным результатам выделяются три градации загрязнения: допустимое ($Z_c < 16$), умеренно опасное ($Z_c = 16 \div 32$) и опасное ($Z_c > 32$). Опасные значения показателя характерны для городов Риддер, Шымкент, Балхаш; умеренно опасные – для Усть-Каменогорска; минимальные значения ($Z_c < 1$) характерны для городов Уральск, Семипалатинск, Кызылорда, в остальных 11 городах выявлено допустимое загрязнение тяжелыми металлами. Высокое значение показателя в г. Бал-

хаш ($Z_c = 88,2$) обусловлено действующим на территории города Балхашским горно-металлургическим комбинатом (БГМК), который служит главным поставщиком поступления загрязняющих веществ, в том числе тяжелыми металлами. Источник поступления тяжелых металлов в самом многочисленном городе страны Шымкенте ($Z_c = 50,5$) – автотранспорт (из-за отсутствия запрета на устаревшие автомобили) и предприятия металлургии, ориентированные на выпуск свинца и его производных, висмута, сплавов драгоценных металлов и другой продукции. Высокие показатели загрязнения тяжелыми металлами наблюдались также в г. Риддер ($Z_c = 45$), это объясняется наличием в черте города горно-обогатительного комплекса, специализирующегося на добыче и переработке полиметаллических руд, а также металлургического комплекса, который перерабатывает цинковые концентраты, производит цинк, кадмий и серную кислоту. Существенные различия между показателями ИЗА и Z_c в центрах цветной металлургии в городах Шымкент, Усть-Каменогорск, Риддер, Балхаш, Жезказган связаны с тем, что ИЗА не учитывает загрязнение тяжелыми металлами (рис. 1).

В результате пространственного анализа выявлена широтная зональность значений критических нагрузок. Значения допустимого уровня нагрузок возрастают с юга на север. Полученные значения CL_{acid} варьируют в интервале 50–1710 экв/га/год, причем основная часть приходится на интервал $CL_{acid} < 1000$ экв/га/год (рис. 2). Исследования показали, что 57% почв Казахстана *высокоуязвимы* к кислотным выпадениям. К ним относятся болотные, лугово-болотные, а также горные тундровые и горные альпийские/субальпийские почвы. Эти почвы самые кислые на территории республики и характеризуются низкой скоростью выветривания основных минералов, что служит главным фактором нейтрализации техногенных кислот.

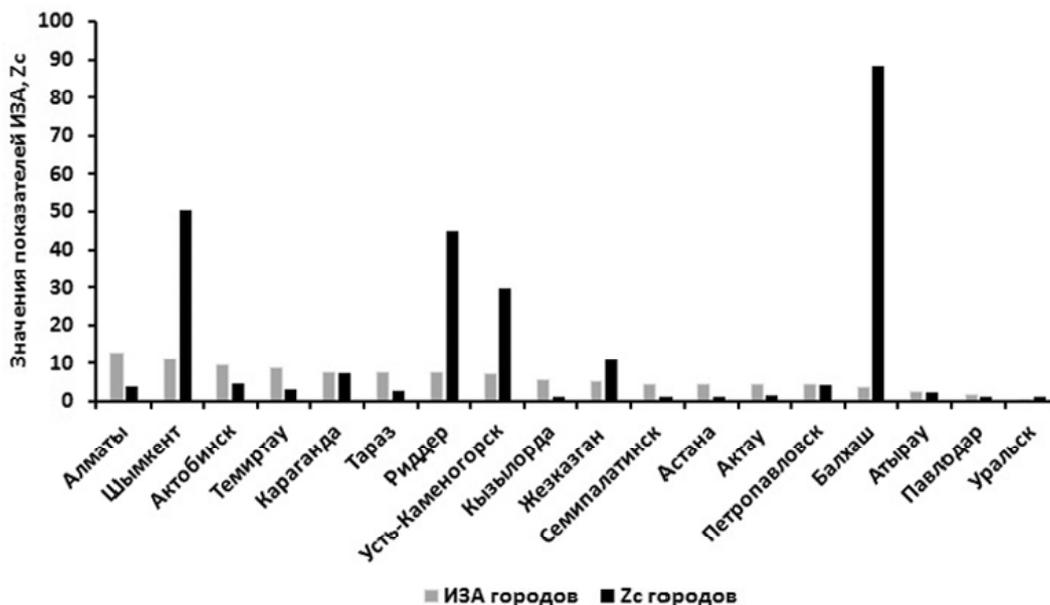


Рис. 1. Уровень загрязнения атмосферы и почв городов Республики Казахстан

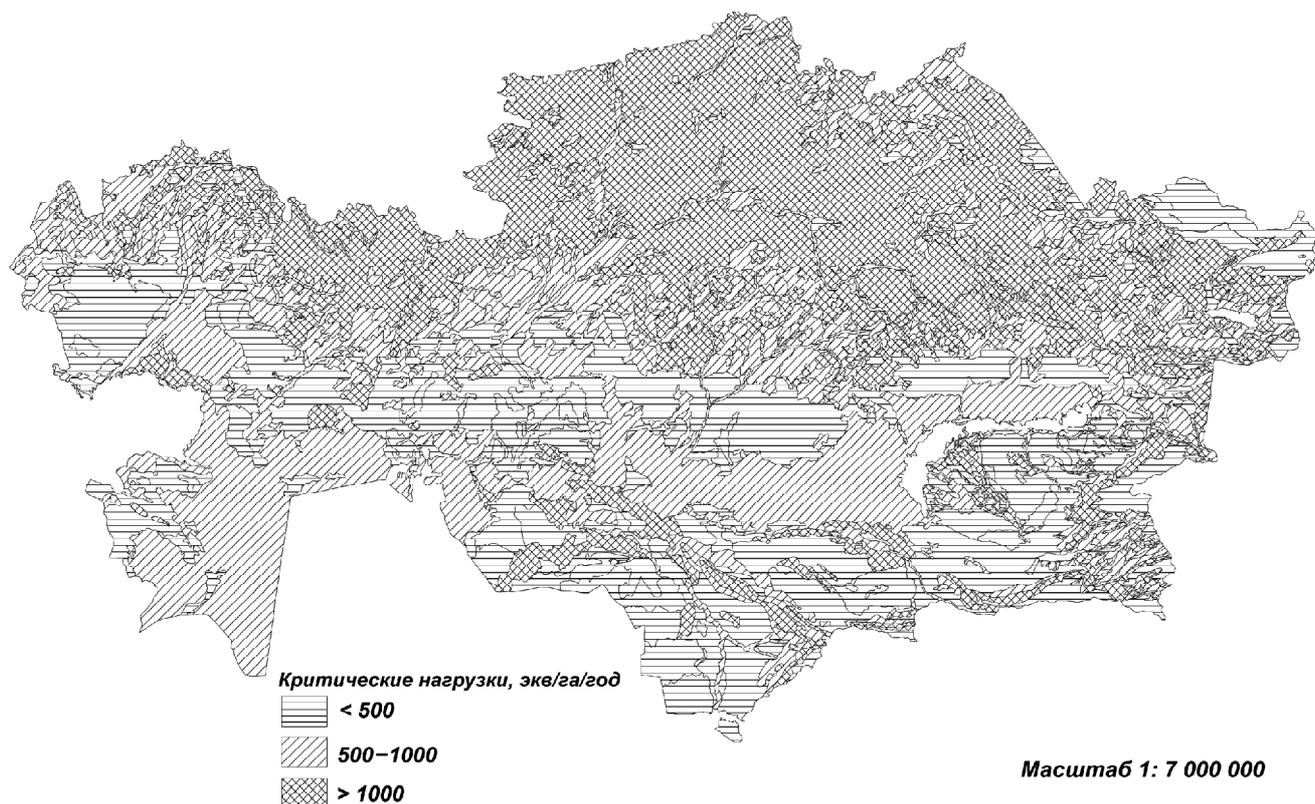


Рис. 2. Допустимый уровень нагрузки кислотных выпадений на почвы в Республике Казахстан

Слабоуязвимы к кислотным выпадениям почвы, имеющие значения $CL_{acid} > 1000$ экв/га/год – горные черноземы, черноземы обыкновенные, темно-каштановые, это обусловлено значительным верхним активным слоем почвы и высокими значениями скорости выветривания основных минералов, а также хорошей азотоминерализующей способностью. Почвы с высоким содержанием карбонатов, таких, как черноземы типичные карбонатные, светло- и темно-каштановые карбонатные, такыры, которые способны нейтрализовать кислотные выпадения, можно отнести к *среднеуязвимым*.

Величина минимальной критической кислотной нагрузки по азоту, $CL_{min}(N)$, включает в себя поглощение азота растениями и иммобилизацию в состав почвенного органического вещества. Полученные значения $CL_{min}(N)$ варьируют от 70 до 121 экв/га/год. Примерно 33% почв территории характеризуются значениями $CL_{min}(N) < 80$ экв/га/год. К устойчивым к поступлению атмотехногенного азота относятся 38% почв территории при значениях $CL_{min}(N) > 100$ экв/га/год. *Слабая уязвимость* характерна для подтипов черноземов, встречающихся в северных районах с самой активной азотоминерализующей способностью. Соответственно почвы с минимальными значениями $CL_{min}(N)$, такие, как болотные, лугово-болотные, пойменные и горные тундровые, относятся к *высокоуязвимым*.

Экологическое воздействие атмотехногенного азота связано как с подкисляющим, так и с эвтрофирующим влиянием на почвы. Избыточное накопление азота в экосистеме ведет к изменению биораз-

нообразия, при поступлении этого элемента с атмосферными выпадениями. Для предотвращения эвтрофикации рассчитывают величину критической нагрузки питательного азота. Поскольку большинство рассматриваемых типов почв сформировано в условиях дефицита азота, величина $CL_{nutr}(N) < 200$ экв/га/год характерна для 73% почв (рис. 3). Значения нагрузки варьируют в пределах 150–230 экв/га/год, как и в случае с $CL_{min}(N)$, ее географическое распределение зависит от почвенно-растительных особенностей. Для болотных, лугово-болотных, серых лесных осолоделых, горных кислых, горных лесных почв характерна *высокая уязвимость*, так различные подтипы черноземов, включая горные черноземы, относятся к *слабоуязвимым*.

Анализ соотношения выпадения кислотообразующих веществ по областям и рассчитанной допустимой нагрузки кислотных выпадений выявил, что почвы в северных районах, представленные светло-каштановыми почвами в Карагандинской области, подвергаются максимальному риску деградации при химическом загрязнении. Павлодарская область характеризуется значительными выбросами загрязняющих веществ, но из-за высоких значений критической нагрузки кислотных выпадений почвы характеризуются минимальной уязвимостью, что позволяет им выдерживать более высокую антропогенную нагрузку.

Районирование территории по уровню допустимого загрязнения тяжелыми металлами показало, что основная часть почв республики характеризуется средней чувствительностью к загрязнению. Для почв равнинных территорий, как и для кислот-

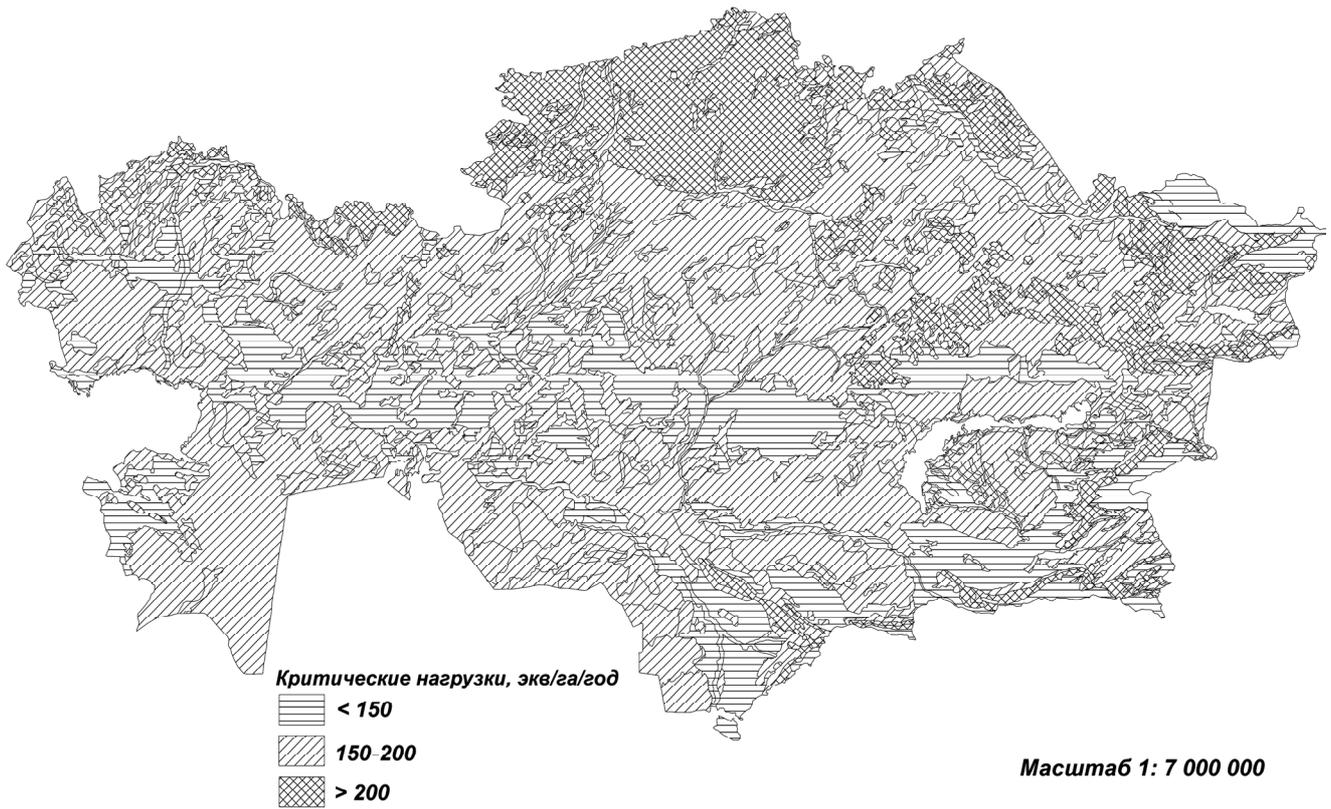


Рис. 3. Допустимый уровень нагрузки питательного азота на почвы в Республике Казахстан

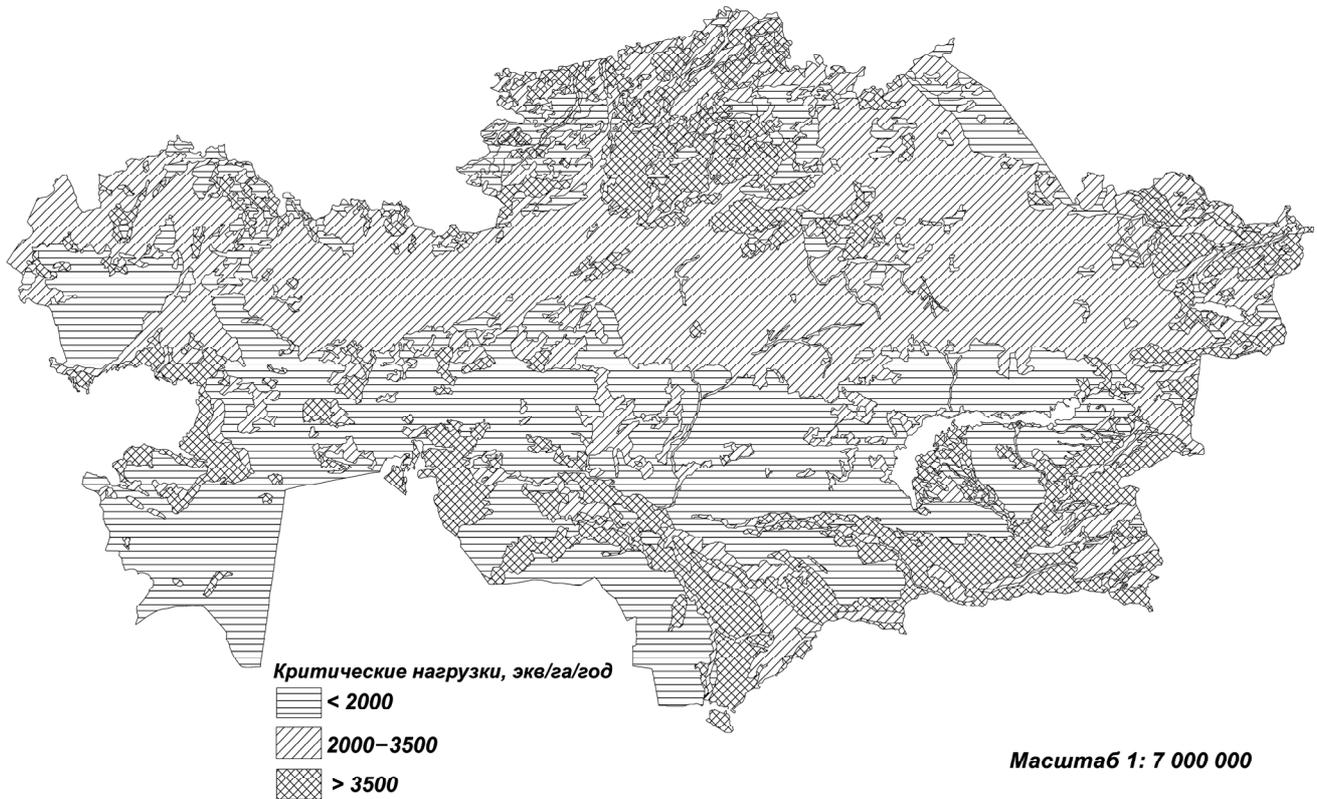


Рис. 4. Допустимый уровень нагрузки тяжелых металлов на почвы в Республике Казахстан

ных выпадений, хорошо заметна широтная зональность. Значения $CL(TM)$ колеблются в интервале 504–6770 экв/га/год (рис. 4). Средние значения емкости поглощения пойменных, горных тундровых,

горных альпийских, горно-таежных почв позволило отнести их к почвам с *высокой уязвимостью* к выпадениям тяжелых металлов. В этих почвах перевод тяжелых металлов в малоподвижные соеди-

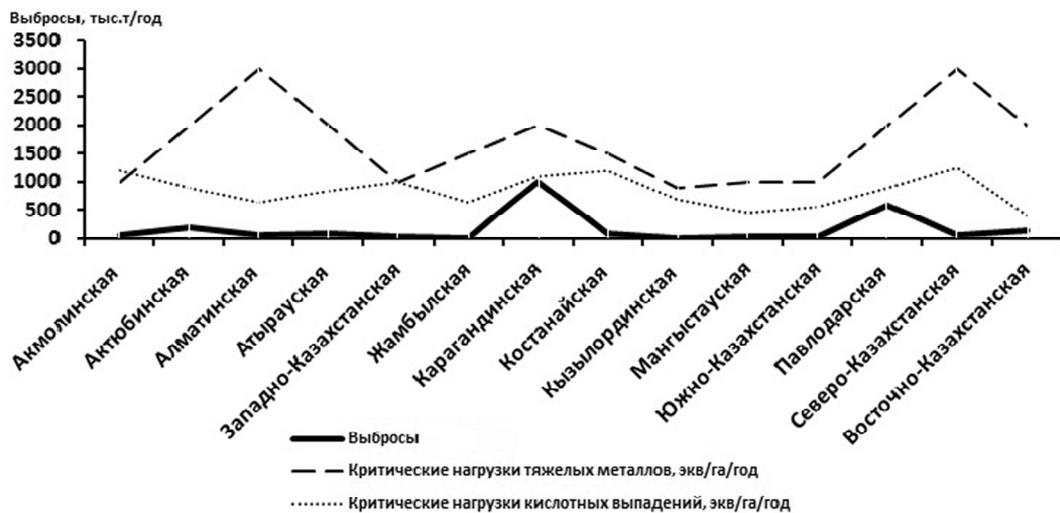


Рис. 5. Сравнительный анализ поступления загрязняющих веществ (тыс. т/год) и величин критических нагрузок (экв/га/год) по областям Республики Казахстан

нения происходит в результате реакций обмена водорода карбоксильных функциональных групп на ионы металлов и образования слабомигрирующих органо-минеральных соединений. Высокоуязвимы песчаные пустынно-степные, такыры, такыровидные, светло-каштановые солонцеватые, бурые и серо-бурые пустынные почвы, значения нагрузки на которые составляют <500 экв/га/год. Это почвы сухих степей и полупустынь, для которых характерно высокое содержание карбонатов кальция. В результате переосаждения тяжелые металлы замещают кальций в карбонатах с образованием менее растворимых солей.

Слабоуязвимы почвы с высоким содержанием органического вещества и большой емкостью почвенного поглощающего комплекса – горные черноземы, горные лесные, лугово-черноземные, болотные и лугово-болотные почвы, допустимый уровень нагрузки $CL(TM) > 3000$ экв/га/год. Черноземы южные, светло-каштановые, горные каштановые, горные сероземы *среднеуязвимы* при загрязнении тяжелыми металлами с интервалом значений $CL(TM) = 1000 \div 1500$ экв/га/год. К почвам со *слабой уязвимостью* можно отнести черноземы обыкновенные, а также черноземы обыкновенные карбонатные. Высокая сорбционная способность этих почв обусловлена тяжелым гранулометрическим составом, высоким содержанием илистой фракции и гумусовых веществ, которые нейтрализуют подвижные формы тяжелых металлов.

Сравнение рассчитанного показателя суммарного загрязнения почв городов Казахстана с полученными результатами допустимого уровня нагрузки тяжелых металлов показал, что почвы городов Жезказган и Балхаш характеризуются высоким риском техногенного нарушения (рис. 5). Эти города находятся в пустынной зоне с распространением серо-бурых пустынных почв, для которых допустимый уровень нагрузки составляет $CL(TM) < 1000$ экв/га/год.

Выводы:

– в результате пространственного анализа выявлена широтная зональность значений критической нагрузки кислотности и тяжелых металлов. Величина допустимого уровня загрязнения возрастает с юга на север. Полученные значения КН для CL_{acid} варьируют в интервале 50–1710 экв/га/год, для $CL(TM)$ – 504–6770 экв/га/год. Высокие значения КН кислотности характерны для слабоуязвимых умеренно засушливых степей на черноземах обыкновенных, темно-каштановых почвах. Высокая уязвимость присуща умеренно увлажненным степям на болотных, лугово-болотных почвах. В северных районах почвы серые лесные осолоделые, черноземы обыкновенные, черноземы южные относятся к почвам со слабой уязвимостью к выпадению тяжелых металлов, высокая уязвимость характерна для типичных пустынь на пустынно-степных песках и серо-бурых пустынных почвах;

– северные районы пустынных степей на светло-каштановых почвах Карагандинской области подвергаются максимальному риску химической деградации под воздействием кислотообразующих веществ. Для городов Жезказган и Балхаш, находящихся в северной остепненной пустыне на серо-бурых пустынных почвах, характерен высокий риск нарушения их нормального функционирования под воздействием выпадения тяжелых металлов;

– результаты исследований показали, что критическая нагрузка может служить индикатором чувствительности экосистем, определяющим максимально допустимое поступление загрязнителей, при котором риск нанесения ущерба экосистеме будет минимальным. Региональные оценки критической нагрузки позволяют оптимизировать стратегию сокращения выбросов различных загрязнителей и снизить их трансграничный перенос для достижения максимальной экологической выгоды.

Благодарность. Исследование выполнено за счет Российского научного фонда (грант №14-27-00083).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Башкин В.Н. Оценка экологического риска при расчетах критических нагрузок поллютантов на экосистемы // География и природные ресурсы. 1999. № 1. С. 35–39

Башкин В.Н., Танканыаг В.А. Оценка устойчивости восточно-европейских экосистем к антропогенному поступлению серы и азота // Проблемы региональной экологии. 2001. № 4. С. 15–29.

Битюкова В.Р. Экологические проблемы развития регионов Республики Казахстан // Евразия. Постсоветское пространство. 2009. № 4. С. 132–148.

Богданова М.Д. Сравнительная характеристика буферности почв России по отношению к кислотным воздействиям // Почвоведение. 1994. № 5. С. 93–101.

Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И. Карты устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами и полициклическими ароматическими углеводородами: метод и опыт составления // Почвоведение. 2007. № 1. С. 80–92.

Глазковская М.А. Методологические основы оценки эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям: Методологическое пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 102 с.

Копчик Г.Н., Макаров М.И., Киселева В.В. Принципы и методы оценки устойчивости почв к кислотным выпадениям: Учеб. пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 96 с.

Кречетов П.П., Алябина И.О. Теоретические основы количественной оценки устойчивости почв к техногенному воздействию // Охрана окружающей природной среды. Почвы. М.: ВНИИ природы, 2001. С. 197–210.

Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В. Почвенный покров космодрома Байконур и его устойчивость к техногенному воздействию // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 3. С. 12–24.

Национальный Атлас Республики Казахстан. Т. 1. Природные условия РК. Алматы: Изд-во «Республиканская картографическая фабрика Агентства по земельным ресурсам РК», 2006. 125 с.

Национальный доклад о состоянии окружающей среды Республики Казахстан в 2010 году / Под ред. М.К. Бакеновой. Алматы: РГП «КазНИИЭЖ» МООС РК, 2011. 241 с.

Охрана окружающей среды в Казахстане. 2007–2011 / Стат. сб. Астана, 2012. 322 с.

Регионы Казахстана в 2011 году // Стат. сб. /Под ред. А.А. Смаилова. Астана, 2012. 401 с.

Сайт Агентства статистики Республики Казахстан, раздел «Экологические индикаторы мониторинга и оценки окружающей среды». 2015. [Электр. ресурс]. URL: <http://www.stat.gov.kz/> (дата обращения: 20.03.2015).

Сайт рейтингового агентства «Эксперт РА», раздел «Инвестиционные рейтинги регионов Казахстана». 2015. [Электр. ресурс]. URL : <http://www.raexpert.ru/ratings/kazakhstan/> (дата обращения: 20.03.2015).

Снакин В.В., Алябина И.О., Кречетов П.П. Экологическая оценка устойчивости почв к антропогенному воздействию // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 5. С. 50–57.

Солнцева Н.П. Геохимическая устойчивость природных экосистем к техногенным нагрузкам // Добыча минерального сырья и геохимия природных систем. М.: Наука, 1982. С. 181–216.

Угарова Н.А. Новый подход к оценке изменения устойчивости городской среды на примере городов Челябинской области // Экология и промышленность России, 2004. № 10. С. 4–9.

Филаретова А.Н., Кречетов П.П., Королева Т.В., Дианова Т.М. Устойчивость южно-таежных экосистем северо-восточной части Московской области к воздействию кислотных осадков // Фундаментальные исследования. 2012. № 11 (ч. 3). С. 542–547.

De Vries W, Posch M, Reind G.J., Kamari J. Critical Loads and their Exceedances on Forest Soils in Europe. The Winand Staring Centre for Integrated Land // Soil and Water Res. Rep. Vol. 58. Wageningen, 1993. 116 p.

Hettelingh J.P., Sverdrup H., Zhao D. Deriving Critical Loads for Asia // Water, Air and Soil Pollution. 1995. Vol. 85, Iss. 4. P. 2565–2570.

National Human Development Report 2009. From Exclusion to Equality: Realizing the rights of persons with disabilities in Kazakhstan. UNDP Kazakhstan, 2009. 161 p.

Posch M., deSmet P.A.M., Hettelingh J-P., Downing R.J. Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe. Status Report 1999. Coordination Center for Effects // RIVM Rep. N. 259101009. 1999. Bilthoven, the Netherlands, 165 p.

Поступила в редакцию 17.04.2015

Принята к публикации 11.09.2015

S.S. Ukashova¹, P.P. Krechetov²

EVALUATION OF ADMISSIBLE IMPACT OF POLLUTANTS ON THE ECOSYSTEMS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

Approaches to the quantitative assessment of admissible impact of pollutants on the ecosystems of the Republic of Kazakhstan are discussed. Regional analysis of the anthropogenic load over the territory of the Republic of Kazakhstan showed very high degree of the territorial localization of chemical pollution. A database of soil properties and parameters used for the assessment of critical load was created. A balance model was used to determine critical loads of acid depositions and nitrogen compounds. Admissible depositions of heavy metals were evaluated with due account of organic matter content, sorption capacity and availability of carbonates. The resulting maps and large amount of data make it possible to analyze in detail soils of the territory under study. The spatial analysis has revealed zonal distribution of the critical loads of acid rains and heavy metal depositions. Critical load is an indicator of ecosystem vulnerability and allows evaluating the risk of ecosystem damage. Regional assessment of critical loads contributes to the optimization of the strategy of pollutant emission reduction and the mitigation of their transboundary transport for the maximum environmental benefit.

Keywords: soils, ecosystems, pollutants, critical loads, acid rains, heavy metals, Republic of Kazakhstan.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-27-00083).

¹ Kazakhstan Branch of the Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Ecology and Nature Management, post-graduate student; *e-mail*: sabina.samarbaevna@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Associate Professor, Ph.D. in Biology; *e-mail*: krechetov@mail.ru

REFERENCES

- Bashkin V.N.* Ocenka jekologicheskogo riska pri raschetah kriticheskikh nagruzok polljutantov na jekosistemy [Assessment of environmental risk in calculating critical loads of pollutants on ecosystems], *Geografija i prirodnye resursy*, 1999, no 1, pp. 35–39 (in Russian).
- Bashkin V.N., Tankanag V.A.* Ocenka ustojchivosti vostochno-evropejskikh jekosistem k atmotehnogennomu postupleniju sery i azota [Assessment of stability of Eastern European ecosystems to atmo-technogenic flow of sulfur and nitrogen], *Problemy regional'noj jekologii*, 2001, no 4, pp. 15–29 (in Russian).
- Bitjukova V.R.* Jekologicheskie problemy razvitiya regionov Respubliki Kazahstan [Environmental problems on development of the Kazakhstan regions], *EvroAzija Postsovetskoe prostranstvo*, 2009, no 4, pp. 132–148 (in Russian).
- Bogdanova M.D.* Sravnitel'naja harakteristika bufernosti pochv Rossii po otnosheniju k kislotnym vozdeystvijam [Comparative characteristics of soil buffering in Russia in relation to acid exposure], *Pochvovedenie*, 1994, no 5, pp. 93–101 (in Russian).
- De Vries W, Posch M, Reind G.J., Kamari J.* Critical Loads and their Exceedances on Forest Soils in Europe. The Winand Staring Centre for Integrated Land // Soil and Water Res. Rep. Vol. 58. Wageningen, 1993. 116 p.
- Filaretova A.N., Krechetov P.P., Koroleva T.V., Dianova T.M.* Ustojchivost' juzhno-taezhnyh jekosistem severo-vostochnoj chasti Moskovskoj oblasti k vozdeystviyu kislotnyh osadkov [Stability of southern taiga ecosystems of the North-eastern part of the Moscow Oblast to the impacts of acid rain], *Fundamental'nye issledovaniya*, 2012, no 11 (chast' 3), pp. 542–547 (in Russian).
- Gennadijev A.N., Pikovskij Ju.I.* Karty ustojchivosti pochv k zagryzneniju nefteproduktami i policiklicheskimi aromatcheskimi uglevodorodami: metod i opyt sostavlennija [Maps of soil resistance to pollution by oil products and polycyclic aromatic hydrocarbons: method and experience of preparation], *Pochvovedenie*, 2007, no 1, pp. 80–92 (in Russian).
- Glazovskaja M.A.* Metodologicheskie osnovy ocenki jekologo-geohimicheskoj ustojchivosti pochv k tehnogennym vozdeystvijam: Metodologicheskoe posobie [Methodological basis of assessment of environmental-geochemical soil resistance to anthropogenic influences: Methodological guide], M.: Izdatel'stvo MGU, 1997, 102 p. (in Russian).
- Hettelingh J.P., Sverdrup H., Zhao D.* Deriving Critical Loads for Asia // *Water, Air and Soil Pollution*. 1995. Vol. 85, Iss. 4. P. 2565–2570.
- Kopcik G.N., Makarov M.I., Kiseleva V.V.* Principy i metody ocenki ustojchivosti pochv k kislotnym vypadenijam: Uchebnoe posobie [Principles and methods for evaluating stability of soils to acid deposition: Textbook.], M.: Izdatel'stvo MGU, 1998. 96 p. (in Russian).
- Krechetov P.P., Aljabina I.O.* Teoreticheskie osnovy kolichestvennoj ocenki ustojchivosti pochv k tehnogennomu vozdeystviyu [Theoretical basis for quantitative assessment of soil resistance to technogenic impact], *Ohrana okruzhajushhej prirodnoj sredy. Pochvy. Moskva, VNIi prirody*, 2001, pp. 197–210 (in Russian).
- Krechetov P.P., Koroleva T.V., Chernitsova O.V.* Pochvennyj pokrov kosmodroma Bajkonur i ego ustojchivost' k tehnogennomu vozdeystviyu [Soil cover of Baikonur cosmodrome and its resistance to technogenic impact], *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seria 5. Geografija*, 2015, no 3, pp. 12–24 (in Russian).
- Nacional'nyj Atlas Respubliki Kazahstan. T. 1. «Prirodnye uslovija RK». Almaty, Izd-vo «Respublikanskaja kartograficheskaja fabrika Agentstva po zemel'nym resursam RK» [National Atlas of the Kazakhstan Republic. Volume I «natural conditions of the RK», Almaty 2006. 125 p. (in Russian).
- Nacional'nyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy Respubliki Kazahstan v 2010 godu [National Report on environmental conditions of the Kazakhstan Republic in 2010], Pod redakciej M.K. Baekenovoj, RGP «KazNIIJeK» MOOS RK, Almaty, 2011. 241 p. (in Russian).
- National Human Development Report 2009. From Exclusion to Equality: Realizing the rights of persons with disabilities in Kazakhstan. UNDP Kazakhstan, 2009. 161 p.
- Ohrana okruzhajushhej sredy v Kazahstane. 2007–2011 [Environmental Protection in Kazakhstan 2007–2011], Stat. sb. Astana, 2012. 322 p. (in Russian).
- Posch M., deSmet P.A.M., Hettelingh J-P., Downing R.J.* Calculation and Mapping of Critical Thresholds in Europe. Status Report 1999. Coordination Center for Effects // RIVM Rep. N. 259101009. 1999. Bilthoven, the Netherlands, 165 p.
- Regiony Kazahstana v 2011 godu, [Kazakhstan Regions in 2011], Statisticheskij sbornik, Pod red. A.A. Smailova, Astana, 2012. 401 p. (in Russian).
- Sajt Agentstva statistiki Respubliki Kazahstan, razdel Jekologicheskie indikatory monitoringa i ocenki okruzhajushhej sredy [Materials of the Agency of Statistics of the Republic of Kazakhstan site, section of Environmental indicators for monitoring and evaluation of the environment], 2015. URL: <http://www.stat.gov.kz/> (Accessed: 20.03.2015).
- Sajt rejtingovogo agentstva «Jekspert RA», razdel investicionnye rejtingi regionov Kazahstana. [Materials of rating agency «Expert RA» site, section of Kazakhstan regions investment ratings] 2015. URL: <http://www.raexpert.ru/ratings/kazahstan/> (Accessed: 20.03.2015).
- Snakin V.V., Aljabina I.O., Krechetov P.P.* Jekologicheskaja ocenka ustojchivosti pochv k antropogennomu vozdeystviyu [Environmental assessment of soil resistance to anthropogenic impact], *Izvestija RAN. Serija geograficheskaja*, 1995, no 5, pp. 50–57 (in Russian).
- Solnceva N.P.* Geohimicheskaja ustojchivost' prirodnyh jekosistem k tehnogennym nagruzkam [Geochemical stability of natural ecosystems to technogenic loads], *Dobycha mineral'nogo syr'ja i geohimija prirodnyh system*, M.: Nauka, 1982, pp. 181–216 (in Russian).
- Ugarova N.A.* Novyj podhod k ocenke izmenenija ustojchivosti gorodskoj sredy na primere gorodov Cheljabinskij oblasti [New approach to assessing the changes in stability of urban environment on the example of Chelyabinsk Oblast], *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, 2004, no 10, pp. 4–9 (in Russian).

Received 20.04.2015

Accepted 11.09.2015

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 910.27 631.452

Б. С. Габдуллин¹, А.В. Жоголев², И.Ю. Савин³, А. Отаров⁴, М.А. Ибраева⁵, Д.Л. Голованов⁶**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ЗАСОЛЕННОСТИ ПОЧВ ОРОШАЕМЫХ МАССИВОВ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА)**

Проанализированы возможности использования спутниковых данных Landsat и Pleiades для дешифрирования засоленности почв орошаемых массивов Казахстана. Использованы снимки, полученные в разные даты, для выяснения зависимости точности дешифрирования засоленности почв от периода съемки. Применялся метод построения регрессий между значениями электропроводности и предикторов для всех точек полевого обследования отдельно для полей с разными культурами.

Наиболее информативным оказалось косвенное дешифрирование засоленности почв по состоянию растительности в первой половине вегетационного сезона. Самые надежные регрессионные зависимости были получены при использовании спутниковых данных Landsat. На основании наиболее значимых регрессионных моделей составлены карты засоленности почв Акдалинского массива орошения на разной глубине (см): 0–20, 20–50, 50–100.

Ключевые слова: дешифрирование засоления почв, Landsat, Акдалинский массив орошения.

Введение. Засоление почв – один из важнейших факторов, ограничивающих развитие сельского хозяйства. Вследствие засоленности почв снижаются урожай и его качество. Многие поля в результате сильного засоления выводятся из использования.

Проблема актуальна на территории Республики Казахстан, так как активное развитие засоления обусловлено особенностью природных условий – значительной аридностью климата, равнинностью и слабой дренированностью территории, используемой под орошение. В четырех южных областях Казахстана, где сосредоточена основная часть орошаемых земель, в разной степени засолено более 55% площади [Программа..., 2006].

Картографирование и мониторинг засоления почв традиционно проводят на основе полевых обследований [Гусенков, 1979; Инструкция..., 1975; Маргулис, 1975; Методические..., 1983]. Эти методы трудоемкие, затратные и не позволяют осуществлять оперативный мониторинг больших территорий.

В 80-е гг. прошлого века начаты исследования по разработке дистанционных методов картографирования и мониторинга почв, которые базировались на использовании как аэро-, так и спутниковых снимков [Мамедов, 1985; Панкова и др., 1979, 1986; Панкова, Мазиков, 1976]. В результате были разработаны первые методические подходы к визуальному

дешифрированию засоленности почв. В настоящее время наиболее перспективны использование спутниковых данных и автоматизированные методы дешифрирования засоленности почв. Эти исследования активно разрабатываются во многих странах. Ученые используют различные спутниковые данные: Pleiades, QuickBird, Landsat, ASTER, Ikonos и др. [Савин и др., 2014; Fernandez-Buces et al., 2006; Masoud, Koike, 2006; Metternicht, Zinck, 2003; Nield et al., 2007; Shrestha, Farshad, 2009; Singh, Dwivedi, 1989], снимки с разным пространственным и спектральным разрешением. Наиболее удобны в работе снимки Landsat, так как существует большой архив этих снимков в нескольких спектральных каналах в инфракрасной зоне спектра в свободном доступе. Однако данные Landsat имеют относительно невысокое пространственное разрешение, что может ограничивать их применимость для определения засоления почв; данные Pleiades, напротив, имеют высокое пространственное разрешение.

Работа посвящена анализу возможности использовать спутниковые данные Landsat-8 OLI и Pleiades для мониторинга засоления почв. В качестве объекта изучения выбран Акдалинский массив орошения, характеризующийся активным развитием засоления почв.

Материалы и методы исследований. Объект исследования – засоленные почвы части Акдалинского массива орошения, расположенной на право-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, магистрант; *e-mail:* gabdullin10.92@mail.ru

² Почвенный институт имени В.В. Докучаева, мл. науч. с.; *e-mail:* jars@bk.ru

³ Почвенный институт имени В.В. Докучаева, зав. отделом, ст. науч. с.; *e-mail:* savigory@gmail.com

⁴ ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», зав. отделом, *e-mail:* azimbay@bk.ru

⁵ ТОО «Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», зав. отделом, *e-mail:* ibraevamar@mail.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, ст. препод.; *e-mail:* dm_golovanov@mail.ru

бережье нижнего течения р. Или на территории древней Акдалинской дельты (Казахстан). Район исследования на северо-востоке граничит с песчаной пустыней Сарыесик Атырау, на юго-востоке – с песками Кызыл-Джингиль и горами Тасмурун, на западе – с песками Таукум (рис. 1).

ная гидравлическая связь. Напорный водоносный горизонт представлен тремя водоносными слоями, не имеющими непроницаемых границ между собой. Начало орошения характеризуется колебанием уровня подземных вод от 1 до 3 м в пределах поймы р. Или и от 8 до 10 м на большей части дельты. В

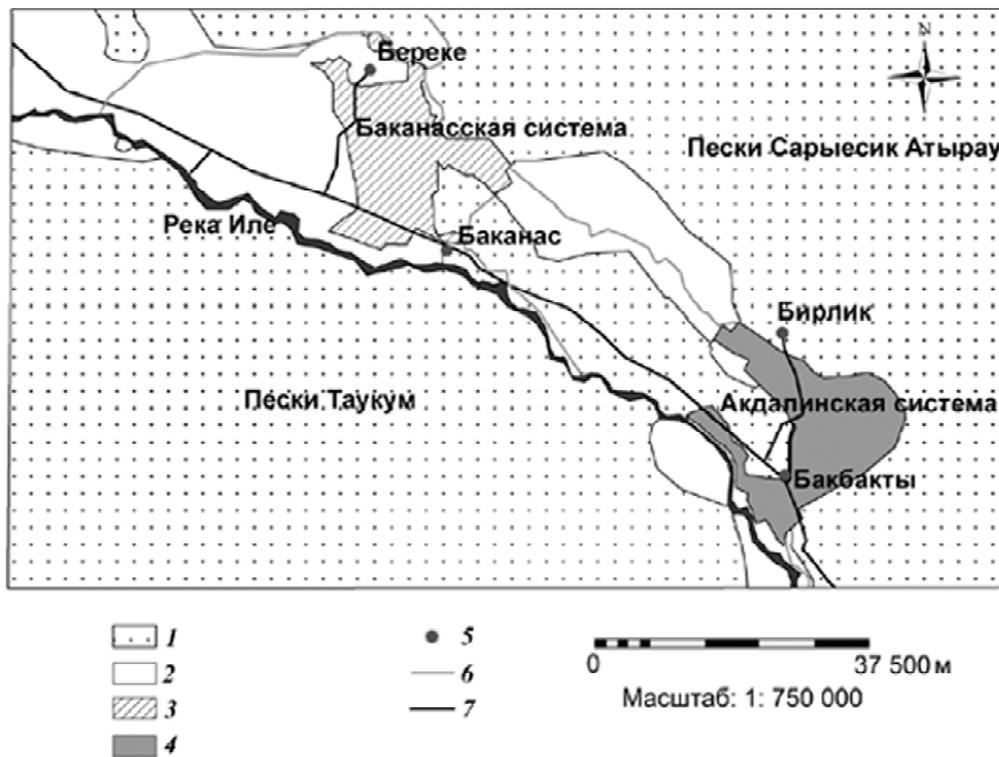


Рис. 1 Местоположение орошаемого массива: 1 – песчаные массивы, 2 – территория вне песчаных массивов, 3 – Баканасская система орошения, 4 – изучаемая территория (Акдалинская система орошения), 5 – населенные пункты, 6 – каналы, 7 – автомобильные дороги. Составлено по данным [Курмашев, 2013; Национальный..., 2006]

Акдалинская дельта представляет собой волнистую равнину, для которой характерен слабовыраженный уклон в северо-западном направлении. Абсолютные отметки изменяются с юго-востока на северо-запад от 390 м (устьевая часть) до 413 м (вблизи гор Тасмурун) [Корниенко и др., 1977].

Выходящие на поверхность среднечетвертичные аллювиальные и нерасчлененные эоловые отложения представлены песками и супесями с линзами и прослойками суглинков, глин.

Климат резко континентальный. Характерны жаркое сухое лето и холодная малоснежная зима. Максимальная среднемесячная температура воздуха достигает 23–25 °С, минимальная – (–3÷15) °С. Сумма осадков составляет 135–206 мм [Корниенко и др., 1977].

Река Или – основной источник орошения. Среднемесячный расход в течение года находится в пределах 168–901 м³/с. Питание ледниковое (в горных районах) и от грунтовых вод (в равнинной части) [Корниенко и др., 1977]. Воды реки характеризуются низкой минерализацией воды и гидрокарбонатно-кальциевым ионным составом, рН воды варьирует в пределах 7,60–8,20 [Ресурсы..., 1970].

Грунтовые воды приурочены к нижне- и среднечетвертичным отложениям, наблюдается их постоян-

ный период орошения уровень повышается от 2 до 4,5 м в результате инфильтрации воды [Водные..., 2011].

На территории Акдалинского массива минерализация грунтовых вод различна – центральная и северная части имеют минерализацию 0,23–1,0 г/л, химический состав вод гидрокарбонатно-натриево-кальциевый, нередко гидрокарбонатно-натриевый. Для юго-восточной, западной, северо-западной частей характерны более высокая минерализация (1–3 г/л) и сульфатно-натриевый состав [Корниенко и др., 1977].

Предпесковая зона и верхняя часть прирусловых валов заняты такыровидными незасоленными почвами песчаного и супесчаного гранулометрического состава. К склонам прирусловых валов и повышениям междурусловых понижений отмерших проток приурочены такыровидные солончаковатые почвы [Корниенко и др., 1977]. До глубины 30–50 см засоление отсутствует, ниже содержание солей резко увеличивается. На равнинных понижениях Акдалинской дельты формируются такыровидные солончаковые почвы. Отличие этих почв заключается в сильной засоленности начиная с подкоркового горизонта. Такыровидные глубокозасоленные почвы распространены на повышенных формах рельефа. Верхние горизонты не засолены. Засоление начинается

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики бортовой аппаратуры*

Характеристика	Pleiades	Landsat-8
Наименование съемочной аппаратуры	HiRi (High-Resolution Imager)	OLI (Operational Land Imager) и TIRS (Thermal Infrared Sensor)
Спектральный диапазон; мкм	панхроматический; 0,48–0,83 синий; 0,43–0,55 зеленый; 0,49–0,61 красный; 0,60–0,72 ближний ИК; 0,79–0,95	панхроматический; 0,50–0,68 фиолетовый; 0,43–0,45 синий; 0,45–0,52 зеленый; 0,53–0,60 красный; 0,63–0,68 ближний ИК; 0,85–0,89 ИК; 1,36–1,39; 1,56–1,66; 2,10–2,30 тепловой ИК; 10,40–12,50
Разрешение на местности; м	0,7 (Panchromatic); 2,8 (Multispectral)	15 (Panchromatic); 30 (Visible and near infra-red and shortwave infra-red); 100 (Thermal infra-red)
Ширина полосы съемки; км	20	185

*Составлено по данным [Спутник «Landsat-8»..., 2015; Спутник «Pleiades-1A»..., 2015].

с 90 см. Такыровидные солонцевато-солончаковые почвы формируются на пониженных формах рельефа. Верхняя часть профиля до солонцового горизонта рассолена [Соколов и др., 1962]. Преобладает, как правило, хлоридно-сульфатный тип засоления. Почвы обеднены питательными веществами, малогумусны (<1%), характеризуются полной бесструктурностью и способностью заплывать после поливов и образовывать плотную корку. Под влиянием орошения активизируются процессы миграции солей в профиле почв.

Приречная полоса характеризуется незначительным распространением аллювиально-луговых тугайных, аллювиально-луговых опустынивающихся почв. Луговые почвы характеризуются высокой щелочностью. Содержание карбонатов достигает высоких значений и увеличивается с глубиной. Все почвы характеризуются высокой щелочностью раствора, карбонатностью [Соколов и др., 1962]. На орошаемом массиве возделываются озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.), люцерна (*Medicago* L.), рис (*Oryza sativa* L.), овес (*Avena sativa* L.). Естественная растительность практически отсутствует.

Данные о засоленности почв собраны во время полевых работ летом 2014 г. С помощью полевого прибора-солемера «Прогресс 1Т» определяли электропроводность и температуру почв, на основе этих данных рассчитана степень засоления. Определенные степени засоления выполняли в следующих диапазонах глубины: 0–20, 20–50, 50–100 см. Всего сделано 285 определений. Фиксирование координат точек проводили с помощью GPS «Garmin 62s».

Первый этап камеральных послеполевых работ включал создание векторных слоев ГИС на изучаемую территорию, представленных границами обрабатываемых полей, дорогами, водными объектами. Основные характеристики спутниковых данных приведены в табл. 1. Спутниковая съемка Pleiades выполнена во время проведения полевых работ 13 июля 2014 г.

На первом этапе проводили дешифрирование снимков, чтобы выделить культуры, возделываемые на полях орошаемого массива в сезон 2014 г., культуры определяли путем сравнения с изображениями полей, на которых они описаны во время полевых исследований. Поля с рисом и люцерной выделены по мультиспектральному снимку Pleiades, полученному во время проведения полевых работ с использованием метода контролируемой классификации по обучающей выборке (с использованием всех каналов снимка). В связи с тем, что изображения полей с овсом и пшеницей не удалось разделить на основе этого снимка, для разделения полей с этими культурами привлечены космические снимки Landsat-8 OLI с разрешением 30 м за 12 мая, 15 июля, 17 сентября 2014 г. Использование снимков за несколько сроков съемки позволило разделить поля с этими культурами. Для разделения также использован метод классификации с обучением, но по данным, полученным в ближнем ИК-канале съемки за вышеуказанные сроки. Каждому полю был присвоен класс культуры по преобладанию классифицированных пикселей. Итоговая маска видов культур представлена на рис. 2.

Карты засоленности строили на основе регрессионного анализа – создания уравнений регрессии между данными космической съемки и электропроводностью, измеренной в поле. С помощью ГИС извлечены значения яркости пикселей для всех спектральных каналов спутниковых снимков Pleiades, Landsat-8 OLI и рассчитаны значения отношений яркости пикселей в разных каналах и вегетационные индексы. В результате получены следующие потенциальные предикторы засоленности почв.

1. Отдельные спектральные каналы спутника Pleiades (мкм): Band1 (0,43–0,55), Band2 (0,49–0,61), Band3 (0,60–0,72), Band4 (0,79–0,95); отдельные спектральные каналы спутника Landsat: Band1 (0,43–0,45), Band2 (0,45–0,52), Band3 (0,53–0,60), Band4 (0,63–0,68), Band5 (0,85–0,89), Band6 (1,36–1,39),

Band7 (1,56–1,66), Band9 (2,10–2,30) для всех выбранных сроков съемки.

2. Вегетационные индексы, рассчитанные по спутниковым данным Pleiades и Landsat:

$$\begin{aligned} \text{NDVI} &= (\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}), \\ \text{IR}_R &= \text{NIR}/\text{R}, \\ \text{SQRT} &= \text{sqrt}(\text{NIR}/\text{R}), \\ \text{VEGI} &= \text{NIR}-\text{R}, \\ \text{TNDVII} &= \text{sqrt}(((\text{NIR}-\text{R})/(\text{NIR}+\text{R}))+0,5), \\ \text{GNDVI} &= (\text{NIR}-\text{G})/(\text{NIR}+\text{G}), \\ \text{NDGR} &= (\text{R}-\text{G})/(\text{R}+\text{G}) \text{ [Дубинин, 2002]}. \end{aligned}$$

3. Соотношения каналов спутников Pleiades и Landsat: B/G, R/G, B/NIR, B/R, NIR/G [Дубинин, 2002], где NIR – яркость в ближнем инфракрасном канале, R – яркость в красном канале, G – яркость в зеленом канале, B – яркость в голубом канале (табл. 1).

Сначала проанализированы возможности использования космических снимков Pleiades, затем – снимков Landsat. Построение регрессий между значениями электропроводности и предикторов для всех точек полевого обследования проводили в программе Statistica ver. 7.0 отдельно для полей с овсом, люцерной, рисом, пшеницей. Был применен алгоритм пошагового регрессионного анализа с включением новых переменных. Регрессии построены для трех слоев почвы: 0–20, 20–50, 50–100 см. В построении регрессий по снимкам Landsat-8 OLI использованы снимки за следующие даты: 12 мая (132-й день), 15 июля (196-й день), 17 сентября (260-й день) 2014 г., а также 1 ноября (305-й день) 2013 г. По наиболее точным регрессионным моделям с высоким



Рис. 2. Карта возделываемых культур: 1 – люцерна, 2 – овес, 3 – рис, 4 – пшеница, 5 – другие

значением коэффициента детерминации (R^2) в геоинформационной системе ILWIS построены карты засоления в терминах ФАО [Abrol et al., 1988]. Оценка качества регрессионных моделей и построенных на их основе карт, проведена по методу Jackknife [Efron, 1982].

Результаты исследований и их обсуждение. По космическому снимку Pleiades наиболее значимые результаты регрессионного анализа ($R^2 > 0,3$) получены только для полей, засеянных люцерной. Это обусловлено, скорее всего, тем, что в период съемки лишь люцерна находилась в фазе активной вегетации, в то время как другие культуры уже прошли этот период и находились в фазе спелости, т.е. состояние люцерны лучше индизировало засоленность почв, чем состояние посевов остальных культур.

Об этом же свидетельствуют и результаты анализа изображений Landsat-8 OLI. В этом случае самая высокая точность регрессии для всех точек и отдельно по культурам получена для снимков за 12 мая 2014 г., меньшая – за 15 июля 2014 г., самая низкая – за 1 ноября 2013 г. (табл. 2). 12 мая практически все культуры активно вегетировали, а 1 ноября поверхность полей была открытой. Таким образом, дешифрирование засоленности почв по изображению открытой поверхности почв оказалось наименее успешным. Наилучшие регрессии получены для периода активной вегетации культур.

Также отметим, что результаты дешифрирования засоленности почв по изображению Landsat-8 OLI, полученному в середине июля,

Таблица 2

Значения коэффициента детерминации (R^2) для разных космических снимков

Культура	Глубина, см	Landsat, 12 мая	Landsat, 15 июля	Landsat, 17 сентября	Landsat, 1 ноября	Pleiades, 15 июля
Люцерна	0–20	0,3	0,38	0,56 (1,8)	–	0,16
	20–50	0,34 (1,3)	–	–	–	0,31
	50–100	–	0,3	0,28 (1,5)	–	0,26
Рис	0–20	–	0,38 (2,5)	0,26	–	–
	20–50	0,31 (1,9)	–	0,25	0,27	–
	50–100	0,32 (2,0)	0,12	0,27	0,23	–
Овес	0–20	0,54 (1,2)	0,21	0,2	0,4	0,28
	20–50	–	–	0,29 (0,9)	–	–
	50–100	–	–	–	–	–
Пшеница	0–20	–	0,3 (1,4)	–	0,26	0,27
	20–50	–	–	–	–	–
	50–100	–	0,9 (1,1)	–	0,26	–

Примечание. В скобках – значение стандартного отклонения (дСм/м); прочерк – коэффициент детерминации равен нулю; полужирным выделены наиболее значимые значения коэффициента детерминации.

оказались немного лучше, чем по изображению Pleiades практически за тот же срок съемки. Это может быть связано как с разницей спектральных характеристик каналов съемки этих двух сенсоров, а также (что вероятнее) с разницей в пространственном разрешении данных. Данные Landsat позволяют получать более генерализованные изображения, на которых пространственные неоднородности состояния посевов несколько сглажены по сравнению с изображением Pleiades. Небольшие по площади неоднородности посевов, которые могут быть связаны не с засолением, а с локальной нарушенностью их человеком, могут сильнее влиять на изображения Pleiades, чем на изображения Landsat.

Однако в любом случае отметим, что значения коэффициента детерминации (R^2) в большинстве случаев невелики ($<0,5$), что, возможно, обусловлено генерализованностью космических снимков и сильным пространственным варьированием засоленности почв на небольшом расстоянии. Наиболее качественные регрессионные модели приведены в табл. 3.

Оценка качества лучших регрессионных моделей для каждого сочетания культуры и глубины методом Jackknife показала, что значения стандартных отклонений для разных культур и глубины составили от 0,9 до 2,5 дСм/м (табл. 2). Если учесть следующие градации засоления почв ФАО по значению электропроводности (дСм/м): 0–2 – незасоленные, 2–4 – слабозасоленные, 4–8 – средnezасоленные, 8–16 – сильнозасоленные, >16 – очень сильнозасоленные [Abrol et al., 1988], можно сделать вывод, что ошибка прогноза засоления в среднем не превышает одну градацию.

Отклонение предсказанных значений от измеренных в поле для моделей с небольшим числом предикторов (простых) было наименьшим, что привело к достаточно низкому стандартному отклонению, рассчитанному для всех моделей на основе сокращенных выборок.

На основе отобранных наиболее точных регрессионных моделей в ГИС построены карты засоленности почв массива (рис. 3).

В результате анализа карт засоленности выяснено, что на Акдалинском массиве орошения значительные территории заняты почвами, незасоленными с поверхности (северо-западная, центральная части). На глубине 20–50 см в почвах наблюдается практически полное преобладание слабой степени засоления. Глубина 50–100 см характеризуется высокой долей почв с отсутствием засоления (центральная, восточная части).

Средняя степень засоления распространена небольшими ареалами на всех рассматриваемых диапазонах глубины. Такая степень засоленности встречается в основном на полях с посевами риса, что обусловлено особенностью произрастания культуры – затопление рисовых чеков приводит к значительному подъему уровня грунтовых вод, следствием чего является засоление почв. Распространение сильного засоления почв оказалось незначительным (рис. 3).

Анализ рис. 3 также показывает, что степень засоления почв на всех проанализированных значениях глубины предопределяется спецификой использования территории, а именно типом возделываемых культур. Каждая культура возделывается в рамках строго установленной агротехники и в севообороте. И этот фактор оказывает наибольшее влияние на пространственное изменение засоления на территории исследований.

На полях, засеянных люцерной, озимой пшеницей и овсом, на всех диапазонах глубины основная доля принадлежит незасоленным и в меньшей степени слабозасоленным почвам. Возможными причинами отсутствия значительной реставрации степени засоления могут быть предшествовавшее выращивание риса, легкий механический состав почв, изначально невысокая степень засоления. В случае с люцерной добавляется еще один фактор – относительно более высокое увлажнение в сентябре.

Таблица 3

Регрессионные модели

Культура	Интервал глубины, см	R^2	Регрессионная модель (дата съемки снимка Landsat)
Люцерна	0–20	0,56	$G = -259 - 0,00275\text{Band}2 - 508\text{NDGR} + 286R/G$ (17.09.2014)
	20–50	0,34	$G = -14,8 + 0,00250\text{Band}6 - 0,00175\text{Band}7$ (12.05.2014)
	50–100	0,28	$G = -2,43 + 9,19B/NIR$ (17.09.2014)
Рис	0–20	0,38	$G = -325 - 0,00124\text{Band}7 + 0,0666\text{Band}9$ (15.07.2014)
	20–50	0,31	$G = -273 - 0,000434\text{Band}6 + 1,59110\text{Band}9$ (12.05.2014)
	50–100	0,32	$G = 6,74 - 0,000435\text{Band}6 + 89,2\text{NDGR}$ (12.05.2014)
Овес	0–20	0,54	$G = 337 + 0,00186\text{Band}2 - 0,0695\text{Band}9$ (12.05.2014)
	20–50	0,29	$G = 11,2 - 4,85\text{NIR}/G$ (17.09.2014)
Пшеница	0–20	0,37	$G = 30,7 - 0,00297\text{Band}2$ (17.09.2014)
	50–100	0,9	$G = 536 - 0,0186\text{Band}2 + 0,00261\text{Band}6 - 0,0622\text{Band}9 - 57,3\text{NDVI} - 50,4B/G$ (15.07.2014)

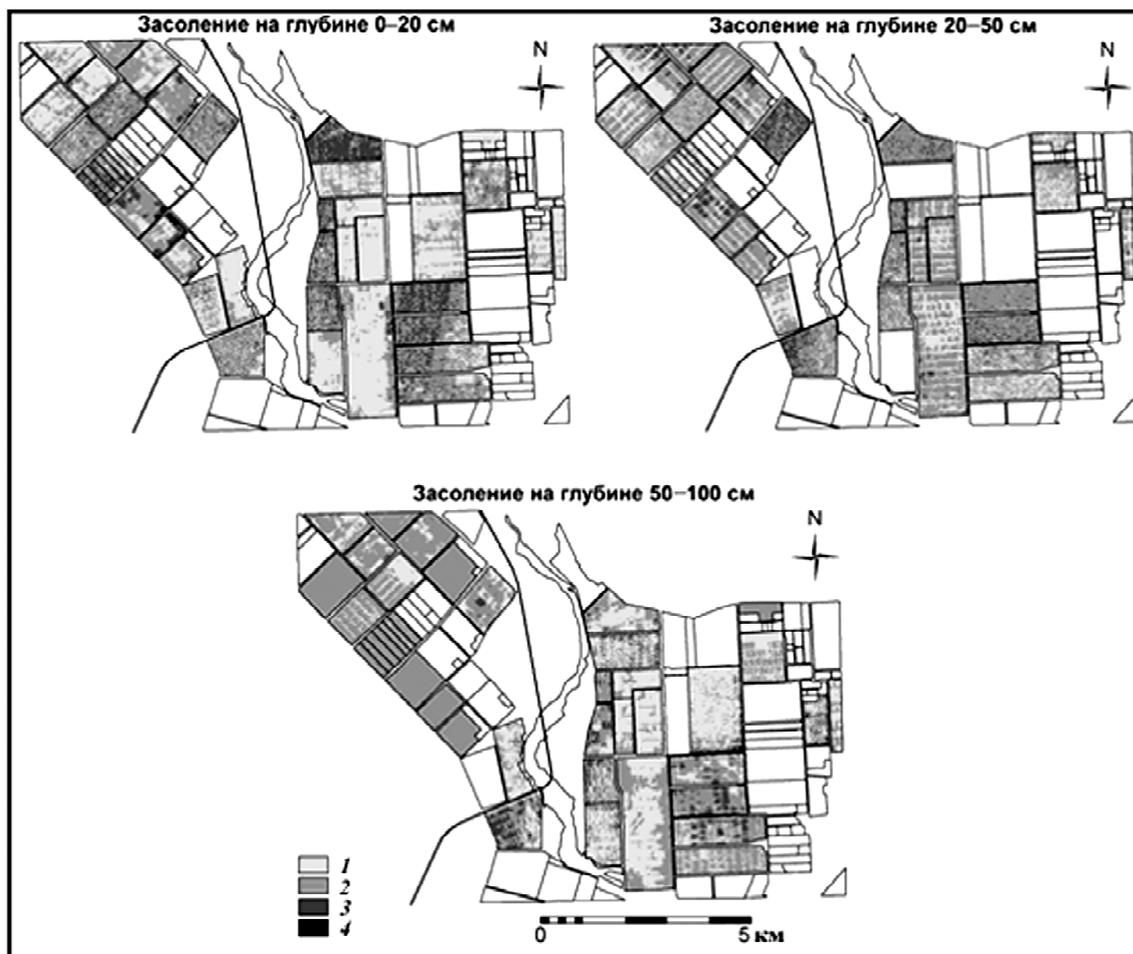


Рис. 3. Засоленность почв на разной глубине: 1 – незасоленные, 2 – слабозасоленные, 3 – средnezасоленные, 4 – сильнозасоленные

Таким образом, увеличение степени засоления, как правило, ограничивается отдельными полями. Иногда повышенным засолением затронуты близлежащие части соседних полей, причем это происходит на всех изученных диапазонах глубин. Кроме того, наблюдается связь засоленности почв с близостью к канавам, по которым вода для орошения подается на поля. Вблизи канав почвы во многих случаях относительно менее засолены за счет большей промытости.

В результате анализа построенных карт лишь небольшая часть внутриполевой неоднородности засоления может быть связана с разницей уровня засоленности почв, которая существовала до введения исследованных земель в использование. Предварительная подготовка полей под орошение и многолетняя промывка почв привели к почти полному нивелированию естественного фона засоленности почв.

Выводы:

– использование спутниковых данных с высоким пространственным разрешением в комбинации с выборочным полевым обследованием позволяет осуществлять оперативную оценку засоленности почв в регионе исследований на основе регрессионного анализа;

– дешифрирование засоленности почв региона по изображению их открытой поверхности менее успешно, чем по изображению посевов. Наиболее информативно оказалось состояние посевов в первой половине вегетационного сезона. Использование спутниковых данных Landsat позволило получить более надежные регрессионные зависимости по сравнению со спутниковыми данными Pleiades;

– точность составленных карт засоленности почв зависит от качества регрессионных уравнений. Наиболее точные модели для территории исследований с коэффициентом детерминации (R^2) выше 0,5 получены для описания засоления на глубине 0–20 и 50–100 см на полях с посевами овса, люцерны и пшеницы по данным снимков Landsat-8. Ошибка прогноза засоления в среднем не превышает одну градацию засоления почв по ФАО;

– для получения более надежных регрессионных моделей необходим, по-видимому, более тщательный выбор времени съемки с учетом специфики фенологического развития культур на территории исследований. Кроме того, проведение полевых работ необходимо планировать с учетом уже полученных дистанционных данных, а не одновременно с ними.

Благодарность. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-38-00023).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Водные проблемы Казахстана [Элек. ресурс]: информационная сеть / В.В. Веселов. Алматы: Институт гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина, 2011. URL: <http://water.unesco.kz/> (дата обращения: 07.02.2015).
- Гусенков Е.П. Основы разработки и особенности производства солевых съемок на объектах мелиоративного строительства и мелиорированных землях // Тр. Союзводпроект. 1979. № 52. С. 46–66.
- Дубинин М. Вегетационные индексы [Элек. ресурс]. Сайт по географическим информационным системам и дистанционному зондированию Gis-Lab.info. Электрон. дан. 2002–2015. URL: <http://gis-lab.info/qa/vi.html> (дата обращения: 07.02.2015).
- Инструкция по почвенным изысканиям для мелиоративного и водохозяйственного строительства. М.: Минмелиоводхоз СССР, 1975. 89 с.
- Корниенко В.А., Войнова Т.Н., Магашева Р.Ю. Почвы Акдалинского массива. Алма-Ата: Наука, 1977. 180 с.
- Курмашев К.М., Сарсенбаев М.Х. Водный баланс Акдалинского массива орошения // Изв. НАН Республики Казахстан. Сер. геология и технические науки. 2013. № 4 (400). С. 62–65.
- Мамедов Э.А. Изучение засоленных земель и солончаков с помощью космических методов // Исследование Земли из космоса. 1985. № 1. С. 60–61.
- Маргулис В.Ю. Количественная оценка засоленности почв для промывок засоленных земель // Почвы крупнейших ирригационно-мелиоративных систем в хлопкосеющей зоне. М., 1975. С. 3–78.
- Методические указания по проведению почвенно-солевых съемок на мелиорируемых землях. М.: Минсельхоз СССР и Минмелиоводхоз СССР, 1983.
- Национальный Атлас Казахстана. Т. 1. Природные условия и ресурсы / Под ред. Р. Медеу. Алматы, 2006.
- Панкова Е.И., Головина Н.Н., Венцкевич С.Д., Панади-ади Е.А. Опыт оценки засоления почв орошаемых территорий Средней Азии по материалам космической съемки // Почвоведение. 1986. № 3. С. 138–146.
- Панкова Е.И., Мазиков В.М. Оценка засоления орошаемых почв хлопковых полей по аэрофотоснимкам (на примере Голодной степи) // Почвоведение. 1976. № 5. С. 55–56.
- Панкова Е.И., Мазиков В.М., Исаев В.А., Ямнова И.А. Опыт использования аэрофотоснимков для характеристики засоления почв неорошаемых территорий сероземной зоны // Почвоведение. 1978. № 3. С. 82–85.
- Программа развития орошаемого земледелия в Казахстане / Под ред. А.К. Евниева. Тараз, 2006. 36 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Центральный и Южный Казахстан. Т. 13. Бассейн оз. Балхаш. Вып. 2 / Под ред. В.А. Семенова, Р.Д. Курдина. Л.: Гидрометиздат, 1970. 644 с.
- Савин И.Ю., Отаров А., Жоголев А.В., и др. Выявление многолетних изменений площади засоленных почв Шаульдерского орошаемого массива по космическим снимкам Landsat // Бюлл. Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2014. Вып. 74. С. 49–65.
- Соколов С.И., Ассинг И.А., Курмангалиев А.Б., Серпиков С.К. Почвы Казахской ССР. Алма-Атинская область. Вып. 4. Алма-Ата: Наука, 1962. 424 с.
- Спутник «Landsat-8» [Элек. ресурс] / Сайт геонновационного агентства «Иннотер». URL: <http://innoter.com/satellites/935> (дата обращения: 07.02.2015).
- Спутник «Pleiades-1A, 1B» [Элек. ресурс] / Сайт геонновационного агентства «Иннотер». URL: <http://innoter.com/satellites/924> (дата обращения: 07.02.2015).
- Abrol I.P., Yadav J.S.P., Massoud F.I. Salt-affected soils and their Management // FAO Soils Bull. 1988. Vol. 39. pp. 49–65.
- Efron B. Jackknife, the bootstrap, and other resampling plans // Soc. Industrial and applied mathematics. 1982. Vol. 38, p. 92.
- Fernandez-Buces N., Siebea C., Cramb S., Palacio J.L. Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texaco, Mexico // J. Arid Environm. 2006. Vol. 65, no 4, pp. 644–667.
- Masoud A.A., Koike K. Arid land salinization detected by remotely-sensed landcover changes: A case study in the Siwa region, NW Egypt // J. Arid Environm. 2006. Vol. 66, no 1, pp. 151–167.
- Metternicht G.I., Zinck J.A. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints // Remote Sensing Environ. 2003. Vol. 85, no 1, pp. 1–20.
- Nield S.J., Boettinger J.L., Ramsey R.D. Digitally mapping gypsic and natric soil areas using Landsat ETM data // Soil Science Society Amer. J. 2007. Vol. 71 (1), pp. 245–252.
- Shrestha D.P., Farshad A., Mapping salinity hazard: an integrated application of remote sensing and modeling-based techniques // Remote sensing of soil salinization. Impact on land management. 2009, pp. 257–272.
- Singh A.N., Dwivedi R.S. Delineation of salt-affected soils through digital analysis of Landsat MSS data // Int. J. Remote Sensing. 1989. Vol. 10, no 1, pp. 83–92.

Поступила в редакцию 03.03.2015

Принята к публикации 11.09.2015

**B.S. Gabdullin¹, A.V. Zhogolov², I.Yu. Savin³, A. Otarov⁴,
M.A. Ibrayeva⁵, D.L. Golovanov⁶**

**APPLICATION OF MULTI-SPECTRAL SATELLITE DATA FOR INTERPRETATION
OF SOIL SALINIZATION OF THE IRRIGATED AREAS
(CASE STUDY OF SOUTHERN KAZAKHSTAN)**

Possible application of Landsat and Pleiades satellite data for interpretation of soil salinization of the irrigated areas in Kazakhstan is analyzed. Heterochronous images were used to reveal how the accuracy of interpretation depends on the time of photo survey. Regressions between the conductivity values and predictors were calculated for all field survey sites. Fields with different crops were studied separately.

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography; *e-mail*: gabdullin10.92@mail.ru

² Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, Junior research fellow; *e-mail*: jars@bk.ru

³ Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, Head of Department, Senior Research Scientist; *e-mail*: savigory@gmail.com

⁴ Kazakh research Institut of Soil science and Agrochemistry named after U.U. Usпанov, Head of Department; *e-mail*: azimbay@bk.ru

⁵ Kazakh research Institut of Soil science and Agrochemistry named after U.U. Usпанov, Head of Department; *e-mail*: ibraevamar@mail.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography Senior Lecturer; *e-mail*: dm_golovanov@mail.ru

Indirect interpretation of soil salinity by the state of vegetation in the first half of the growing season proves to be the most informative. The most reliable regressions are based on the Landsat satellite data. The most important regression models were used to compile maps of soil salinity within the Akdala irrigation area for a series of depths (0–20 cm, 20–50 cm and 50–100 cm).

Keywords: interpretation of soil salinity, Landsat, Akdala irrigation area, Kazakhstan.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-38-00023).

REFERENCES

- Abrol I.P., Yadav J.S.P., Massoud F.I.* Salt-affected soils and their Management // FAO Soils Bull. 1988. Vol. 39. pp. 49–65.
- Dubin M.* Vegetacionnye indeksy [Vegetation index] [Jelek. resurs]: Sajt po geograficheskim informacionnym sistemam i distancionnomu zondirovaniju Gis-Lab.info. Jelektron. dan. 2002–2015. URL: <http://gis-lab.info/qa/vi.html> (Accessed: 07.02.2015) (in Russian).
- Efron B.* Jackknife, the bootstrap, and other resampling plans // Soc. Industrial and Applied Mathematics. 1982. Vol. 38, p. 92.
- Fernandez-Buces N., Siebea C., Cramb S., Palacio J.L.* Mapping soil salinity using a combined spectral response index for bare soil and vegetation: A case study in the former lake Texaco, Mexico // J. Arid Environm. 2006. Vol. 65, no 4, pp. 644–667.
- Gusenkov E.P.* Osnovy razrabotki i osobennosti proizvodstva solevykh s'emok na ob'ektakh meliorativnogo stroitel'stva i meliorirovannykh zemljah [Fundamentals of design and production features of salt filming at the facilities construction and reclamation reclaimed land], Tr. «Sojuzvodproekt». 1979, no 52, pp. 46–66 (in Russian).
- Instrukcija po pochvennym izyskanijam dlja meliorativnogo i vodohozjajstvennogo stroitel'stva [Instructions for soil investigations for reclamation and water management construction], M.: Minmeliorovodhoz SSSR, 1975. 89 p. (in Russian).
- Kornienko V.A., Vojnova T.N., Magasheva R.Ju.* Pochvy Akdalinskogo massiva [Soils of Akdala array], Alma-Ata: Nauka, 1977. 180 p. (in Russian).
- Kurmashev K.M., Sarsenbaev M.H.* Vodnyj balans Akdalinskogo massiva oroshenija [Water balance of irrigated Akdala array], Izv. NAN Respubliki Kazahstan. Ser. geologija i tehniceskije nauki. 2013, no 4 (400), pp. 62–65 (in Russian).
- Nacional'nyj Atlas Kazahstana. T. 1. Prirodnye uslovija i resursy [The National Atlas of Kazakhstan. T.1. Natural conditions and resources], Pod red. R. Medeu. Almaty, 2006 (in Russian).
- Nield S.J., Boettinger J.L., Ramsey R.D.* Digitally mapping gypsic and natric soil areas using Landsat ETM data // Soil Science Soc. Amer. J. 2007. Vol. 71 (1), pp. 245–252.
- Mamedov Je.A.* Izuchenie zasolenykh zemel' i solonchakov s pomoshh'ju kosmicheskikh metodov [The study of saline soil and salt marshes using space techniques], Issledovanie Zemli iz kosmosa. 1985, no 1, pp. 60–61 (in Russian).
- Margulis V.Ju.* Kolichestvennaja ocenka zasolenosti pochv dlja promyvok zasolenykh zemel' [Quantitative assessment of soil salinity for the leaching of saline lands], Pochvy krupnejshih irigacionno-meliorativnykh sistem v hlopkosejshhej zone, M., 1975, pp. 3–78 (in Russian).
- Masoud A.A., Koike K.* Arid land salinization detected by remotely-sensed landcover changes: A case study in the Siwa region, NW Egypt // J. Arid Environm. 2006. Vol. 66, no 1, pp. 151–167.
- Metodicheskie ukazanija po provedeniju pochvenno-solevykh s'emok na melioriruemykh zemljah [Guidelines for the soil and salt in the filming of the reclaimed lands], M.: Minsel'hoz SSSR i Minmeliorovodhoz SSSR, 1983 (in Russian).
- Metternicht G.I., Zinck J.A.* Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints // Remote Sensing Environ. 2003. Vol. 85, no 1, pp. 1–20.
- Pankova E.I., Golovina N.N., Venckevich S.D., Panadiadi E.A.* Opyt ocenki zasolenija pochv oroshaemykh territorij Srednej Azii po materialam kosmicheskoi s'emki [Experience in evaluation of soil salinity of the irrigated lands of Central Asia on the space imagery], Pochvovedenie. 1986, no 3, pp. 138–146 (in Russian).
- Pankova E.I., Mazikov V.M.* Ocenka zasolenija oroshaemykh pochv hlopkovykh polej po ajerofotosnimkam (na primere Golodnoj stepi) [Evaluation of soil salinization of irrigated cotton fields by aerial photographs (for example, the Hungry Steppe)], Pochvovedenie. 1976, no 5, pp. 55–56 (in Russian).
- Pankova E.I., Mazikov V.M., Isaev V.A., Jamnova I.A.* Opyt ispol'zovanija ajerofotosnimkov dlja harakteristiki zasolenija pochv neoroshaemykh territorij serozemnoj zony [Experience in the use of aerial photographs for the characteristics of soil salinity rainfed areas serozem area], Pochvovedenie. 1978, no 3, pp. 82–85 (in Russian).
- Programma razvitija oroshaemogo zemledelija v Kazahstane [The development of irrigated agriculture in Kazakhstan], Pod red. A.K. Evnieva; Taraz, 2006. 36 p. (in Russian).
- Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Central'nyj i Juzhnyj Kazahstan [Surface water resources of the USSR. Central and Southern Kazakhstan]. T. 13. Bassejn oz. Balhash. Vyp. 2. Pod red. V.A. Semenova, R.D. Kurdina. Leningrad: Gidromet izdat, 1970. 644 p. (in Russian).
- Savin I.Ju., Otarov A., Zhogolev A.V.* i dr. Vyjavlenie mnogoletnih izmenenij ploshhadi zasolenykh pochv Shaul'derskogo oroshaemogo massiva po kosmicheskim snimkam Landsat [Identification of long-term changes in the area of saline soils of irrigated Shaulder array using satellite images Landsat], Bull. Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva. 2014. Vyp. 74, pp. 49–65 (in Russian).
- Shrestha D.P., Farshad A.* Mapping salinity hazard: an integrated application of remote sensing and modeling-based techniques // Remote sensing of soil salinization. Impact on land management. 2009, pp. 257–272.
- Singh A.N., Dwivedi R.S.* Delineation of salt-affected soils through digital analysis of Landsat MSS data // Int. J. Remote Sensing. 1989. Vol 10, no 1, pp. 83–92.
- Sokolov S.I., Assing I.A., Kurmangaliev A.B., Serpikov S.K.* Pochvy Kazahskoj SSR. Alma-Atinskaja oblast' [The soils of the Kazakh SSR. Alma-Ata region]. Vyp 4, Alma-Ata: Nauka, 1962. 424 p. (in Russian).
- Sputnik «Landsat-8» [The satellite Pleiades-1A, 1B] [Jelek. resurs], Sajt geoinnovacionnogo agentstva «Innoter». URL: <http://innoter.com/satellites/935> (Accessed: 07.02.2015).
- Sputnik «Pleiades-1A, 1B» [The satellite Pleiades-1A, 1B] [Jelek. resurs], Sajt geoinnovacionnogo agentstva «Innoter». URL: <http://innoter.com/satellites/924> (Accessed: 07.02.2015).
- Vodnye problemy Kazahstana [Water problems of Kazakhstan] [Jelek. resurs]: informacionnaja set', V.V. Veselov, Almaty: Institut gidrogeologii i geojekologii imeni. U.M. Ahmedsafina, 2011. URL: <http://water.unesco.kz/> (Accessed: 07.02.2015) (in Russian).

Received 08.04.2015

Accepted 11.09.2015

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 550.424.4; 631.416.9

И.Н. Семенков¹, Н.С. Касимов², Е.В. Терская³

РАДИАЛЬНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНЫХ СУГЛИНИСТЫХ КАТЕН БАЛОЧНОГО ВОДОСБОРА В ЦЕНТРЕ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Для почв черноземно-овражно-балочных катен в центре Среднерусской возвышенности с доминированием (%) крупной пыли (50–60), содержанием илистой фракции 4–9, гумуса 4–6 и pH 5–6 установлено типичное для черноземов валовое содержание (мг/кг) Fe (2,9±0,8), Mn (573±37), Sr (127±11), Cr (89±3), Zn (70±3), Ni (53±3), Cu (45±3), Co (20±2), Pb (10±4). Содержание обменных, органоминеральных и специфически сорбированных гидроксидами Fe и Mn соединений металлов соответствует уровням, типичным для черноземов России. Суммарная доля подвижных соединений (% от валового содержания) составляет: Mn 30–90, Pb 10–100, Co 10–30, Ni 10–25, Sr 5–25, Cu 7–20, Zn 5–15, Fe 2–4, Cr 0,5–2,0.

В профиле выщелоченных и оподзоленных черноземов содержание Fe, Cr, Ni, Zn, Co, Cu, Pb и Sr преимущественно равномерное, Ca и Mg – увеличивается с глубиной, Mn – уменьшается. Лугово-черноземные почвы (стратоземы) не дифференцированы по валовому содержанию металлов. Органоминеральные соединения металлов накапливаются в верхней части черноземов, однородно распределяясь в лугово-черноземных почвах. Обменные и специфически сорбированные соединения металлов не имеют доминирующего типа распределения. Контрастность распределения металлов уменьшается в почвенном профиле от выщелоченных черноземов к оподзоленным черноземам и лугово-черноземным почвам. Содержание Mn и Fe – основной фактор, контролирующий распределение металлов в почвах.

Ключевые слова: микроэлементы, чернозем, катена, водосбор, радиальное распределение, подвижные формы, Среднерусская возвышенность.

Введение. Анализ радиального и латерального распределения валовых и подвижных форм металлов в почвах, а также определяющих их факторов – основополагающая часть мониторинга состояния окружающей среды [Ландшафтно-геохимические..., 1989]. Формы металлов определяют путем перевода в раствор соединений, которые отличаются типом связи от соединений, оставшихся в твердой фазе, – чем больше доля переходящего в вытяжку металла от валового содержания, тем больше его подвижность. Изучение поведения форм нахождения элементов в почвенных профилях и катенах имеет фундаментальное значение.

Фоновая радиальная и латеральная геохимическая структура лесостепных ландшафтов России изучена достаточно детально: установлены уровни содержания, региональные кларки, закономерности радиального и латерального распределения в почвах валовых и подвижных форм элементов, выполнено биогеохимическое районирование [Аникина и др., 1977; Побединцева, Дианова, 1979; Ильин, Сысо, 2001, Ильин и др., 2003; Протасова, Щербаков, 2003; Сысо, 2004]. В суглинистых черноземных катенах

балочных водосборов в центре Среднерусской возвышенности изучено латеральное распределение гранулометрических фракций, гумуса, актуальной кислотности, валовых, обменных, органоминеральных и специфически сорбированных гидроксидами Fe и Mn форм металлов [Семенков и др., 2013; Самонова и др., 2015]. В обыкновенных черноземах и лугово-черноземных почвах глинистой черноземно-овражно-балочной катены Каменной степи исследовано влияние гидроморфизма на распределение валовых, обменных и специфически сорбированных форм Mn, Zn, Cu, Cr, Ni, Pb и Cd [Щеглов и др., 2013]. В лесостепных катенах Северного Казахстана и Приволжской возвышенности установлены уровни содержания элементов в основных типах почв, доминирование поверхностно-аккумулятивного распределения металлов в черноземах и элювиального в дерново-подзолистых и серых лесных почвах, повышенная контрастность латерального распределения анионогенных элементов в степных катенах, а катионогенных в лесных; конвергенция микроэлементного состава гумусовых горизонтов почв на различных почвообразующих породах за счет биоген-

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, профессор, академик РАН, заведующий кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв; e-mail: secretary@geogr.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, науч.с.; e-mail: elena_terskaya@mail.ru

ной аккумуляции [Касимов, Самонова, 1989; Касимов и др., 1992; Прохорова и др., 1998]. Радиальная геохимическая структура форм нахождения металлов в каскадных ландшафтно-геохимических системах и факторы, влияющие на нее, изучены слабо, особенно баланс основных форм соединений металлов и их связи с физико-химическими свойствами почв.

Цель работы – изучение распределения форм металлов в выщелоченных и оподзоленных (глинисто-иллювиальных) черноземах и лугово-черноземных почвах (стратоземах) черноземно-овражно-балочной катены в центре Среднерусской возвышенности.

Материалы и методы исследований. В центре Среднерусской возвышенности на месте восточно-европейских широколиственных лесов и разнотравно-ковыльных степей развиты преимущественно агроландшафты с сильнорасчлененным долинно-балочным и овражно-балочным рельефом. Детальные почвенно-геохимические исследования проведены на водосборе балки, расположенном в 70 км на юг от г. Тула, на левобережье р. Плава – левого притока р. Упа, типичном для рассматриваемой территории [Belyaev et al., 2012]. По классификации Н.С. Касимова и О.А. Самоновой [2004] изученная катена является лесостепной автохтонной монокатной суглинистой водно-поверхностно-почвенной с луговыми окислительными слабокислыми монотонно-сопряженными ландшафтами со слабой степенью геохимической дифференциации.

На междуречье водосбора и склонах развиты выщелоченные черноземы под сорнотравным лугом или агроценозом (рис. 1, разрезы 1 и 2) на лёссовидных покровных суглинках с системой горизонтов PU–AU–BCAmc–Cca по [Классификация..., 2004]. В составе гумусового горизонта выделены агротемно-гумусовый (PU) и темно-гумусовый (AU) подгоризонты суммарной мощностью 40–50 см темно-серого цвета с буроватым оттенком и комковато-зернистой структурой. Ниже расположен бурый аккумулятивно-карбонатный горизонт (BCAmc) с многочисленными включениями псевдомицелия и неясно выраженной ореховато-призматической структурой.

Транслювиальные позиции склонов водосбора заняты оподзоленными черноземами под репешково-овсяницево-мятликовым (*Agrimynia eupatyrina* – *Festuca pratensis* – *Poa pratensis*), сорнотравным лугом или пашней (разрезы 3–6) на лёссовидных покровных суглинках с набором горизонтов AU (PU или PB)–BI–BCAmc–Cca. В оподзоленных черноземах мощность гумусового профиля (PU+AU до 50–70 см, AUBI – до 30 см) и выщелоченного от карбонатов (~1 м) больше, чем в выщелоченных. На наиболее крутых распаханых склонах из-за эрозии и подпахивания срединного горизонта сформировался агроабразивный горизонт PB светло-серого с буроватостью цвета и неясноореховатой структурой (разрез 6).

Днище балки занято лугово-черноземными почвами, распаханymi в верхней части тальвега, под злаково-разнотравным лугом в средней и нижней частях (разрезы 7–9). Гумусовый профиль почв об-

разован наносами мощностью ~2 м в центральной части тальвега балки, перемещенными с междуречья и склонов за счет эрозии [Belyaev et al., 2012]. Система горизонтов RU–D указывает на их принадлежность к темногумусовым стратоземам. В средней части профиля этих почв прослеживаются полосы опесчаненного тяжелосуглинистого материала с повышенным содержанием песчаных фракций.

В пределах водосбора изучены ландшафтно-геохимические профили – продольный от водораздела вдоль тальвега балки и поперечный от водораздела правого борта балки к ее тальвегу. В основных элементарных ландшафтах заложено 9 почвенных разрезов, 7 точек поверхностного опробования и отобрано 57 проб почв.

Содержание гумуса и величина pH водной суспензии определены по стандартной методике [Аринушкина, 1962], гранулометрический состав – на лазерном гранулометре «Analizeter-22»; валовое содержание металлов – рентген-флуоресцентным методом на приборе «Спектроскан Макс GV» в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Непрочно связанные соединения Fe, Mn, Pb, Co, Ni, Zn, Cu, Cr и Sr экстрагировали в течение 18 ч тремя параллельными вытяжками: 1 н. HNO₃ (соотношение почва:раствор=1:10), ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 (1:5) и его раствором с 1%-ной ЭДТА (1:5). Обменные соединения металлов извлекали ацетатно-аммонийным буфером. Содержание органоминеральных соединений рассчитано по разнице концентрации элементов в вытяжках ацетатно-аммонийного буфера с этилендиаминтетрауксусной кислотой (ЭДТА) и чистого буфера, а специфически сорбированных гидроксидами Fe и Mn – в азотнокислой и ацетатно-аммонийной вытяжках [Минкина и др., 2009]. Содержание металлов в экстрактах определено атомно-абсорбционным методом на спектрофотометрах «Hitachi 180/70» и «AA-240Z» фирмы «Varian Inc.» (аналитики Т.Г. Сухова, Е.А. Шахпендерян и Е.В. Терская).

Контрастность распределения металлов в профиле почв оценивали по *коэффициенту радиальной дифференциации (R)* – отношению содержания металла в верхних горизонтах к его содержанию в почвообразующей породе. Содержание металлов, монотонно уменьшающееся с глубиной, соответствует поверхностно-аккумулятивному распределению, увеличивающееся – регрессивному. При наличии максимумов и минимумов содержания металлов в средней части почв распределение считается элювиально-иллювиальным. Сохранение радиального распределения металлов в одном типе почв соответствует стабильной дифференциации, в отличие от изменчивой дифференциации, при которой в разрезах одного типа почв наблюдается разное распределение, например регрессивное и поверхностно-аккумулятивное. Однородное или неконтрастное радиальное распределение соответствует значениям $R=0,8 \div 1,3$; контрастное – $R=0,5 \div 0,8$ и $R=1,3 \div 2,0$; очень контрастное – $R < 0,5$ и $R > 2,0$. Контрастность распределения металлов в гумусовом

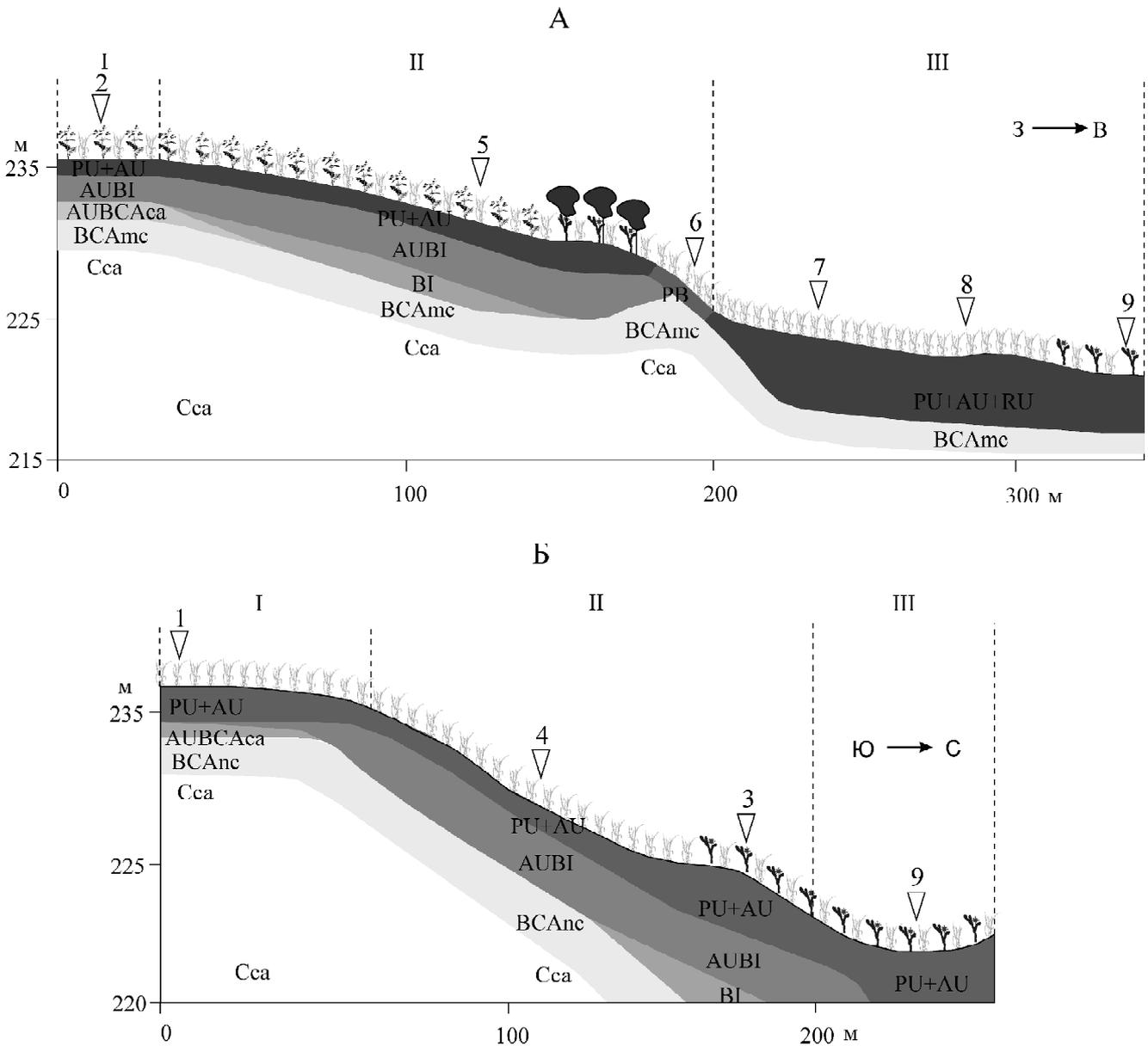


Рис. 1. Катены балочного водосбора: А – поперечная по правому борту, Б – продольная. Элементарные ландшафты: I – автономный выровненной поверхности междуречья с сорнотравным лугом залежи и агроценозом на выщелоченном тяжелосуглинистом черноземе, II – трансэлювиальный склонов балки с сорнотравным залежным лугом, разнотравно-злаковым лугом, лесополосой из дуба черешчатого и агроценозом на оподзоленном тяжелосуглинистом черноземе, III – трансэлювиально-аккумулятивный днища балки с агроценозом и разнотравно-злаковым лугом на тяжелосуглинистых лугово-черноземных почвах (стратоземах водно-аккумулятивных). Почвенные горизонты: AU – темногумусовый; PU – агрогумусовый; RU – стратифицированный темногумусовый; PB – агроабразионный; AUBCAca – переходный от темногумусового к аккумулятивно-карбонатному, вскипающий от 10% HCl; AUBI – переходный от темно-гумусового к глинисто-иллювиальному; BCAmc – аккумулятивно-карбонатный с псевдомицелием; BI – глинисто-иллювиальный. Цифры – места и номера почвенных разрезов. Мощность почвенных горизонтов вне масштаба

горизонте почв катен оценивалась с помощью значений *коэффициента латеральной дифференциации (L)* – отношения содержания металла в гумусовом горизонте почв подчиненного ландшафта к его содержанию в автономном. Связи между физико-химическими свойствами почв и содержанием металлов оценивали на основе данных корреляционного и факторного анализов.

Результаты исследований и их обсуждение. В гранулометрическом составе черноземов на лёссовидных суглинках Среднерусской возвышенности

доминирует пылеватая фракция [Афанасьева, 1966]. Черноземы и лугово-черноземные почвы изученного балочного водосбора однородны по гранулометрическому составу (%): илестая фракция 4–9, мелкая пыль 19–30, средняя пыль 14–17, крупная пыль 47–61, мелкий песок 0–8, средний и крупный песок 0–2 (таблица). Все фракции распределены равномерно в черноземах и лугово-черноземных почвах. Выщелоченные и оподзоленные черноземы содержат в верхней части профиля (гумусовый горизонт) 5,0% гумуса и имеют слабокислую (pH 5,2–5,9) ре-

Среднее содержание гранулометрических фракций, гумуса (%), металлов (мг/кг) и pH в почвах черноземно-овражно-балочной катены

Свойства почв, металлы		Выщелоченные черноземы			Оподзоленные черноземы			Лугово-черноземные почвы	
		PU	AUBCA	BCA	PU+AU	AUBI	BI	AU	RU
Фракция	I	0,02(6)	0,48(2)	0(2)	0,01(10)	0,01(16)	0(5)	0(9)	0,07(5)
	II	0,73(6)	0,35(2)	0,49(2)	0,64(10)	0,64(16)	0,2(5)	0,98(9)	0,65(5)
	III	53(6)	58(2)	59(2)	54(10)	54(16)	58(5)	52(9)	55(5)
	IV	15(6)	15(2)	15(2)	16(10)	16(16)	15(5)	15(9)	15(5)
	V	25(6)	20(2)	20(2)	24(10)	24(16)	21(5)	24(9)	24(5)
	VI	5,6(6)	5,8(2)	5,2(2)	5,5(10)	5,5(16)	5,8(5)	6,1(9)	5,7(5)
Гумус		5,24	2(2)	1,1(3)	5,11(2)	5,1(16)	2,2(6)	4,4(9)	3,8(9)
pH		5,5(6)	6,3(2)	7,6(3)	5,61(3)	5,6(19)	5,8(5)	5,5(14)	5,5(9)
Fe	1	1,5(6)	1,9(2)	10,3(3)	1,11(3)	1,2(19)	1,6(6)	1,5(14)	2(9)
	2	343(6)	183(2)	128(3)	306(12)	32318	240(6)	372(12)	406(9)
	3	456(4)	607(2)	795(3)	427(12)	428(16)	577(6)	464(12)	501(9)
	4	28147(4)	29930(2)	27095(3)	28068(9)	281371(3)	29970(6)	28151	27177(9)
	5	29419(6)	30721(2)	27759(3)	28796(11)	28828(17)	30856(6)	29069(14)	28047(9)
Mn	1	15(6)	6(2)	21(3)	151(3)	15(19)	7(6)	19(14)	21(9)
	2	211(6)	138(2)	170(3)	203(12)	20318	176(6)	248(12)	268(9)
	3	144(4)	74(2)	98(3)	146(12)	146(16)	68(6)	169(12)	153(9)
	4	217(4)	298(2)	153(3)	199(9)	2081(3)	270(6)	146(10)	128(9)
	5	575(6)	516(2)	447(3)	557(11)	565(17)	508(6)	581(14)	573(9)
Sr	1	9(6)	8,3(2)	35(3)	7,91(3)	8,4(19)	5,9(6)	7,6(14)	8,1(9)
	3	3,9(4)	0,2(2)	3,4(3)	4,6(12)	4,6(16)	0,4(6)	4,8(12)	2,4(9)
	4	118(4)	119(2)	135(3)	112(9)	1151(3)	119(6)	118(10)	120(9)
	5	130(6)	124(2)	171(3)	125(11)	126(17)	125(6)	127(14)	127(9)
Cd	1	0,03(6)	0,02(2)	0,03(3)	0,031(3)	0,03(19)	0,02(6)	0,04(14)	0,03(9)
Co	1	0,08(6)	0,04(2)	0(3)	0,081(3)	0,08(19)	0,04(6)	0,09(14)	0,09(9)
	2	2,2(6)	2,2(2)	2,1(3)	1,9(12)	2,018	1,6(6)	2,3(12)	2,7(9)
	3	2(4)	1,3(2)	1,4(3)	1,7(12)	1,7(16)	1(6)	2,1(12)	1,7(9)
	4	14(4)	21(2)	23(3)	15(9)	14(13)	20(6)	15(10)	15(9)
	5	19(6)	24(2)	25(3)	18(11)	18(17)	23(6)	20(14)	19(9)
Cr	1	0,17(6)	0,19(2)	0,22(3)	0,141(3)	0,15(19)	0,21(6)	0,17(14)	0,16(9)
	2	0,15(6)	0,09(2)	0,03(3)	0,3(12)	0,21(18)	0,28(6)	0,12(12)	0,14(9)
	3	0,62(4)	0,81(2)	0,69(3)	0,55(12)	0,57(16)	0,6(6)	0,51(12)	0,54(9)
	4	87(4)	97(2)	89(3)	89(9)	891(3)	94(6)	88(10)	88(9)
	5	89(6)	98(2)	91(3)	90(11)	90(17)	94(6)	90(14)	89(9)
Cu	1	0,1(6)	0,09(2)	0,17(3)	0,11(3)	0,11(19)	0,09(6)	0,11(14)	0,1(9)
	2	2,6(6)	1,7(2)	1,5(3)	2,5(12)	2,5(18)	1,8(6)	2,5(12)	2,6(9)
	3	3,5(4)	3,7(2)	4,2(3)	3,5(12)	3,5(16)	1,9(6)	3,2(12)	4,3(9)
	4	38(4)	44(2)	49(3)	40(9)	381(3)	45(6)	39(10)	39(9)
	5	45(6)	49(2)	55(3)	43(11)	44(17)	48(6)	45(14)	47(9)

Окончание табл.

Ni	1	0,15(6)	0,12(2)	0,12(3)	0,141(3)	0,15(19)	0,19(6)	0,18(14)	0,17(9)
	2	3,8(6)	2,7(2)	2,4(3)	4,0(12)	3,9(18)	3,4(6)	4(12)	4,3(9)
	3	5,8(4)	3,7(2)	2,9(3)	4,6(12)	5,2(16)	3,8(6)	5,2(12)	5,8(9)
	4	41(4)	49(2)	46(3)	44(9)	431(3)	46(6)	44(10)	43(9)
	5	52(6)	56(2)	51(3)	53(11)	52(17)	54(6)	54(14)	53(9)
Pb	1	0,2(6)	0,4(2)	0,5(3)	0,21(3)	0,2(19)	0,2(6)	0,2(14)	0,2(9)
	2	3,2(6)	0,8(2)	1(3)	3,1(12)	3,1(18)	1,5(6)	3,3(12)	3(9)
	3	1(4)	0,5(2)	1,9(3)	1,4(12)	1(16)	1,7(6)	2,4(12)	1,4(9)
	4	5,4(4)	12,1(2)	2,4(3)	1,9(9)	4,2(13)	8,8(6)	6,1(10)	7,6(9)
	5	9,3(6)	13,8(2)	7,1(3)	5,4(11)	7,7(17)	12,3(6)	12,7(14)	11,5(9)
Zn	1	0,02(6)	0,06(2)	0,01(3)	0,05(13)	0,04(19)	0,03(6)	0,07(14)	0,05(9)
	2	1,2(6)	0,3(2)	0,3(3)	1,3(12)	1,2(18)	0,5(6)	2(12)	1,6(9)
	3	4,3(4)	2,4(2)	7,3(3)	3,1(12)	3,2(16)	2,6(6)	4,3(12)	3,9(9)
	4	65(4)	62(2)	56(3)	64(9)	64(13)	62(6)	62(10)	62(9)
	5	71(6)	65(2)	65(3)	70(11)	70(17)	65(6)	70(14)	68(9)

Примечания. Гранулометрические фракции: I – крупно- и среднеспесчаная, II – мелкоспесчаная, III – крупнопылевая, IV – среднепылевая, V – мелкопылевая, VI – илстая. Формы нахождения элементов: 1 – обменная, 2 – органоминеральная, 3 – специфически сорбированная гидроксидами Fe и Mn, 4 – силикатная, 5 – валовое содержание. Буквенные обозначения почвенных горизонтов см. на рис. 1. В скобках – число проб для осреднения.

акцию среды, возрастающую в его нижней части (рН 6,0–7,2) (горизонты VI и BCAmc). В лугово-черноземных почвах днища балки содержание гумуса и рН в верхней метровой толще варьируют в пределах 4–6 и 5–6% соответственно. В черноземах и лугово-черноземных почвах между величиной рН и содержанием гумуса существует обратная связь (значение коэффициента корреляции составляет –0,55).

Валовое содержание металлов в почвах балочного водосбора незначительно отличается от литературных данных о черноземах России и лёссовидных карбонатных суглинках [Аникина и др., 1977; Ландшафтно-геохимические..., 1989; Касимов и др., 1989, 1992; Прохорова и др., 1998; Ахтырцев и др., 1999; Ильин и др., 2003; Протасова, Щербаков, 2003; Сысо, 2004; Протасова, Горбунова, 2006; Горбунова, Протасова, 2006, 2008; Kabata-Pendias, 2011; Щеглов и др., 2013; Самонова и др., 2015]. В гумусовом горизонте изученных выщелоченных и оподзоленных черноземов и лугово-черноземных почв содержится (%) Fe $2,9 \pm 0,8$, а также (мг/кг) Mn 573 ± 37 , Sr 127 ± 11 , Cr 89 ± 3 , Zn 70 ± 3 , Ni 53 ± 3 , Cu 45 ± 3 , Co 20 ± 2 , Pb 10 ± 4 [Семенков и др., 2013]. Содержание обменных и специфически сорбированных соединений металлов близко к средним значениям для черноземов на лёссовидных суглинках [Гамзиков, 1971; Микроэлементы..., 1981; Сеничкина, Абашева, 1986; Lavado, Porcelli, 2000; Podlesakova et al., 2001; Мажайский, 2003; Переломов, Пинский, 2003; Липатов, Вержливцева, 2006; Горбунова, Протасова, 2006, 2008; Протасова, Горбунова, 2006; Азаренко, 2013]. Органоминеральные соединения металлов в черноземах фоновых ландшафтов практичес-

ки не изучены. Нами уровень содержания металлов в почвах детально не рассмотрен из-за особенного внимания к радиальной структуре распределения металлов.

По подвижности металлы образуют три группы (рис. 2): очень подвижные (Mn 30–90, Pb 10–95), подвижные (Co 10–30, Ni 10–25, Sr 5–25, Cu 7–20, Zn 5–15) и слабоподвижные (Fe 2–4, Cr 0,5–2,0). Как и для латеральной почвенно-геохимической структуры [Семенков и др., 2013], по соотношению подвижных форм в почвах выделены 3 группы элементов: с доминированием обменных соединений (Sr), органоминеральных (Mn, Pb и Co), а также с большой ролью специфически сорбированных соединений (Fe, Ni, Cu, Zn и Cr).

Радиальное распределение металлов в катенах.

По контрастности радиального распределения металлов почвы катен делятся на 2 группы – черноземы и лугово-черноземные.

Выщелоченные и оподзоленные черноземы. В профиле выщелоченных и оподзоленных черноземов выделяются две части: верхняя (гумусовый горизонт) – слабокислая, богатая органическим веществом и нижняя – нейтральная и слабощелочная с низким содержанием гумуса, что определяет контрастность радиальной дифференциации металлов. Валовое содержание Ca и Mg увеличивается в карбонатных горизонтах в 1,5–2,0 раза; Fe, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Sr и Zn – остается постоянным. Марганец, как биофильный элемент, характеризуется поверхностно-аккумулятивным распределением в выщелоченных черноземах и равномерным в оподзоленных черноземах за счет повышенной латеральной

миграции [Семенков и др., 2013]. В изученных черноземах в центре Среднерусской возвышенности Mn, Ni, Cu и Co распределены равномерно. В ее южной части они аккумулируются в верхней части профиля почв из-за накопления гумуса и ослабления элювиирования [Протасова, Щербаков, 2003].

Обменные соединения Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr в изученных выщелоченных и оподзоленных черноземах накапливаются с глубиной, что для Mn, Cr и Ni установлено ранее в обыкновенных черноземах Каменной степи [Шеглов и др., 2013]. Для Fe, Sr, Ni и Cr это связано с осаждением на щелочном геохимическом барьере в горизонте ВСА черноземов за счет накопления их водорастворимых гидроксидов и карбонатов, что подтверждается наличием положительной связи с величиной pH. В изученных выщелоченных черноземах содержание обменных соединений Fe и Sr увеличивается в 2–10 раз с глубины 30–50 см при появлении псевдомицеллярных карбонатных новообразований (рис. 2). В оподзоленных черноземах склонов щелочной барьер появля-

ется на глубине 85 см из-за более глубокого залегания карбонатного горизонта.

В гумусовых горизонтах выщелоченных и оподзоленных черноземов накапливаются Co и Zn: Co слабоконтрастно ($R = 1,3 \div 2,0$) накапливается в черноземах на междуречьях и склонах; Zn – контрастно в выщелоченных и оподзоленных черноземах (5,0–50,0 и 1,3–10,0 соответственно). В выщелоченных черноземах Cd распределен равномерно и накапливается в гумусово-аккумулятивном горизонте оподзоленных черноземов. Медь характеризуется изменчивой дифференциацией из-за высокой вариабельности содержания.

Органоминеральные соединения всех металлов в большинстве изученных разрезов черноземов накапливаются в гумусовом горизонте, что отмечено для типичных черноземов заповедника Михайловская целина в Сумской области (Украина) [Касимов и др., 1989].

Специфически сорбированные соединения Fe, Cr, Pb и Zn концентрируются в изученных выщело-

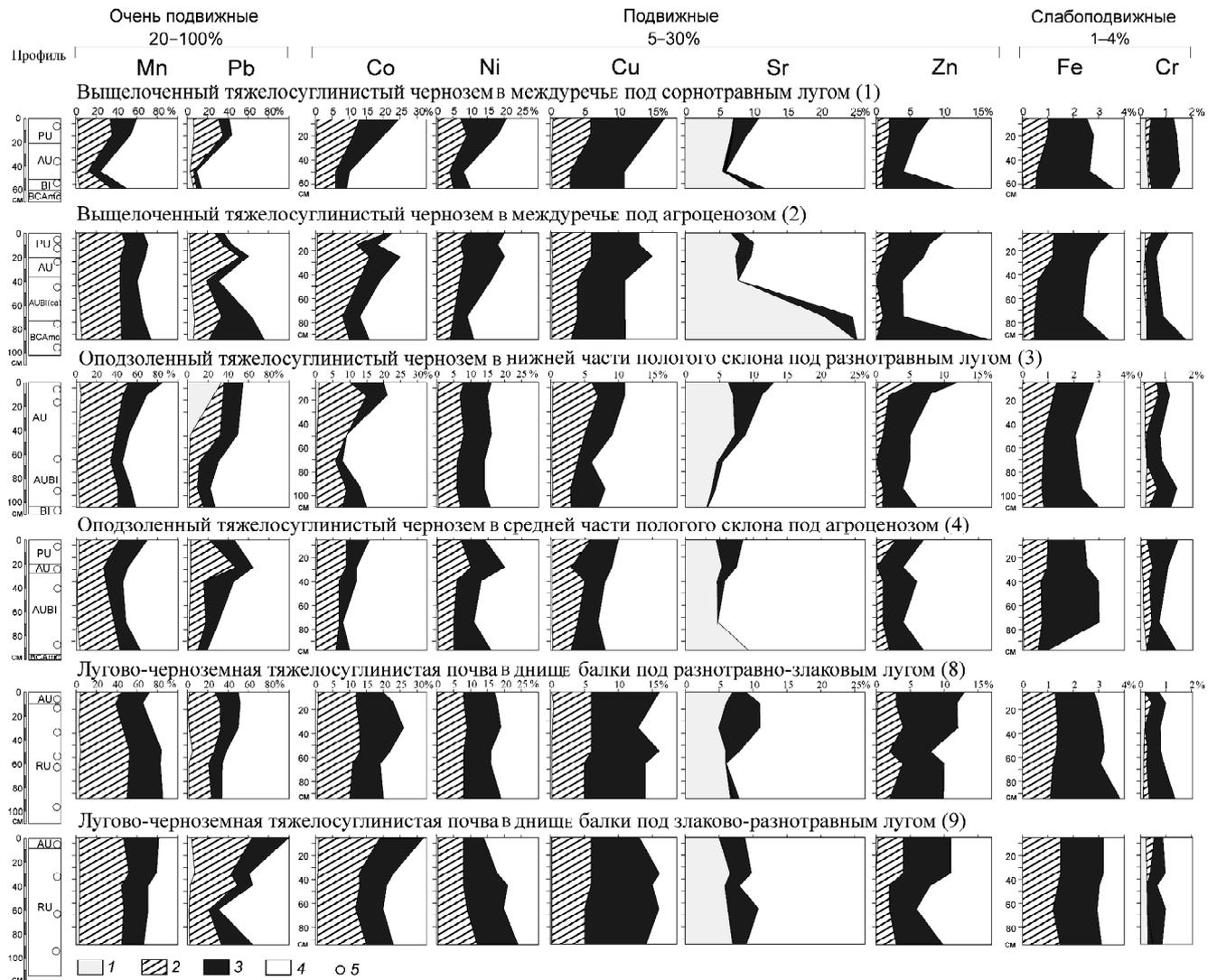


Рис. 2. Формы нахождения металлов в почвах лесостепной катены. Формы нахождения элементов: 1 – специфически сорбированная, 2 – органоминеральная, 3 – обменная, 4 – силикатная; для всех элементов суммарное содержание четырех форм составляет 100%. На графиках приводится только поле распределения подвижных (1–3) форм, оставшуюся часть баланса составляет силикатная форма (4); 5 – место отбора пробы. Буквенные обозначения почвенных горизонтов см. на рис. 1

ченных черноземах; содержание Mn, Ni, Sr, Cu и Co уменьшается с глубиной или остается неизменным; в оподзоленных черноземах радиальная дифференциация этих элементов изменчива. Отсутствие доминирующего типа радиального распределения этой формы металлов, по-видимому, свойственно черноземам Среднерусской возвышенности [Горбунова, Протасова, 2006; 2008; Протасова, Горбунова, 2006].

По мере увеличения глубины залегания карбонатного горизонта контрастность распределения металлов уменьшается от выщелоченных черноземов на междуречье к оподзоленным черноземам на склонах.

Лугово-черноземные почвы. Профиль изученных лугово-черноземных почв состоит из гумусированного материала, перемещенного со склонов и междуречья, что определяет преимущественно изменчивую дифференциацию валовых и подвижных форм металлов за счет их высокой вариабельности по почвенному профилю ($R = 0,6 \div 1,1$). Это связано с тем, что весь их почвенный профиль представлен однородным материалом из агротемногумусового горизонта выщелоченных и оподзоленных черноземов междуречья и склонов.

В лугово-черноземных осолоделых почвах Среднерусской возвышенности с более контрастной радиальной дифференциацией физико-химических свойств также наблюдалось относительно однородное распределение валового содержания Cu, Ni, Co, Cr и Zn. Только Mn и Pb накапливались ($R = 9 \div 10$) в гумусовом горизонте [Ахтырцев и др., 1999]. В лугово-черноземных почвах изученного балочного водосбора также выявлено контрастное распределение форм этих металлов. Органоминеральные и специфически сорбированные соединения Pb, а также специфически сорбированные соединения Mn накапливаются в поверхностных горизонтах ($R = 1,3 \div 2,0$) двух разрезов лугово-черноземных почв, а силикатного Mn – рассеиваются ($R = 0,4 \div 0,8$).

Слабая контрастность радиального распределения валового содержания металлов и их подвижных форм, по-видимому, – типичная черта лугово-черноземных почв Среднерусской возвышенности [Ахтырцев и др., 1999].

Изменение радиального распределения металлов в почвах катен. Контрастность радиального распределения форм металлов уменьшается в соответствии с изменениями физико-химических свойств от выщелоченных черноземов междуречья к оподзоленным черноземам склонов и лугово-черноземным почвам днища балки. Распределение обменных Cr, Ni, Pb, Fe и Sr изменяется в этом ряду с регрессивного на равномерное, а значения коэффициента R от $0,1 \div 0,5$ в гумусовом горизонте выщелоченных черноземов увеличиваются до $0,4 \div 0,6$ в оподзоленных черноземах и до $0,6 \div 1,1$ в лугово-черноземных почвах. Контрастность радиальной дифференциации уменьшается у органоминеральных соединений от черноземов к лугово-черноземным почвам с поверхностно-аккумулятивной на равномерную – значения R в гуму-

совом горизонте уменьшаются от $1,4-10,0$ до $0,7-1,5$. Специфически сорбированным соединениям металлов свойственна контрастная радиальная дифференциация (значения R варьируют преимущественно от $0,3$ до $2,0$ в гумусовом и срединном горизонтах) при отсутствии доминирующего типа радиального распределения.

В серых лесных почвах широколиственных лесов на севере Среднерусской возвышенности контрастность радиальной дифференциации металлов в катене также уменьшается за счет бокового внутрипочвенного стока и вертикальной дренированности от автономных ландшафтов к подчиненным [Побединцева, Гаврилова, 1989]. В изученных выщелоченных и оподзоленных черноземах и лугово-черноземных почвах в центре Среднерусской возвышенности, где процессы элювиирования ослаблены, а биогенная аккумуляция высока, доминирует равномерное латеральное распределение валовых и подвижных форм металлов за исключением соединений Pb, сорбированных гидроксидами Fe и Mn, а также обменных Zn, Co и Mn [Семенков и др., 2013]. В нейтральных и слабощелочных условиях луговых степей на юго-западе Среднерусской возвышенности содержание металлов максимально в горизонте AU (наиболее контрастное у Mn и Cu) и уменьшается с глубиной вследствие их активной аккумуляции на биогеохимическом барьере при очень слабом элювиировании [Побединцева, Дианова, 1979].

Таким образом, радиальная дифференциация валовых и подвижных форм металлов всегда контрастнее латеральной – значения R и L варьируют в пределах $0,1-10$ и $0,4-3,0$ соответственно [Семенков и др., 2013]. При регрессивном радиальном распределении металлов в черноземах ($R = 0,1 \div 0,8$ в гумусовом горизонте) и равномерном в лугово-черноземных почвах (обменные соединения Fe, Pb, Cr, Ni и Sr; специфически сорбированные Fe и Cr) наблюдается их равномерное латеральное распределение в гумусовых горизонтах почв катен ($L = 0,8 \div 1,2$), по-видимому, из-за выноса в нижнюю часть почвенного профиля или за пределы катен.

Подвижные Fe, Cr, Pb и Mn накапливаются в гумусовых (органогенные соединения) и карбонатных горизонтах (обменные соединения). Подвижность Cu, Co и Ni остается постоянной в черноземах и лугово-черноземных почвах, а Sr и Zn – увеличивается в карбонатном горизонте.

По данным регрессионного анализа (уровень значимости $\geq 0,01$) в изученных черноземах и лугово-черноземных почвах содержание обменных соединений большинства металлов (Co, Cu, Ni, Cd, Zn и Cr) зависит от содержания Fe и Mn, для Pb велика роль илистых и мелкопылеватых частиц, для Sr – величины pH. Содержание гумуса определяет распределение органоминеральных соединений Pb, Cu и Fe, что хорошо согласуется с высокой способностью этих металлов образовывать прочные органические комплексы [Filgueiras et al., 2002; Kabata-Pendias, 2011; Кропачева и др., 2015; Fan

et al., 2015]. В изученных почвах содержание органоминеральных соединений Co, Ni и Zn коррелирует с содержанием форм Fe и Mn, а марганца – с содержанием крупнопылевой фракции. Накопление специфически сорбированных соединений Mn, Pb, Co, Ni, Cu, Zn в изученных черноземах и лугово-черноземных почвах из центра Среднерусской возвышенности зависит от валового содержания макроэлементов (Fe и Mn) или подвижных форм Mn. Значимость влияния величины pH в изученных почвах установлена для специфически сорбированных Cr, Zn (положительная связь) и Fe (отрицательная связь), крупной пыли – для Sr и Ni (отрицательная связь), мелкой пыли – для Ni (отрицательная связь). В серых лесных, лугово-черноземных и луговых почвах, выщелоченных и оподзоленных черноземах Приволжской возвышенности содержание растворимых в 1н HCl форм Mn, Cr, Pb и Ni зависело от валового содержания соответствующего металла, гумуса и величины pH; Zn – только от двух последних факторов [Касимов и др., 1995]. Валовая, обменная и специфически сорбированные формы Fe и Mn оказывают большое влияние на содержание металлов в изученных черноземах и лугово-черноземных почвах. Из-за наличия обратной связи между содержанием гумуса и величиной pH не установлено взаимное влияние этих показателей на содержание подвижных форм металлов за исключением органоминеральных соединений Fe.

Благодарность. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-27-00083).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Азаренко Ю.А.* Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва – растение в условиях юга Западной Сибири. Омск: Вариант-Омск, 2013. 232 с.
- Аникина А.П., Бахнов В.К., Ильин В.Б.* Закономерности распределения микроэлементов в почвенном покрове Западно-Сибирской равнины // Этюды по биогеохимии и агрохимии элементов-биофилов. Новосибирск: Наука, 1977. С. 12–27.
- Афанасьева Е.Ф.* Черноземы Среднерусской возвышенности. М.: Наука, 1966. 224 с.
- Ахтырцев Б.П., Ахтырцев А.Б., Яблонских Л.А.* Тяжелые металлы и радионуклиды в гидроморфных почвах лесостепи Русской равнины и их профильное распределение // Почвоведение. 1999. № 4. С. 435–444.
- Гамзиков Г.П.* Содержание микроэлементов в почвах Омской области // Микроэлементы в почвах, растительности и водах южной части Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1971. С. 38–54.
- Горбунова Н.С., Протасова Н.А.* Особенности внутрипрофильной дифференциации содержания подвижных соединений никеля, свинца и кадмия в черноземах ЦЧР // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. Биология. Химия. Фармация. 2006. № 1. С. 109–115.
- Горбунова Н.С., Протасова Н.А.* Формы соединений марганца, меди и цинка в черноземах Центрально-Черноземного региона // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2008. № 2. С. 77–85.
- Ильин В.Б., Сысо А.И.* Почвенно-геохимические провинции в Обь-Иртышском междуречье: причины и следствия // Сибирский экол. журн. 2001. № 2. С. 111–118.
- Ильин В.Б., Сысо А.И., Байдина Н.Л.* и др. Фоновое количество тяжелых металлов в почвах юга Западной Сибири // Почвоведение. 2003. № 5. С. 550–556.
- Касимов Н.С., Геннадиев А.Н., Лычагин М.Ю.* Фоновая геохимическая дифференциация ландшафтов и мониторинг природной среды // Мониторинг фонового загрязнения природных сред. Вып. 5. Л.: Гидрометеоздат, 1989. С. 162–179.
- Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Самонова О.А.* Подвижные формы тяжелых металлов в почвах лесостепи Среднего Поволжья (опыт многофакторного регрессионного анализа) // Почвоведение. 1995. № 6. С. 705–713.
- Касимов Н.С., Самонова О.А.* Фоновая почвенно-геохимическая структура лесостепи Северного Казахстана // Почвоведение. 1989. № 4. С. 20–35.
- Касимов Н.С., Самонова О.А.* Катенарная ландшафтно-геохимическая дифференциация // География, общество, окружающая среда. Т. 2. М.: Городец, 2004. С. 479–551.
- Касимов Н.С., Самонова О.А., Асеева Е.Н.* Фоновая почвенно-геохимическая структура лесостепи Приволжской возвышенности // Почвоведение. 1992. № 8. С. 5–22.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Кропачева Т.Н., Дидик М.В., Корнев В.И.* Моделирование влияния ЭДТА на сорбцию тяжелых металлов гумусовыми кислотами // Почвоведение. 2015. № 4. С. 424–428.
- Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М.: Наука, 1989. 264 с.
- Лунатов Д.Н., Вержливецова Л.А.* Содержание и распределение подвижных форм Cu, Zn, Co, Cd, Pb в почвах агролан-

Выводы:

– радиальная геохимическая структура выщелоченных и оподзоленных черноземов лесостепных катен определяется наличием биогеохимического и щелочного барьеров и их отсутствием в лугово-черноземных почвах:

– в выщелоченных и оподзоленных черноземах на щелочном барьере аккумулируются обменные и специфически сорбированные соединения Ni, Cu, Zn, Fe и Cr; на биогеохимическом – подвижные (обменные, органоминеральные и специфически сорбированные) соединения Mn, Co и Pb, а также органоминеральные формы Ni, Cu, Zn, Fe и Cr;

– для черноземов при равномерном распределении валового содержания металлов характерно регрессивное профильное распределение обменных Fe, Pb, Cr, Ni, Sr и специфически сорбированных соединений Fe и Cr, поверхностно-аккумулятивное обменных, органоминеральных и специфически сорбированных Mn, Co и Pb, а также органоминеральных форм Ni, Cu, Zn, Fe и Cr;

– равномерное распределение металлов в лугово-черноземных почвах определяется однородностью их физико-химических свойств и отсутствием радиальных геохимических барьеров.

– контрастность радиального распределения металлов уменьшается в ряду автономные выщелоченные черноземы → трансэлювиальные оподзоленные черноземы → подчиненные лугово-черноземные почвы за счет выноса наиболее подвижных соединений.

дшафтов Тульской области // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2006. № 3. С. 34–42.

Мажайский Ю.А. Особенности распределения тяжелых металлов в профилях почв Рязанской области // Агрехимия. 2003. № 8. С. 74–79.

Микроэлементы в почвах СССР. М., 1981. 252 с.

Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г. Состав и соединения тяжелых металлов в почвах. Р. на/Д: Эверест, 2009. 208 с.

Переломов Л.В., Пинский Д.Л. Формы Mn, Pb и Zn в серых лесных почвах Среднерусской возвышенности // Почвоведение. 2003. № 6. С. 682–691.

Побединцева И.Г., Гаврилова И.П. Широколиственные леса Среднерусской возвышенности // Ландшафтно-геохимические основы фонового мониторинга природной среды. М., 1989. С. 118–128.

Побединцева И.Г., Дианова Т.М. Геохимические особенности ландшафта луговой степи Пселско-Ворсклинского междуречья // Геохимия ландшафта и практика народного хозяйства. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. С. 96–119.

Протасова Н.А., Горбунова Н.С. Формы соединений никеля, свинца и кадмия в черноземах Центрально-Черноземного региона // Агрехимия. 2006. № 8. С. 68–76.

Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Изд-во ВГУ, 2003. 267 с.

Прохорова Н.В., Матвеев Н.М., Павловский В.А. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими и культурными растениями в лесостепном и степном Поволжье. Самара: Изд-во Самарского ун-та, 1998. 131 с.

Самонова О.А., Геннадиев А.Н., Кошовский Т.С., Жидкин А.П. Металлы в почвах малого водосбора лесостепной зоны (Среднерусская лесостепь) // Почвоведение. 2015. № 6. С. 675–684.

Семенов И.Н., Асеева Е.Н., Терская Е.В. Геохимическая структура лесостепных катен балочного водосбора в бассейне р. Упа // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 6. С. 68–75.

Сеничкина М.Г., Абашева Н.Е. Микроэлементы в почвах Сибири. Новосибирск: Наука, 1986. 176 с.

Сысо А.И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири // Сибирский экол. журн. 2004. № 3. С. 273–287.

Щеглов Д.И., Горбунова Н.С., Семенова Л.А., Хатунцева О.А. Микроэлементы в почвах сопряженных ландшафтов Каменной степи различной степени гидроморфизма // Почвоведение. 2013. № 3. С. 282–290.

Belyaev V., Shamshurina E., Markelov M. et al. Quantification of the sediment budget of a river basin, based on reconstruction of the post-fallout redistribution of Chernobyl particle-bound ¹³⁷Cs // Proceedings of a ICCE-IAHS symposium «Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment». Chengdu, CAS, 2012, pp. 394–403.

Fan T.-T., Wang Yu-J., Li Ch.-B. et al. Effects of Soil Organic Matter on Sorption of Metal Ions on Soil Clay Particles // Soil Sci. Soc. Amer. J., 2015. Vol. 79, pp. 794–802.

Filgueiras A.V., Lavilla I., Bendicho C. Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples // J. Environm. Monitoring. 2002. Vol. 4, iss. 6, pp. 823–857.

Kabata-Pendias A. Trace Elements in soils and plants. L., N.Y.: CRC Press, 2011. 505 p.

Lavado R.S., Porcelli C.A. Contents and main fractions of trace elements in Typic Argiudolls of the Argentinean Pampas // Chem. Spec. and Bioavailability. 2000. Vol. 12, no 2, pp 67–70.

Podlesakova E., Nemek J., Vacha R. Mobility and bioavailability of trace elements in soils // Trace elements in soils. Bioavailability, flux, and transfer. L., N. Y., Washington: Lewis publishers, 2001, pp. 21–42.

Поступила в редакцию 08.09.2015

Принята к публикации 11.09.2015

I.N. Semenov¹, N.S. Kasimov², E.V. Terskaya³

VERTICAL GEOCHEMICAL STRUCTURE OF SOILS OF THE FOREST-STEPPE LOAMY CATENAS OF A BALKA WATER CATCHMENT AREA IN THE CENTRE OF THE SREDNERUSSKAYA UPLAND

Chernozem soils of gully-balka catenas in the centre of the Srednerusskaya Upland have the following parameters of the humus horizon: 50–60% of coarse silt, 4–9% of clay fraction, 4–6% of humus and pH 5–6. The soils showed typical total concentrations of Fe, Sr, Cr, Zn, Ni, Cu, Co and Pb. Concentrations of exchangeable and organo-mineral metal compounds, as well as those specifically absorbed by Fe and Mg hydroxides are in line with background values characteristic for Russian chernozems. Total amounts of mobile compounds as percentage of the total concentrations are 30–90 for Mn, 10–100 for Pb, 10–30 for Co, 10–25 for Ni, 5–25 for Sr, 7–20 for Cu, 5–15 for Zn, 2–4 for Fe and 0.5–2.0 for Cr. In leached and podzolic chernozems the concentrations of Fe, Cr, Ni, Zn, Co, Cu, Pb and Sr are mostly without variation; those of Ca and Mg increase and of Mn decrease down the soil profile. Total concentrations of metals show no differentiation in meadow chernozem soils. Organo-mineral metal compounds accumulate in the upper layers of chernozems and are evenly distributed in meadow chernozem soils. Exchangeable and specifically absorbed metal compounds have no predominant type of vertical distribution. The contrasts in metal distribution along the soil profile decrease from leached chernozems to podzolic chernozems and meadow chernozem soils. The main factor governing the vertical distribution of metals in soils is the concentration of Fe and Mn.

Keywords: trace elements, chernozem, catena, water catchment, vertical distribution, mobile forms, Srednerusskaya Upland.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-27-00083).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Junior Research Scientist; *e-mail:* semenkov@igem.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Head of the Department, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences; *e-mail:* secretary@geogr.msu.ru

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

REFERENCES

- Afanas'eva E.F.* Chernozemy Srednerusskoj vozvyshehnosti [Chernozems of Central Russian Upland], Moscow, Nauka, 1966. 224 p. (in Russian).
- Ahtyrcev B.P., Ahtyrcev A.B., Jablonskih L.A.* Tjzhelye metally i radionuklidy v gidromorfnyh pochvah lesostepi Russkoj ravniny i ih profil'noe raspredelenie [Content and distribution of heavy metals and radionuclides in hidromorphic soils of the forest-steppe zone of the Russian plain], *Pochvovedenie*, 1999, no 4, pp. 435–444 (in Russian).
- Anikina A.P., Bahnov V.K., Il'in V.B.* Zakonomernosti raspredelenija mikrojelementov v pochvennom pokrove Zapadno-Sibirskoj ravniny [Behavior of trace elements distribution in soil cover of Western Siberia], *Jetjudy po biogeohimii i agrohimii jelementov-biofilov*. Novosibirsk, Nauka, 1977, pp. 12–27 (in Russian).
- Azarenko Ju.A.* Zakonomernosti sodержanija, raspredelenija, vzaimosvjazj mikrojelementov v sisteme pochva – rastenie v uslovijah juga Zapadnoj Sibiri [Content, distribution, relation of trace elements in soil – plant system, Western Siberia, Russia], Omsk: Variant-Omsk, 2013, 232 p. (in Russian).
- Belyaev V., Shamshurina E., Markelov M.* et al. Quantification of the sediment budget of a river basin, based on reconstruction of the post-fallout redistribution of Chernobyl particle-bound ¹³⁷Cs // Proceedings of a ICCE-IAHS symposium «Erosion and Sediment Yields in the Changing Environment». Chengdu, CAS, 2012, pp. 394–403.
- Fan T.-T., Wang Yu-J., Li Ch.-B.* et al. Effects of Soil Organic Matter on Sorption of Metal Ions on Soil Clay Particles // *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 2015. Vol. 79, pp. 794–802.
- Filgueiras A.V., Lavilla I., Bendicho C.* Chemical sequential extraction for metal partitioning in environmental solid samples // *J. Environm. Monitoring*. 2002. Vol. 4, iss. 6, pp. 823–857.
- Gamzikov G.P.* Soderzhanie mikrojelementov v pochvah Omskoj oblasti, Mikrojelementy v pochvah, rastitel'nosti i vodah juzhnoj chasti Zapadnoj Sibiri [Trace elements content in soils of the Omsk region, Russia], Novosibirsk: Nauka, 1971, pp. 38–54 (in Russian).
- Gorburnova N.S., Protasova N.A.* Osobennosti vnutriprofil'noj differenciacii sodержanija podvizhnyh soedinenij nikelja, svinca i kadmija v chernozemah CChR [Peculiarities of vertical distribution of nickel, lead, and cadmium fractions in chernozems of the Central Chernozem region, Russia], *Vestnik Voronezhskogo gos. un-ta. Ser. Biologija. Himija. Farmacija*, 2006, no 1, pp. 109–115 (in Russian).
- Gorburnova N.S., Protasova N.A.* Formy soedinenij marganca, medi i cinka v chernozemah Central'no-Chernozemnogo regiona [Manganese, copper and zinc fractions in chernozems of the Central Chernozem region, Russia], *Vestnik Voronezhskogo gos. un-ta. Ser. Himija. Biologija. Farmacija*, 2008, no 2, pp. 77–85 (in Russian).
- Il'in V.B., Syso A.I.* Pochvenno-geohimicheskie provincii v Ob'-Irtyskom mezhdurech'e: prichiny i sledstvija [Pedogeochemical provinces in the Ob-Irtys interfluvium: causes and consequences], *Sibirskij jekologičeskij žurnal*, 2001, no 2, pp. 111–118 (in Russian).
- Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L.* et al. Background concentrations of heavy metals in soils of southern Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2003, Vol. 36, no 5, pp. 494–500.
- Kabata-Pendias A.* Trace Elements in soils and plants. L., N.Y.: CRC Press, 2011. 505 p.
- Kasimov N.S., Gennadiev A.N., Lychagin M.Ju.* Fonovaja geohimicheskaja differenciacija landshaftov i monitoring prirodnoj sredy [Geochemical structure of background landscapes and environmental impact assessment], *Monitoring fonovogo zagrjaznenija prirodnyh sred*, Vol. 5, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1989, pp. 162–179 (in Russian).
- Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Samonova O.A.* Podvizhnye formy tjzhelyh metallov v pochvah lesostepi Srednego Povolzh'ja (opyt mnogofaktornogo regressionnogo analiza) [Mobile forms of heavy metals in soils of Middle Volga forest-steppe (Experience of Multivariate Regression Analysis)], *Pochvovedenie*, 1995, no 6, pp. 705–713 (in Russian).
- Kasimov N.S., Samonova O.A.* Fonovaja pochvenno-geohimicheskaja struktura lesostepi severnogo Kazahstana [Background soil-geochemical structure of the Northern Kazakhstan forest-steppe], *Pochvovedenie*, 1989, no 4, pp. 20–35 (in Russian).
- Kasimov N.S., Samonova O.A.* Landshaftno-geohimicheskie sistemy i processy [Landscape-geochemical structure of catenae], *Geografija, obshhestvo, okružhajushhaja sreda*. Vol. 2. Moscow, Gorodec, 2004, pp. 479–551 (in Russian).
- Kasimov N.S., Samonova O.A., Aseeva E.N.* Fonovaja pochvenno-geohimicheskaja struktura lesostepi Privolzhskoj vozvyshehnosti [Background soil-geochemical structure of Privolzhskaya Upland forest-steppe], *Pochvovedenie*, 1992, no 8, pp. 5–22 (in Russian).
- Klassifikacija i diagnostika pochv Rossii [Classification and diagnostics of soils of Russia], Smolensk, Ojkumena, 2004, 342 p. (in Russian).
- Kropacheva T.N., Didik M.V., Kornev V.I.* Modelirovanie vlijanie JeDTA na sorbciju tjzhelyh metallov gumusovymi kislotami [Simulation of the influence of EDTA on the sorption of heavy metals by humic acids] // *Pochvovedenie*, 2015, no 4, pp. 424–428 (in Russian).
- Landshaftno-geohimicheskie osnovy fonovogo monitoringa prirodnoj sredy [Landscape-geochemical basis of environmental impact assessment], Moscow, Nauka, 1989, 264 p. (in Russian).
- Lavado R.S., Porcelli C.A.* Contents and main fractions of trace elements in Typic Argiudolls of the Argentinean Pampas // *Chem. Spec. and Bioavailability*. 2000. Vol. 12, no 2, pp. 67–70.
- Lipatov D.N., Verzhlivceva L.A.* Soderzhanie i raspredelenie podvizhnyh form Cu, Zn, Co, Cd, Pb v pochvah agrolandshaftov Tul'skoj oblasti [Concentration and distribution of Cu, Zn, Co, Cd, Pb fractions in soil of arable landscapes in Tula region, Russia], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 17, Pochvovedenie*, 2006, no 3, pp. 34–42 (in Russian).
- Mazhajskej Ju.A.* Osobennosti raspredelenija tjzhelyh metallov v profiljah pochv Rjazanskoj oblasti [The Distribution of Heavy Metals in the Profile of Soils of Ryazan Oblast], *Agrohimija*, 2003, no 8, pp. 74–79 (in Russian).
- Mikrojelementy v pochvah SSSR [Trace elements in soils of the USSR], Moscow, 1981, 252 p. (in Russian).
- Minkina T.M., Motuzova G.V., Nazarenko O.G.* Sostav i soedinenija tjzhelyh metallov v pochvah [Composition and compounds of heavy metals in soils], Rostov-na-Donu, Jeverest, 2009, 208 p. (in Russian).
- Perelomov L.V., Pinski D.L.* Formy Mn, Pb i Zn v seryh lesnyh pochvah Srednerusskoj vozvyshehnosti [Mn, Pb, and Zn in gray forest soils of the Central Russian Upland] // *Pochvovedenie*, 2003, no 6, pp. 682–691 (in Russian).
- Pobedinceva I.G., Dianova T.M.* Geohimicheskie osobennosti landshafta lugovoj stepi Psel'sko-Vorsklienskogo mezhdurech'ja [Geochemical peculiarities of meadowy steppe landscape the Psel River and the Vorskla River basins watershed], *Geohimija landshafta i praktika narodnogo hozjajstva*, Moscow, Izd-vo MGU, 1979, pp. 96–119 (in Russian).
- Pobedinceva I.G., Gavrilova I.P.* Shirokolistvennyye lesa Srednerusskoj vozvyshehnosti [Broad-leaves forest of Central Russian Upland] In *Landshaftno-geohimicheskie osnovy fonovogo monitoringa prirodnoj sredy*, Moscow, 1989, pp. 118–128 (in Russian).
- Podlesakova E., Nemek J., Vacha R.* Mobility and bioavailability of trece elements in soils // *Trace elements in soils. Bioavailability, flux, and transfer*. L., N. Y., Washington: Lewis publishers, 2001, pp. 21–42.
- Prohorova N.V., Matveev N.M., Pavlovskij V.A.* Akkumuljacija tjzhelyh metallov dikorastushhimi i kul'turnymi rastenijami v lesostepnom i stepnom Povolzh'je [Accumulation of heavy metals by wild and cultivated plants in forest-stepe and steppe landscapes of Povolzh'ye region, Russia]. Samara, Izd-vo Samarskogo un-ta, 1998. 131 p. (in Russian).

Protasova N.A., Gorbunova N.S. Formy soedinenij nikelja, svinca i kadmija v chernozemah Central'no-Chernozemnogo regiona [Nickel, lead, and cadmium fractions in chernozems of the Central Chernozem region, Russia], *Agrohimiya*, 2006, no 8, pp. 68–76 (in Russian).

Protasova N.A., Shherbakov A.P. Mikrojelementy (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) v chernozemah i seryh lesnyh pochvah Central'nogo Chernozem'ja [Trace elements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Ba, Sr, B, I, Mo) in mollisols of the Central Chernozem region, Russia], *Voronezh, VGU*, 2003, 267 p. (in Russian).

Samonova O.A., Gennadiev A.N., Koshovskii T.S., Zhidkin A.P. Metally v pochvah malogo vodosbora lesostepnoj zony (Srednerusskaja lesostep') [Metals in the soils of a small watershed in the forest-steppe zone of the central Russian upland], *Pochvovedenie*, 2015, no 6, pp. 675–684 (in Russian).

Semenkov I.N., Aseeva E.N., Terskaja E.V. Geohimicheskaja struktura lesostepnyh katen balochnogo vodosbora v bassejne r.Upa

[Geochemical structure of forest-steppe catenas of a balka drainage area in the Upa River basin], *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografija*, 2013, no 6, pp. 68–75 (in Russian).

Senichkina M.G., Abasheva N.E. Mikrojelementy v pochvah Sibiri [Trace elements in soils of Siberia], *Novosibirsk: Nauka*, 1986, 176 p. (in Russian).

Shcheglov D.I., Gorbunova N.S., Semenova L.A., Khatuntseva O.A. Mikrojelementy v pochvah soprjazhennyh landshaftov Kamennoj stepi razlichnoj stepeni gidromorfizma [Microelements in soils of conjugated landscapes with different degrees of hydromorphism in the Kamennaya steppe] // *Pochvovedenie*, 2013, no 3, pp. 282–290 (in Russian).

Syso A.I. Obshhie zakonomernosti raspredelenija mikrojelementov v pokrovnyh otlozhenijah i pochvah Zapadnoj Sibiri [General Regularities of the Distribution of Microelements in the Surface Deposits and Soils of West Siberia], *Sibirskij jekologicheskij zhurnal*, 2004, no 3, pp. 273–287 (in Russian).

Received 08.09.2015

Accepted 11.09.2015

УДК 551.583.16

Г.В. Суркова¹, Л.А. Соколова², А.Р. Чичев³

МНОГОЛЕТНИЙ РЕЖИМ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В БАРЕНЦЕВОМ И КАРСКОМ МОРЯХ

Представлены результаты оценки многолетних изменений (1950–2012) суточных экстремумов скорости ветра в открытой части Баренцева и Карского морей. Показано, что на фоне изменений климата некоторый рост максимальных значений скорости ветра отмечается с 1970-х гг. Выявлены особенности их многолетней периодичности, получены оценки внутрисуточного распределения их повторяемости. Согласно полученным результатам существенные изменения параметров распределения в последние десятилетия не отмечены. Оценка распределения направлений ветра, при которых отмечаются его экстремальные значения, показала, что на исследуемой акватории максимумы скорости наблюдаются чаще всего при ветрах южных румбов для обоих морей, а также при западных – в Баренцевом море.

Ключевые слова: экстремальные скорости ветра, изменения климата Арктики.

Введение. Арктика играет большую роль в экономическом и военно-стратегическом плане для России и мира в целом. Ее климат в последние десятилетия значительно меняется, что особенно ярко проявилось в изменениях режима температуры, осадков и площади морского льда [Второй..., 2014; IPCC, 2013]. Это открывает новые возможности для судоходства и других отраслей хозяйства и требует переоценки территории с точки зрения климатических ресурсов и связанных с ними рисков освоения.

В статье представлены результаты оценки многолетних (1950–2012) изменений суточных экстремумов скорости ветра для открытых акваторий Баренцева и Карского морей. В условиях активной циклонической деятельности для этих морей характерны высокие значения скорости ветра в течение всего года, особенно в холодный период [Российская..., 1985; Гидрометеорология..., 1990]. Наблюдаемое в последние десятилетия увеличение площади моря, свободной ото льда [Второй..., 2014; IPCC, 2013], существенно изменяет режим ветрового воздействия на морскую поверхность, приводит к повышению вероятности развития штормового волнения. Оценки Межгосударственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) и Росгидромета РФ свидетельствуют о том, что, несмотря на тенденцию к снижению средних значений скорости ветра в умеренных широтах над сушей, к северу от 75° с.ш. она возростала на протяжении последних десятилетий [Второй..., 2014; IPCC, 2013].

Климат западного сектора Российской Арктики относительно мягкий, особенно над Баренцевым морем, которое даже в самые суровые зимы не покрывается льдом полностью. Атмосферные процес-

сы, вызывающие сильные и штормовые ветры над Баренцевым и Карским морями, под влиянием активизации циклонической деятельности на арктическом фронте в холодное время года наблюдаются в 3 раза чаще, чем в теплое [Атлас..., 1985; Гидрометеорология..., 1990; Российская..., 2013]. Средние значения скорости ветра в Баренцевом море зимой составляют 6–10 м/с. При этом в 30–40% случаев ветер дует со скоростью ≥ 11 м/с. Летом этот показатель снижается до 5–10%, средняя скорость в июле уменьшается до 5 м/с (повторяемость 50–60%). Климат Карского моря по температурному режиму гораздо более суровый – даже летом его северо-восточная часть может оставаться покрытой льдом. Осенью и зимой под влиянием Азиатского антициклона над большей частью моря господствуют южные, юго-западные и юго-восточные ветры, приносящие холодный воздух с материка, лишь на северо-востоке моря преобладают северные ветры. Средняя скорость ветра 5–8 м/с, но из-за рельефа побережий и островов арх. Новая Земля, а также из-за пограничного положения Карского моря между относительно теплым Баренцевым морем, где сильно влияние Атлантики, и охлаждающими районами Центральной Арктики и континентальной Азии, часты дни со штормовыми ветрами. Больше всего их приходится на западную часть моря, где дополнительно влияние оказывает Новоземельская бора, при которой скорость ветра достигает 40 м/с. Средние значения скорости ветра над Карским морем летом составляют 4–5 м/с.

Сильные и штормовые ветры представляют особую опасность для различных видов хозяйственной деятельности, что обуславливает важность оценки их текущего режима. Мониторинг показателей скорости ветра ведется на метеорологических стан-

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

² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, студентка; e-mail: sokolova.larisa@hotmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии, студент; e-mail: che94a@mail.ru

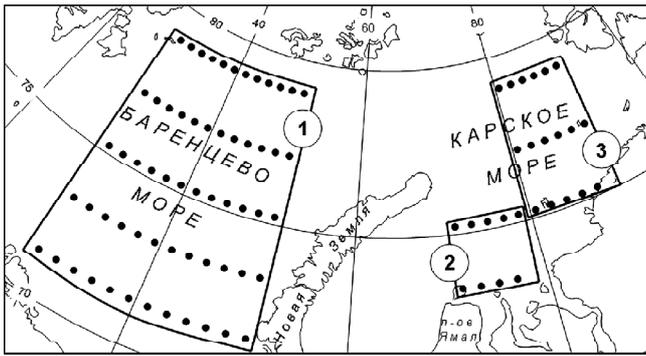


Рис. 1. Секторы исследования режима ветра и узлы сетки реанализа (точки) в Баренцевом (1) и Карском (2, 3) морях

циях Росгидромета РФ (www.meteo.ru), нефтяных платформах, выполняются также судовые наблюдения, разработаны методики расчета глобальных и региональных климатических реанализов, в том числе Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды (<http://www.ecmwf.int>), Национальной администрацией атмосферы и океана США (<http://www.esrl.noaa.gov>) и другими научными центрами (<http://www.reanalyses.org>). Для морей Российской Арктики подробный анализ ветрового режима в морях Арктики обобщен в выпусках серии «Моря СССР» [Гидрометеорология..., 1990], в атласах [Атлас..., 1985; Российская..., 2013]. В дополнение к этим исследованиям мы проанализировали суточные экстремумы средней скорости ветра с привлечением последних современных данных над открытой акваторией Баренцева и Карского морей. Одна из главных целей работы заключается в изучении многолетних тенденций экстремального ветрового режима в этих районах на фоне климатических изменений последних десятилетий, а также в поиске наиболее подходящих функций распределения экстремумов для последующих оценок их возможных изменений при разных прогностических сценариях изменения климата в XXI в.

Материалы и методы исследований. В качестве исходных данных нами использованы результаты реанализа TCR2 [Compo et al., 2011] за 1950–2012 гг. зональной и меридиональной составляющих скорости приземного (10 м) ветра. Данные имеют 3-часовое временное разрешение, горизонтальный размер ячеек сетки реанализа 1,85x1,85 по широте и долготе. Как показали исследования [Lindsay et al., 2014; Wang et al., 2014], результаты TCR2 соответствуют уровню других существующих реанализов и данных наблюдений, этот реанализ по сравнению с предыдущими наиболее полно учитывает метеоданные российских арктических станций.

В ходе исследований в Баренцевом и Карском морях выбраны участки над открытой акваторией, для которых ежесуточно определяли максимальную скорость ветра в пределах всего полигона (рис. 1). Выбор открытого моря обусловлен тем, что для ячеек сетки реанализа, которые охватывают и сушу, и море, согласование данных реанализа и наблюдений усложнено особенностями берегового рельефа, которые для разных станций существенно отлича-

ются, что приводит к формированию местных особенностей ветрового режима на разных участках побережья. Поэтому анализ климатического режима ветровых экстремумов на побережье требует индивидуального подхода к данным каждой станции, а при использовании результатов реанализа – их региональной калибровки. Данные реанализа дискретны в пространстве и представляют среднее значение показателя в пространстве ячейки. Поэтому очевидно, что если ячейка включает две разнородные поверхности, над которыми реальный режим ветра формируется по-разному, ошибка реанализа возрастает, особенно в приземном слое. Над открытым морем подстилающая поверхность более однородна, что позволяет рассматривать не только одну ячейку, но и значительную часть моря, согласующуюся по размерам с масштабами крупных барических атмосферных образований, определяющих режим ветра над акваторией.

В Баренцевом море полигон охватывает большую часть морской акватории (рис. 1, сектор 1), здесь даже в холодный период года нет сплошного морского льда. В Карском море были выбраны два сектора: центральный и северо-восточный (2 и 3 на рис. 1). Для уменьшения внутренней связи между данными в ежесуточных рядах экстремальных значений скорости ветра выполнялась фильтрация ежедневных рядов. Проведенные нами исследования автокорреляции рядов суточных экстремумов скорости ветра показали, что достаточно четырехдневной фильтрации рядов. Пространственная изменчивость в пределах выбранных полигонов для средних значений скорости ветра невелика для среднего многолетнего режима [Атлас..., 1985; Гидрометеорология..., 1990], поскольку это открытое пространство с однородной подстилающей поверхностью, подверженное влиянию активной циклонической деятельности, но ежедневное распределение может быть различным в зависимости от синоптической ситуации, таким образом, расположение зоны максимальных ветров будет определяться полем атмосферного давления и траекториями движения циклонов. Следовательно, поиск максимума суточного экстремума скорости в пределах крупного полигона даст представление о наиболее опасных ее значениях на большой территории.

В ходе работы решались следующие задачи: для заданных полигонов выбраны данные реанализа скорости ветра с трехчасовым разрешением за 1950–2012 гг., затем для каждого суток в каждой ячейке сетки реанализа найдены суточные максимумы, среди которых затем выбрали наибольший в пределах полигона; проанализированы их многолетние изменения; для каждого десятилетия рассчитаны функции распределения максимальных значений скорости ветра. Для оценки эмпирического распределения экстремумов использовали функцию нормального распределения, функцию Вейбулла–Гнеденко, ранжирование рядов [Рожков, 2001]

Результаты исследований и их обсуждение. Многолетний ход средних суточных максимумов для

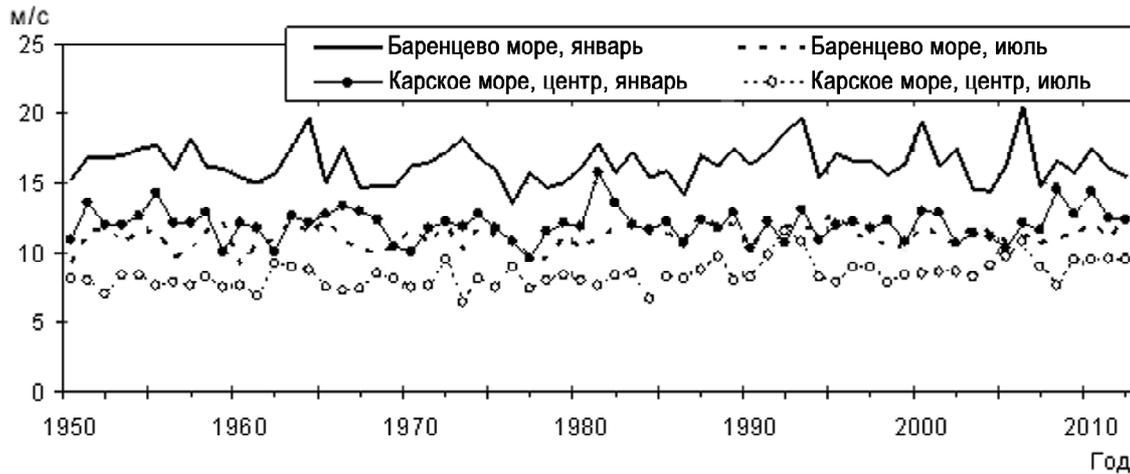


Рис. 2. Многолетние изменения средних годовых суточных экстремумов скорости ветра

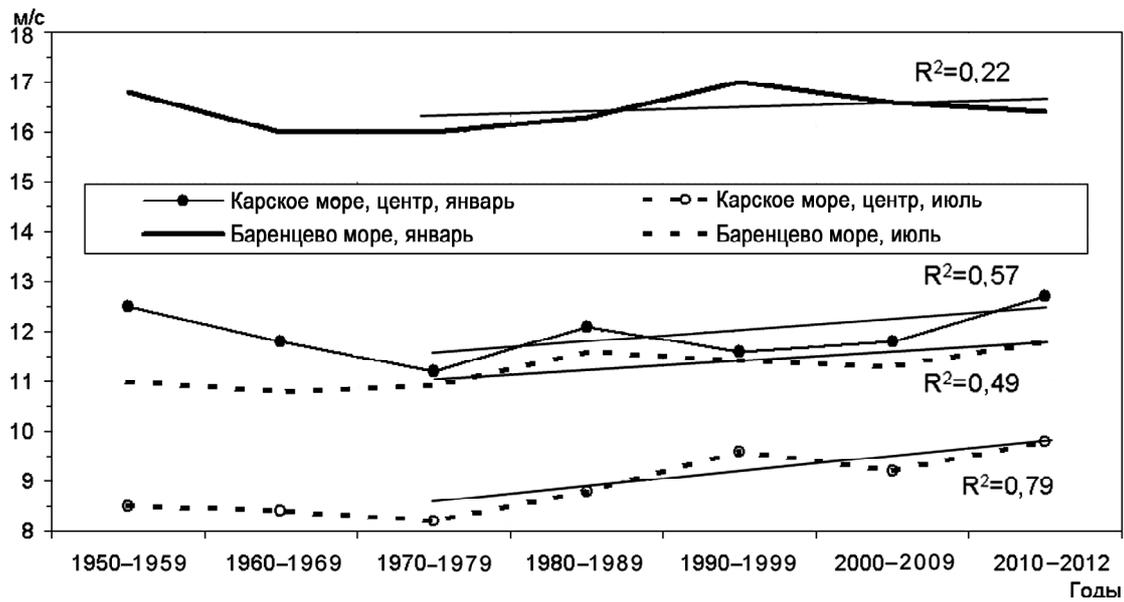


Рис. 3. Средние по десятилетиям суточные экстремумы средней скорости ветра. Линии тренда и их уровень значимости (R^2) показаны для периода 1970–2012 гг.

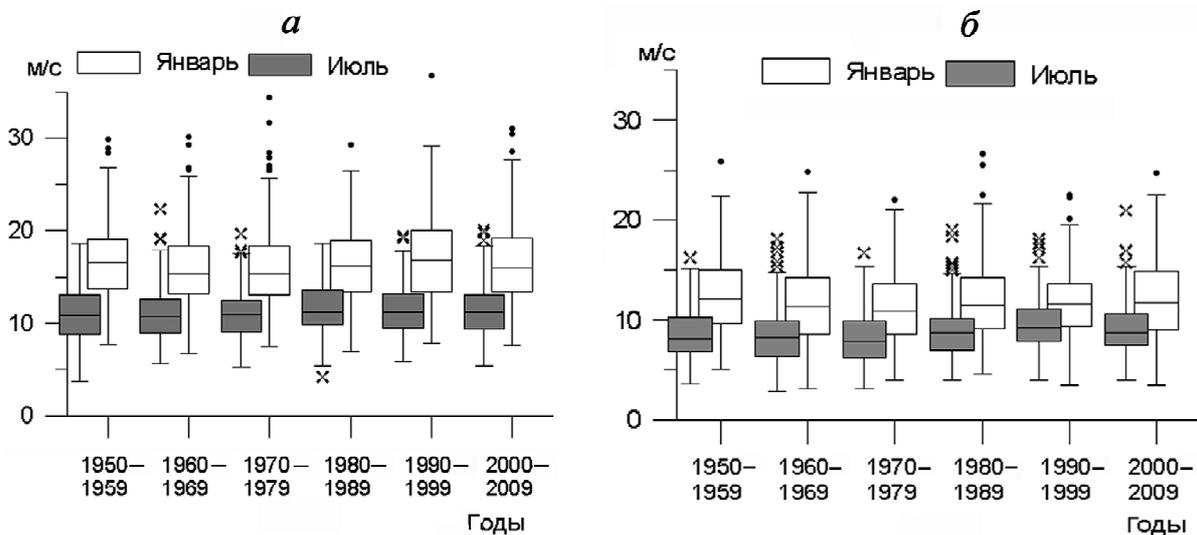


Рис. 4. Эмпирические функции распределения (диаграммы размаха) суточных максимумов средней скорости ветра по десятилетиям для января и июля в Баренцевом (а) и Карском (б) морях

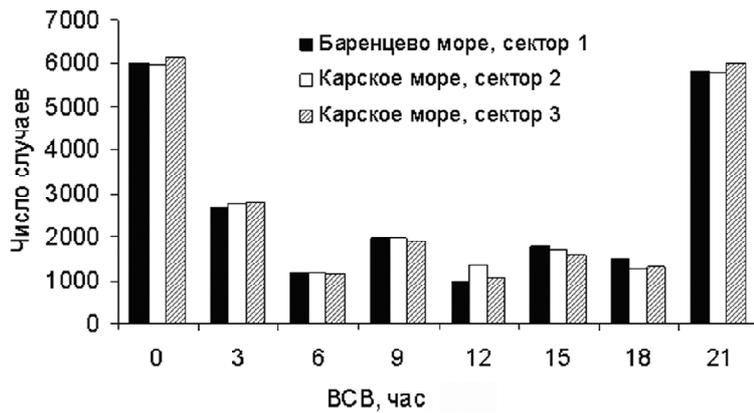


Рис. 5. Повторяемость срока (BCB), в который отмечается суточный максимум средней скорости ветра за 1950–2012 гг.

каждого года представлен на рис. 2 для января и июля. Расчеты показали, что на фоне зафиксированных существенных изменений климата в Арктике во второй половине XX в. значимый направленный многолетний рост суточных экстремумов скорости ветра отмечается после 1970-х гг. При рассмотрении ежегодных значений средних месячных экстремумов этот тренд выражен слабо на фоне большой межгодовой изменчивости (рис. 2), но более заметен при рассмотрении средних показателей за десятилетие (рис. 3). Максимальная скорость ветра в Баренцевом море во все месяцы года гораздо больше, чем в Карском море. В Карском море разница скорости ветра между секторами 2 и 3 невелика. Межгодовая изменчивость, как и абсолютные величины экстремумов, гораздо больше в зимние месяцы и ослабевает в летние (таблица).

Полученные результаты позволяют говорить о тенденции к снижению максимальных значений скорости в 1960-е и 1970-е гг. (рис. 3) в январе и июле, а также о некотором увеличении десятилетних средних значений с 1970-х гг. Это дополняет оценки по данным наземных метеорологических станций, представленные во Втором оценочном докладе Росгидромета [Второй..., 2014], где показано, что на большей части континентального побережья Баренцева и Карского морей средняя скорость ветра в 1977–2011 гг. снижалась, в то же время на Новой Земле и Северной Земле, а также на п-ове Таймыр большую часть года средние значения скорости ветра возрастали. Вторая половина 1970-х гг. отмечена заметными сдвигами многих показателей состояния атмосферы и океана. В последнем отчете МГЭИК [IPCC..., 2013] отмечено, что изменение ветрового режима в высоких широтах в последние десятилетия может быть следствием происходящей перестройки общей циркуляции атмосферы, в частности, изменения траекторий перемещения циклонов умеренных широт, их интенсивности и частоты, общего усиления циклоничности Арктики. Графики многолетнего хода (рис. 2) сви-

детельствуют о периодичности колебаний. Спектральный анализ показал наличие характерных 8–10-летних периодов, наиболее выраженных для январских экстремальных значений скорости ветра.

Для каждого десятилетия рассчитаны эмпирические функции распределения, выполнены аппроксимации данных по распределению Вейбулла, которое хорошо описывает экстремумы скорости ветра. Анализ показал, что на фоне небольшого роста средних величин междекадные различия редко повторяющихся высоких значений суточных максимумов невелики и их направленные изменения не наблюдаются. Эмпирические функции распределения показаны (рис. 4) в виде диаграмм размаха, на которых отражаются медиана, значения с 25% и 75%-ной обеспеченностью, а также выбросы. Очевидно, что междекадные изменения незначительны.

Значения средней максимальной скорости ветра (V_{max} , м/с) и межгодовое стандартное отклонение (σ , м/с)

Показатель	Месяц			
	январь	апрель	июль	октябрь
Баренцево море (сектор 1)				
V_{max}	16,5	14,0	11,2	15,3
σ	1,4	1,1	0,8	1,1
Карское море (сектор 2, центр)				
V_{max}	11,9	9,9	8,8	11,2
σ	1,2	1,4	0,9	1,2
Карское море (сектор 3, северо-восток)				
V_{max}	12,0	9,9	8,4	10,9
σ	1,2	1,5	1,0	1,3

Отдельный интерес представляют полученные нами результаты по повторяемости тех сроков, для которых отмечен суточный максимум средней скорости ветра (рис. 5) – 21 и 0 ч Всемирного скоординированного времени (BCB), отличающегося от времени часового пояса Москвы (МСК) на 3 часа (МСК=BCB+3 ч). Известно, что в свободной атмосфере наибольшая скорость ветра отмечается в ночное время [Локощенко, 2014]. В то же время в приземном слое над сушей максимальная скорость ветра наблюдается в середине дня, когда интенсифицируется турбулентный обмен со свободной атмосферой и наилучшим образом происходит передача импульса из вышележащих слоев, а для ночного времени характерно снижение скорости ветра. Над морской поверхностью суточный ход в целом выражен слабее, чем над сушей. Здесь нередко именно в ночное время формируется неустойчивая стратификация атмосферы в приземном слое, что способствует обмену количеством движения со свободной атмосферой и усилению скорости ветра. Именно такой эффект отражает рассчитанная повторяемость сроков наступления мак-

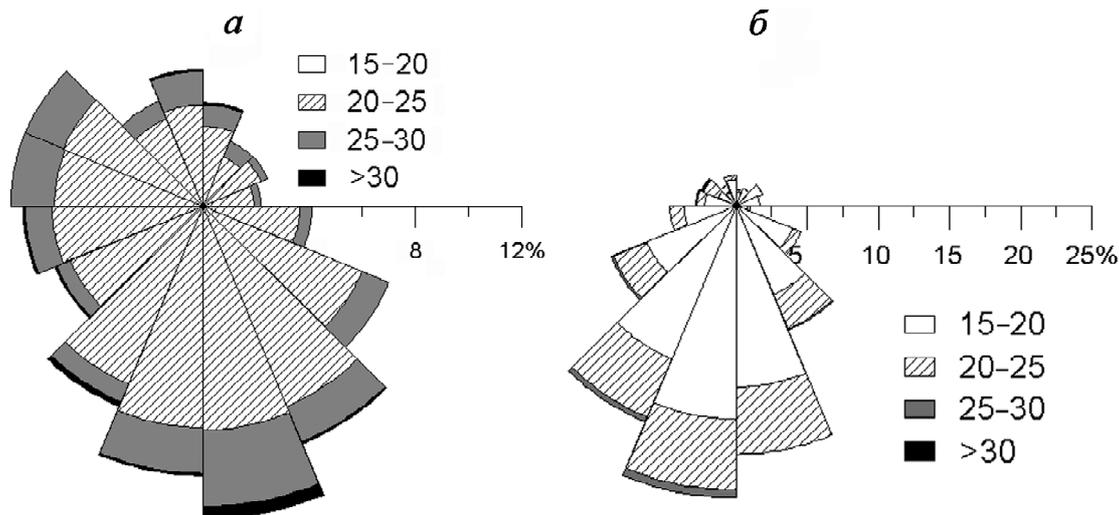


Рис. 6. Диаграмма направления для суточных максимумов скорости ветра по градациям за 1950–2012 гг.: а – Баренцево море, б – Карское море, сектор 2

сумма скорости ветра для открытой акватории всех трех рассмотренных нами секторов.

Оценка повторяемости направлений, при которых наблюдаются суточные максимумы, превышающие значения $V_{95\%}$ (21,5 м/с на полигоне 1 в Баренцевом море, 17,0 м/с на полигонах 2, 3 в Карском море), показывает (рис. 6), что в целом за 1950–2012 гг. в Баренцевом море экстремумы ветра наиболее характерны при ветрах западных и южных румбов, в Карском море влияние ветра в южных и юго-западных румбах выражено еще сильнее. Повторяемость направлений суточных экстремумов, как и время наступления максимумов в суточном ходе, также рассмотрены отдельно для каждого десятилетия за 1950–2009 гг., существенные изменения и тренды не выявлены.

Выводы:

– результаты исследований суточных экстремумов скорости ветра для открытых акваторий Баренцева и Карского морей позволяют говорить о том,

что на фоне наблюдаемых изменений климата Арктики, проявляющихся в режиме температуры, осадков, площади морского льда, средней скорости ветра и других показателей, на исследуемых территориях выявлен небольшой рост средних десятилетних максимумов с 1970-х гг, который, однако, не превышает внутридекадную изменчивость;

– показано, что максимумы приземной скорости ветра в суточном ходе над акваториями, в отличие от суши, возникают преимущественно в ночные часы;

– рассчитаны оценки функций временного и пространственного распределения, что в последующем позволит перейти к их климатическому прогнозу, выявлено, что существенных изменений параметров распределения в последние десятилетия нет;

– на исследуемой акватории максимумы скорости наблюдаются чаще всего при ветрах южных румбов для обоих морей, а в Баренцевом море, кроме того, и при западных румбах.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Аглас Арктики. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совмине СССР, 1985, 204 с.
 Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. М., 2014. 61 с.
 Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. Л.: Гидрометиздат, 1990. 280 с.
 Локоценко М.А. О ветровом режиме нижней атмосферы над Москвой по данным многолетнего акустического зондирования // Метеорология и гидрология. 2014. Т. 39, № 4. С. 19–31.
 Рожков В.А. Теория и методы статистического оценивания вероятностных характеристик случайных величин и функций с гидрометеорологическими примерами. СПб.: Гидрометеоиздат, 2001. 340 с.
 Российская Арктика в XXI веке: природные условия и риски освоения. М.: Феория, 2013. 144 с.

Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al. The Twentieth century reanalysis Project // Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc. 2011. Vol. 137, pp. 1–28.
 IPCC, 2013: Summary for Policymakers // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; N.Y., Cambridge University Press, 2013.
 Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // J. Climate. 2014. Vol. 27, pp. 2588–2608.
 Wang X.L., Feng Y., Compo G.P. et al. Is the storminess in the Twentieth Century Reanalysis really inconsistent with observations? A reply to the comment by Krueger et al. // Climate Dynamics. February 2014. Vol 42, iss. 3–4, pp. 1113–1125.

Поступила в редакцию 14.05.2015
 Принята к публикации 11.09.2015

G.V. Surkova¹, L.A. Sokolova², A.R. Chichev³

LONG-TERM REGIME OF EXTREME WINDS
IN THE BARENTS AND KARA SEAS

Results of evaluation of the long-term variability of daily wind speed extremes in the open parts of the Barents and Kara seas for the period of 1950–2012 are discussed. Despite the pronounced climate changes in the Arctic just a slight increase in wind speed maximum is obvious since 1970. The long-term periodicity of wind extremes and their daily regimes are characterized. According to the results the parameters of wind probability distribution function did not change significantly during recent decades. The analysis of the directions of extreme winds has shown that in the open parts of both seas the extremes are observed mostly for southern winds and in the Barents Sea also for the westerlies.

Keywords: the Arctic, extreme winds, climate changes.

Acknowledgement. The research was financially supported by the Russian Science Foundation (project 14-37-00038).

REFERENCES

- Atlas Arktiki [Atlas of Arctic]. Moscow: Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii pri sovmine SSSR, 1985. 204 p. (in Russian).
- Compo G.P., Whitaker J.S., Sardeshmukh P.D. et al. The Twentieth century reanalysis Project // Quarterly J. Roy. Meteorol. Soc. 2011. Vol. 137, pp. 1–28.
- Gidrometeorologija i gidrohimiya morej SSSR. T. 1. Barentsevo more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie uslovija [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas of the USSR], Leningrad: Gidrometizdat, 1990. 280 p. (in Russian).
- IPCC, 2013: Summary for Policymakers // Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge; N.Y., Cambridge University Press, 2013.
- Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // J. Climate. 2014. Vol. 27, pp. 2588–2608.
- Lokoschenko M.A. O vetrovom regime nizhnej atmosfery nad Moskvoy po dannym mnogoletnego akusticheskogo zondirivaniya [About wind regime over Moscow on the base of long-term acoustic sounding data], Meteorology and Hydrology, 2014. Vol. 39, no. 4, pp. 19–31 (in Russian).
- Rossiyskaya Arktika v XXI veke: prirodnye uslovija i riski osvoenija [Russian Arctic in XXI century: environment and risks of development], M.: Feoria, 2013. 144 p. (in Russian).
- Rozhkov V.A. Teorija i metody statisticheskogo ocenivaniya verojatnostnyh harakteristik sluchajnyh velichin i funkcij s gidrometeorologicheskimi primerami [Theory and methods of statistics of random variables and functions with hydrometeorological examples], Spb., Gidrometeoizdat, 2001. 340 p. (in Russian).
- Wang X.L., Feng Y., Compo G.P. et al. Is the storminess in the Twentieth Century Reanalysis really inconsistent with observations? A reply to the comment by Krueger et al. // Climate Dynamics. February 2014. Vol 42, iss. 3–4, pp. 1113–1125.
- Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na teritorii Rossijskoj Federacii. Obshee rezjume. [2nd Assessment report of Russian Hydrometeorological Service about Climate Changes in Russia. Summary], Moscow, 2014. 61 p. (in Russian).

Received 14.05.2015

Accepted 11.09.2015

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

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, student; *e-mail:* sokolova.larisa@hotmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Meteorology and Climatology, student; *e-mail:* che94a@mail.ru

УДК 551.465 (262.5)

С.А. Мысленков¹, В.С. Архипкин², К.П. Колтерманн³**ОЦЕНКА ВЫСОТЫ ВОЛН ЗЫБИ В БАРЕНЦЕВОМ И БЕЛОМ МОРЯХ**

Представлена реализация спектральной волновой модели SWAN для Баренцева и Белого морей, включающая северную часть Атлантического океана. Использована оригинальная нерегулярная вычислительная сетка, где в Атлантическом океане шаг составляет 1° , в Баренцевом море – $0,5^\circ$ и в Белом море – $0,2^\circ$. В качестве входных данных о ветре для расчетов использовались данные реанализа NCEP CFSR с высоким разрешением $\sim 0,3^\circ$.

На основании результатов численных экспериментов оценено влияние зыби, генерируемой в Северной Атлантике либо в Баренцевом море, на акваторию Белого моря, что позволит решить проблему открытых границ при моделировании в нем ветрового волнения.

Проведено три численных эксперимента с искусственным отключением поля ветра над акваториями Белого и Баренцева морей для выделения непосредственно влияния зыби, генерируемой в Северной Атлантике. Выявлено, что влияние зыби из Северной Атлантики, приходящей на акваторию Белого моря, незначительно (0,25 м), тогда как для Баренцева моря высота зыби составляет >5 м. Высота волн зыби, приходящей из Баренцева моря в Белое, составляет около 1 м. Полученные результаты позволяют оценить возможные погрешности при моделировании волнения в Белом и Баренцевом морях без учета волн, приходящих из Северной Атлантики, и при наличии открытых границ.

Сопоставление результатов нашего моделирования с данными спутниковой альтиметрии и моделью WaveWatch 3 показало, что в целом обе модели воспроизводят близкую к реальности высоту волн. По сравнению со спутниковыми данными модели завышают высоту волн на 2–3 м, но это можно объяснить осреднением спутниковых данных, в которых поле волнения сглажено.

Показано, что во время штормов с высотой волн >6 –7 м из Северной Атлантики распространяется зыбь с периодом 15–16 с, а к центру Баренцева моря пиковый период смещается к 18 с, т.е. период зыби закономерно увеличивается при удалении от места генерации, и модель работает корректно.

Ключевые слова: моделирование волнения, зыбь, SWAN, распространение зыби, Баренцево море, Белое море.

Введение. Изучение гидрометеорологических условий в арктических морях России – приоритетная задача в связи с активным освоением шельфовых месторождений нефти и газа. Знание параметров ветрового волнения необходимо при проектировании и строительстве объектов в прибрежной зоне, а также для безопасности судоходства. Одна из задач лаборатории комплексных эколого-географических исследований Арктики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова – изучение режима ветрового волнения и анализ экстремальных штормов в Белом и Баренцевом морях.

Для исследования изменчивости ветрового волнения в арктических морях широко применяют различные математические модели [Дианский и др., 2014; Дымов и др., 2004; Зеленко и др., 2004; Кабатченко и др., 2004; Режим..., 2013; Справочные..., 2003; Gusdal et al., 2009; Reistad et al., 2011; Tolman et al., 2002]. В настоящее время в Гидрометцентре России в оперативном режиме работает система прогноза волнения в арктических морях. Прогноз волнения в Баренцевом море производится при по-

мощи модели WaveWatch3. Модель использует прогностические поля ветра GFS (Global Forecast System) и работает в рамках единой технологии для акватории Мировой океан – Арктический бассейн. Расчетная сетка для Мирового океана с разрешением $0,5^\circ$ сопряжена с сеткой Арктического бассейна, имеющей разрешение ~ 10 км. Проверка качества модели осуществлялась на основе спутниковых данных, результаты испытаний признаны удовлетворительными [Зеленко и др., 2014].

Среди отечественных работ, посвященных моделированию волнения в Баренцевом море, отметим работу [Справочные..., 2003], где модель SWAN (Simulating Wave Nearshore) использована для составления морского регистра; оценки показали хорошее совпадение с данными наблюдений.

Расчеты и прогнозы ветрового волнения также осуществляются с использованием спектрально-параметрической модели ААНИИ (PD2-AARI). Модель неоднократно верифицировалась по данным инструментальных наблюдений на разных акваториях и сопоставлялась с такими известными моделя-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с.; e-mail: stasocean@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: victor.arkhipkin@gmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория комплексных эколого-географических исследований Арктики, профессор, доктор. геогр. н.; e-mail: peter.koltermann@gmail.com

ми, как WAM (WAve prediction model) и WaveWatch3. Результаты статистических оценок точности расчетов и прогнозов для всех моделей примерно одинаковы (среднеквадратическая ошибка составляет $\sim 0,5$ м, коэффициент корреляции между наблюдаемыми и расчетными значениями $\sim 0,9$ [Дымов и др., 2004; Режим..., 2013]).

Качество волновых моделей во многом зависит от используемых входных данных о поле ветра. Так, в работе [Дианский и др., 2014] расчет поля ветра выполнен по модели WRF (Weather Research and Forecasting), а параметры волнения для Карского и Печорского морей моделируются при помощи Российской атмосферно-волновой модели [Кабатченко и др., 2004]. Оценки точности расчетов скорости ветра при сравнении с данными метеостанций показали корреляцию $0,8-0,9$, и, возможно, именно использование мезомасштабных атмосферных моделей в будущем позволит улучшить диагноз и прогноз ветрового волнения.

Моделирование волнения в Белом и Баренцевом морях связано с проблемой выбора границ расчетной области. Формально для корректного воспроизведения волн в Белом и Баренцевом морях необходимо включать в расчетную область весь Атлантический океан, так как для приходящих из него волн нет серьезных препятствий для распространения. Большинство прогностических и диагностических моделей для Баренцева моря ограничивают область моделирования меридианом 0° , либо 60° с.ш. в Северной Атлантике, либо используют несколько вложенных сеток с разным шагом. Для Белого моря область моделирования включала либо небольшой сектор Баренцева моря, либо все море. При включении в область моделирования больших акваторий с высоким пространственным разрешением возникает проблема с вычислительной мощностью. Поэтому выбор области моделирования и расположения открытых границ – одна из важных задач при моделировании ветрового волнения.

Цель работы – оценка влияния зыби, генерируемой в Северной Атлантике либо в Баренцевом море на акваторию Белого моря, что позволит решить проблему выбора открытых границ при моделировании в нем ветрового волнения.

Для достижения поставленной цели проводились численные эксперименты по расчету ветрового волнения и зыби в области от Северной Атлантики до Белого моря при искусственном отключении ветра на той или иной части этой акватории.

Материалы и методы исследований. Для решения поставленной задачи выбрана спектральная волновая модель третьего поколения SWAN ver. 41.01, так как она создана специально для расчетов параметров ветрового волнения в прибрежной зоне по заданным полям ветра и течений, а также рельефу дна [SWAN..., 2007]. Эту модель разрабатывает и свободно распространяет Дельфтский технологический университет. В то же время, как показывает сравнение результатов численных расчетов,

выполненных по этой модели, с результатами расчетов по другим моделям (WAM и WATCH III), модель SWAN не уступает по качеству расчетов и на глубокой воде в открытом море [Gusdal et al., 2010]. Эту модель уже использовали для моделирования волнения в Баренцевом море и Атлантическом океане, оценки качества моделирования высоты волн присутствуют в работах [Справочные..., 2003, Gusdal et al., 2010].

В модели SWAN могут быть реализованы следующие процессы, связанные с распространением волн: распространение волн в пространстве; рефракция и дифракция волн; генерация ветром; диссипация из-за «забурунивания» (whitcapping); диссипация из-за обрушения волн, вызванного изменением глубины; диссипация при трении о дно; нелинейное взаимодействие волн как в глубоком (quadruplets), так и в мелком море (triads) [SWAN..., 2007]. Модель позволяет рассчитывать следующие параметры волн: высоту значительных волн (соответствует 13%-ной обеспеченности), направление, период и длину волн, высоту зыби, перенос волновой энергии, плотность спектральной энергии и др. Авторы уделяли особое внимание высоте значительных волн (включающих и ветровые волны, и зыбь) и отдельно высоте зыби. Выходная информация из модели организована для четырех точек, расположенных последовательно от Северной Атлантики до Белого моря (рис. 1). Дискретность вывода данных 30 мин. Модель SWAN спектральная, в результате получаемые на выходе параметры волн в той или иной степени представляют собой итог интегрирования направленного частотного спектра, поэтому в работе также проанализированы рассчитанные спектры энергии волн.

В качестве входных полей ветра для диагностических расчетов использованы данные реанализа высокого разрешения NCEP CFSR (Climate Forecast System Reanalysis) (1979–2010) [CISL..., 2015]. Этот реанализ выбран по той причине, что он обладает высоким пространственным ($\sim 0,3^\circ$) и временным разрешением (1 ч), а сравнение данных о скорости и направлении ветра реанализов CFSR, MErra, JRA, Era-Interim с данными метеостанций в Арктическом бассейне показало, что реанализ CFSR имеет минимальную ошибку и хорошую корреляцию с данными наблюдений [Lindsay et al., 2014].

Для оценки качества волновой модели SWAN использованы данные спутниковой альтиметрии, распространяемые Центром данных спутниковой альтиметрии (Франция, Тулуза) [Aviso..., 2015]. С этого ресурса были загружены данные о высоте значительных волн на регулярной сетке с шагом 1° и с временной дискретностью 24 ч. Этот продукт получается путем осреднения по времени и пространству данных с разных спутников. Также существует возможность использовать данные альтиметрии вдоль треков пролета спутников (без осреднения), однако эти данные отличаются нерегулярностью в

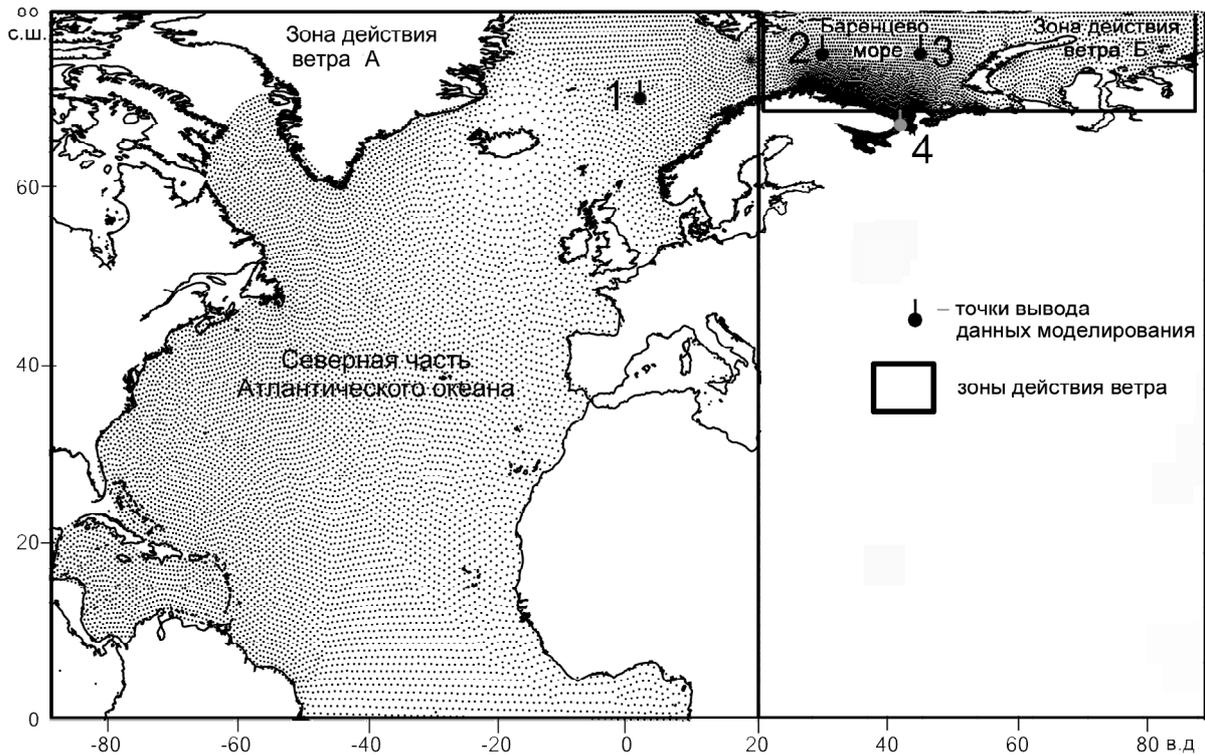


Рис. 1. Расчетная сетка. Точки вывода данных модели (с.ш./в.д.): 1 – 2.0/70.0; 2 – 30.0/75.0; 3 – 45.0/75.0; 4 – 42.0/67.0

пространстве и времени и малопригодны для сравнительного анализа в конкретной точке. Качество данных альтиметрии для арктического региона невысокое [Janssen et al., 2009], однако для нашей задачи было необходимо только качественное сравнение, чтобы показать, что модель правильно воспроизводит фазу наступления шторма и схожие значения высоты волн.

Привлекались также данные волнового реанализа NOAA с пространственным разрешением 1,25° на 1°, основанного на модели WaveWatch 3 и данных о ветре из реанализа CFSR с разрешением 0,5° [NOAA..., 2015; Tolman, 2002]. Использованы ряды высоты значительных волн с дискретностью во времени 3 ч.

При моделировании ветрового волнения использована оригинальная нерегулярная вычислительная сетка. Ее шаг в Атлантическом океане составляет 1°, в Баренцевом – 0,5° и в Белом море – 0,2°. Общее число узлов 15 000 (рис. 1).

Для оценки влияния зыби, генерируемой непосредственно в Северной Атлантике, проведено три численных эксперимента с искусственным отключением поля ветра над акваториями Белого и Баренцева морей. В первом эксперименте ветер задавали в зоне А на акватории всей Северной Атлантики до 20° в.д. (рис. 1). Таким образом, на акватории Белого и Баренцева морей локальный ветер отсутствовал и все наблюдаемое здесь волнение могло приходиться только из Северной Атлантики.

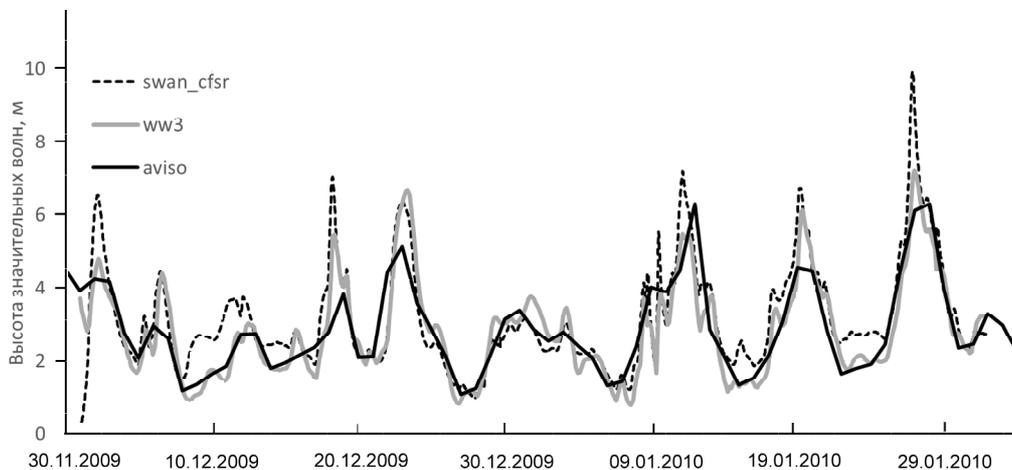


Рис. 2. Высота значительных волн с 01.12.2009 по 31.01.2010 в точке с координатами 74° с.ш., 34° в.д. по спутниковым данным (aviso), по результатам модели WaveWatch3 (ww3) и по модели SWAN (swan_cfsr)

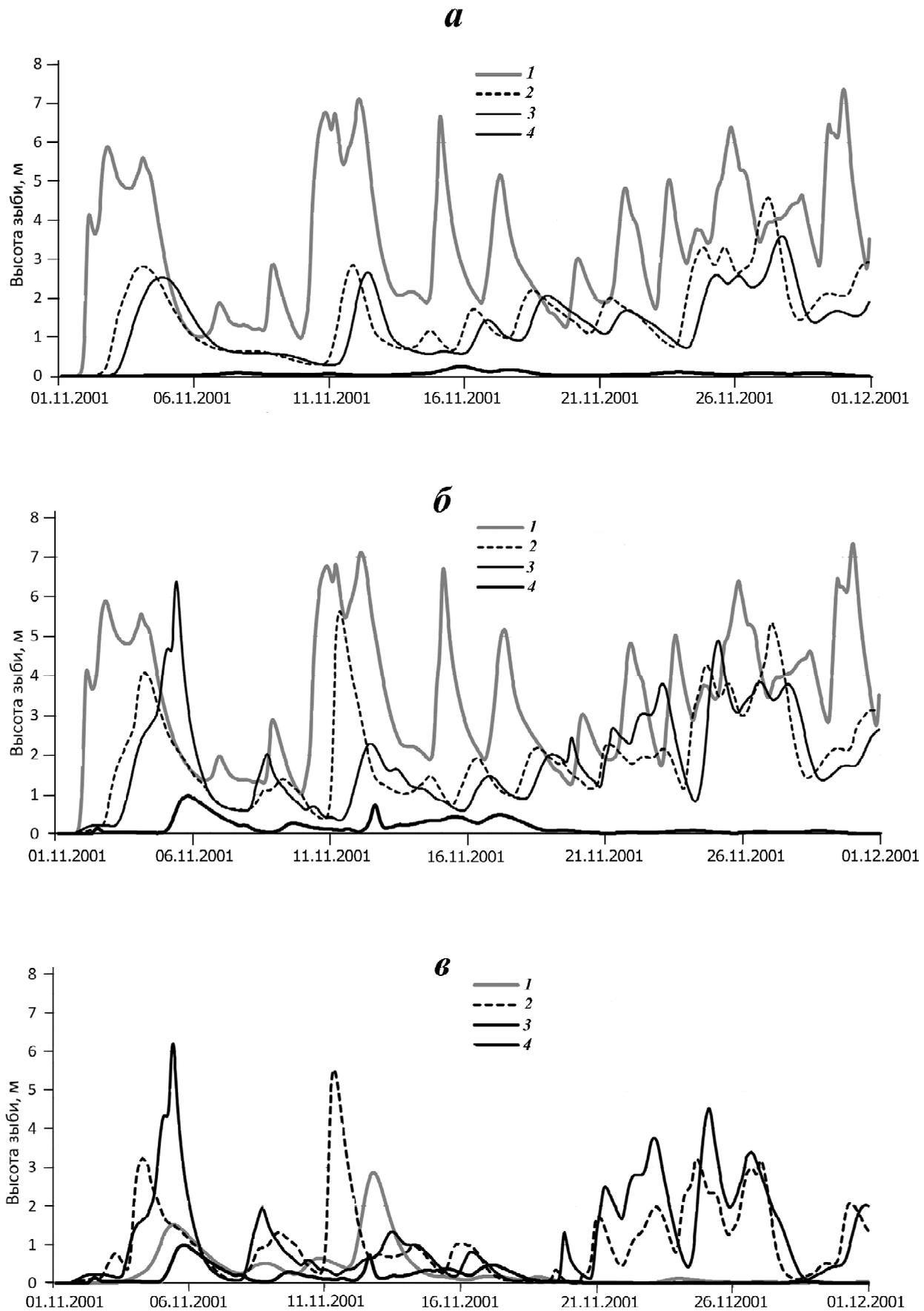


Рис. 3. Результат моделирования высоты волн зыби в ноябре 2001 г.: *a* – ветер задавали в зоне А, *б* – ветер задавали в зонах А и Б, *в* – ветер задавали только в зоне Б; 1 – Северная Атлантика; 2, 3 – Баренцево море; 4 – Белое море

Во втором эксперименте ветер задавался на всей области моделирования в зонах А и Б (зона Б охватывает Баренцево море).

В третьем эксперименте ветер задавали только в зоне Б от 20° до 75° в.д. Отсюда следует, что волны в Атлантическом океане не формируются, поэтому можно наблюдать генерацию и распространение волн только из Баренцева моря.

Результаты исследований и их обсуждение.

Перед численными экспериментами по оценке влияния зыби было выполнено сравнение высоты значительных волн (волны 13%-ной обеспеченности) по результатам выполненной нами реализации с данными спутниковой альтиметрии и моделью NOAA WaveWatch 3 (рис. 2). Спутниковые данные о высоте волн – практически единственный источник данных для Баренцева моря, чтобы оценить качество волновых моделей, поскольку прямые инструментальные наблюдения за волнением в открытом море выполняются редко и недоступны для научной работы, так как они являются коммерческими. При сравнении со спутниковыми данными обе модели показывают высокую корреляцию, однако завышают высоту волн на 2–3 м. Это можно объяснить использованием осредненных спутниковых данных, которые представляют сглаженное поле волнения. Результаты, полученные по обоим моделям, различаются мало, что связано с использованием в обоих случаях данных реанализа CFSR. В то же время использование разных волновых моделей и разной вычислительной сетки предполагает некоторое расхождение. Из-за недостаточной длины ряда сравнение не позволяет получить количественную оценку точности моделей и приводится с целью показать на качественном уровне, что выполняемая нами реализация воспроизводит схожую со спутниковой высоту волн и согласуется с резуль-

татами волнового анализа NOAA, оценка качества которого приводится в работе [Tolman, 2002].

На рис. 3 представлена высота волн зыби для трех экспериментов при включении поля ветра в разных зонах исследуемого района для разных точек по результатам моделирования. Зыбь в районе точки 1 либо формируется в этом районе, либо приходит из других частей Северной Атлантики. Зыбь в точки 2 и 3, находящиеся в Баренцевом море, при отсутствии ветра в зоне Б приходит только из Северной Атлантики. При наличии ветра в зонах А и Б высота зыби в районе этих точек представляет собой сумму высот зыби, приходящей из Северной Атлантики, и зыби, формируемой непосредственно в этом районе. Во всех экспериментах ветер над Белым морем не задавали, поэтому зыбь в горло Белого моря (точка 4) могла приходить только со стороны Баренцева моря.

Рассмотрим сначала случай, когда ветер задавали только в Северной Атлантике (зона А на рис. 1), и соответствующие результаты на рис. 3,а. За период моделирования в точке 1 наблюдалось несколько случаев, когда высота зыби превышала 5–6 м. Так как ветер в зоне Б отсутствовал, то в точки 2, 3, 4 зыбь могла прийти только из Северной Атлантики. Как видно на рис. 3,а, высота зыби в точках 2 и 3 может достигать 3–4 м и приблизительно в 2 раза меньше, чем в точке 1. Также можно наблюдать сдвиг по фазе колебаний, что связано со скоростью распространения зыби и расстоянием между точками. В горле Белого моря (точка 4) максимальная высота зыби не превышает 0,25 м, что позволяет утверждать, что волны из Северной Атлантики влияют на этот район незначительно.

В том случае, когда ветер задавали в зонах А и Б (рис. 3,б), в точках 2, 3 и 4 высота зыби в нескольких случаях существенно возросла. Это связано

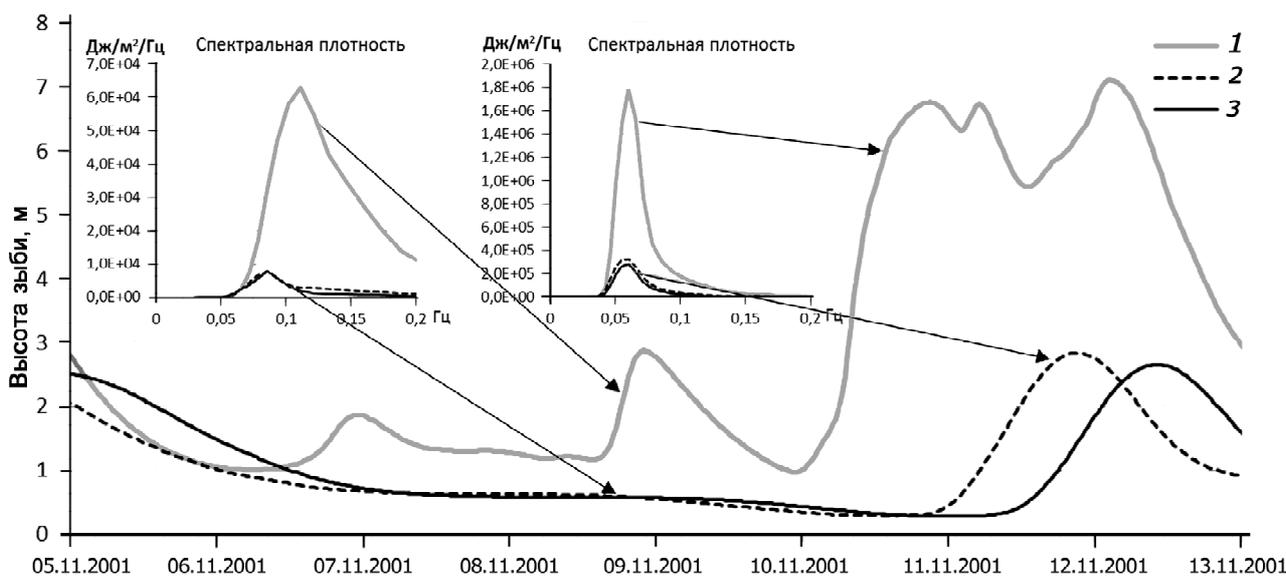


Рис. 4. Высота волн зыби и спектральная плотность для точек 1, 2, 3 на пике шторма 11–12.11.2001 и для 08.11.2001 Стрелки указывают момент времени и высоту зыби, которым соответствует график спектральной плотности; 1 – Северная Атлантика; 2, 3 – Баренцево море

с совокупным действием волн из Северной Атлантики и генерацией зыби непосредственно в Баренцевом море. В ряде случаев высота зыби в точках 2 и 3 составляет 5–6 м и сопоставима с высотой в точке 1. В горле Белого моря (точка 4) максимальная высота зыби составляла до 1 м, следовательно, волны, генерируемые в Баренцевом море, распространяются до горла Белого моря.

На рис. 3,б представлен вариант, когда ветер задавали только в зоне Б – на акватории Баренцева моря. Отметим, что высота зыби в точке 1 не превышает 3 м, а в некоторых случаях отсутствует. Следовательно, волны из Баренцева моря могут распространяться в Северную Атлантику, однако направление волн обусловлено локальными ветровыми условиями.

Характеристики зыби меняются по мере распространения из района шторма. Например, плотность энергии волн уменьшается за счет геометрического расхождения. В связи с тем, что диссипативные процессы (разрушение волн, сопротивление ветра, турбулентное трение) влияют на короткие волны сильнее, чем на длинные, форма спектра меняется, и его пик смещается в сторону низких частот. Этот процесс показан на рис. 4, где приведены графики спектральной плотности для точек 1, 2, 3 на пике шторма 11–12 ноября (для каждой точки время прихода максимальной зыби отличается) и в относительно спокойный день (8 ноября). Во время шторма 11 ноября высота зыби в точке 1 превышала 6 м, пик энергии спектра приходится на частоту 0,06 Гц, что соответствует периоду 16,5 с, тогда как в точках 2 и 3 в Баренцевом море энергия спектра уже на порядок меньше, высота зыби не более 3 м, а пиковый период смещается к 18 с. Энергия спектра 8 ноября на 2 порядка меньше, чем во время шторма, и спектр для точки 1 более широкий и включает в себя периоды от 5 до 15 с. Пиковый период для точ-

ки 1 составляет 9 с, а для точек 2 и 3 – 12 с. Смещение пика спектра в низкие частоты свидетельствует о том, что короткие волны с периодом <10 с практически не приходят из Северной Атлантики в Баренцево море. Согласно работе [Ponce de Leyn, Guedes Soares, 2012] пиковый период в Баренцевом море для ноября-декабря 1991 г. составлял в среднем 14–15 с, а во время сильных штормов – 18–20 с, что полностью согласуется с нашими расчетами.

Выводы:

– в результате численных экспериментов выявлено, что высота зыби, приходящей из Северной Атлантики в Баренцево море, может достигать 5 м. Для акватории Белого моря влияние зыби из Северной Атлантики незначительно (0,2 м). При генерации волн непосредственно в Баренцевом море зыбь высотой до 1 м приходит в Белое море. Этот результат важен прежде всего для моделирования волнения в Белом и Баренцевом морях, поскольку позволяет объективно выбирать внешние границы области, т.е. для корректного воспроизведения волн в Белом море достаточно учитывать только акваторию Баренцева моря;

– сопоставление результатов нашего моделирования с данными спутниковой альтиметрии и моделью WaveWatch 3 показало, что в целом обе модели воспроизводят близкую к реальности высоту волн. По сравнению со спутниковыми данными модели завышают высоту волн на 2–3 м, но это можно объяснить осреднением спутниковых данных, в которых поле волнения сглажено;

– показано, что во время штормов с высотой волн >6–7 м из Северной Атлантики распространяется зыбь с периодом 15–16 с, а к центру Баренцева моря пиковый период смещается к 18 с, т.е. период зыби закономерно увеличивается при удалении от места генерации и модель работает корректно.

Благодарности. Разработка методики исследования параметров волнения выполнена В.С. Архипкиным и К.П. Колтерманном за счет гранта РФФ (проект № 14-37-00038). Расчеты параметров ветрового волнения в Белом и Баренцевом море выполнены С.А. Мысленковым за счет гранта РФФИ (проект № 14-05-91769).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дианский Н.А., Фомин В.В., Кабатченко И.М. и др. Воспроизведение циркуляции Карского и Печорского морей с помощью системы оперативного диагноза и прогноза морской динамики // Арктика: экология и экономика. 2014. № 1 (13). С. 57–73.

Дымов В.И., Пасечник Т.А., Лавренов И.В. и др. Сопоставление результатов расчетов по современным моделям ветрового волнения с данными натурных измерений // Метеорология и гидрология. 2004. № 7. С. 87–94.

Зеленько А.А., Струков Б.С., Реснянский Ю.Д., Мартынов С.Л. Система прогнозирования ветрового волнения в мировом океане и морях России // Тр. Гос. океанографического ин-та. 2014. Т. 215. С. 90–101.

Кабатченко И.М., Матушевский Г.В., Резников М.В., Заславский М.М. Моделирование ветра и волн при вторичных цик-

лонах на Черном море // Метеорология и гидрология. 2001. № 5. С. 61–71.

Режим, диагноз и прогноз ветрового волнения в океанах и морях: Науч.-метод. пособие / Под ред. Е.С. Нестерова. М.: Исслед. группа «Социальные науки», 2013. 295 с.

Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2003. 213 с.

Aviso Satellite data. URL: <http://www.avisooceanobs.com> (дата обращения: 12.03.2015).

CISL Research Data Archive. URL: <http://rda.ucar.edu> (дата обращения: 12.01.2015).

Gusdal Y., Carrasco A., Furevik B.R., et al. Validation of the operational wave model WAM and SWAN // Oceanography. 2009. Rep. Vol. 18. 2010. 28 p.

Janssen P., Abdalla S., Hersbsch H., Bidlot J.-R. Error estimation of buoy, satellite, and model wave height data // *J. Atmosphere and Oceanic Technology*. 2006. Vol. 24, iss. 9, pp. 1665–1677.

Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // *J. Climate*. 2014. Vol. 27, pp. 2588–2606.

NOAA Wave Watch 3. URL: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves> (дата обращения: 18.04.2015).

Ponce de Leyn S., Guedes Soares C. Distribution of winter wave spectral peaks in the seas around Norway // *Ocean Engineering*. 2012. Vol. 50. P. 63.

Reistad M., Breivik O., Haakenstad H. et al. A high-resolution hindcast of wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea // *J. Geophys. Res.* 2011. Vol. 116. C05019.

SWAN Technical Documentation, SWAN Cycle III ver. 40.51A // University of Technology, Delft, Netherlands, 2007. Vol. 98.

Tolman H.L. Testing of WAVEWATCH III Version 2.22 in NCEP's NWW3 Ocean Wave Model Suite // NOAA/NWS/NCEP/OMB Techn. Note. 2002. Vol. 214. 99 p.

Поступила в редакцию 09.06.2015
Принята к публикации 11.09.2015

S.A. Myslenkov¹, V.S. Arkhipkin², K.P. Koltermann³

ESTIMATION OF THE HEIGHT OF SWELL IN THE WHITE AND BARENTS SEAS

The SWAN spectral wave model was realized for the White and Barents seas, as well as for the northern part of the Atlantic. A new irregular grid was used for calculation with 1° interval for the Atlantic, 0.5° for the Barents Sea and 0.2° for the White Sea. The input wind data were the NCEP CFSR reanalysis data of high resolution (about 0.3°). The results of numerical experiments made it possible to estimate the influence of swell originating from the Northern Atlantic on the White and Barents seas, thus contributing to the solution of the problem of open boundaries while simulating wave processes in the seas. In the process of three numerical experiments the wind field over the White and Barents seas was «switched off» in order to isolate the influence of swell originating from the Northern Atlantic. The impact doesn't exceed 0.25 m within the White Sea, while it is above 5 m for the Barents Sea. The height of swell coming from the Barents Sea into the White Sea is about 1 m. The results provide for the estimation of possible errors in the process of wave simulation for the White and Barents seas under the situation of open boundaries and in the absence of waves coming from the Northern Atlantic.

The accuracy of simulation was verified by comparing the results with remote sensing data about wave heights. Correlation of results with the data of satellite altimetry and the WaveWatch3 model showed that in general both models simulate near-real wave heights. The simulated wave height values are 2–3 m above the satellite data, mainly because the averaged remote sensing data represent a largely smoothed wave field. During storms with the waves higher than 6–7 m the swell from the Northern Atlantic has the period of 15–16 s and to the central part of the Barents Sea the peak period changes for 18 s.

Keywords: Barents Sea, White Sea, simulation of waves, swell, SWAN model, swell propagation.

Acknowledgement. The procedure of wave parameters study was elaborated by V.S. Arkhipkin and K.P. Koltermann under financial support of the Russian Science Foundation (project 14-37-00038). Parameters of wind waves in White and Barents seas were calculated by S.A. Myslenkov under financial support of the RFBR (grant No 14-05-91769).

REFERENCES

Aviso Satellite data. URL: <http://www.aviso.oceanobs.com> (Accessed: 12.03.2015).

CISL Research Data Archive. URL: <http://rda.ucar.edu> (Accessed: 12.01.2015).

Dianskij N.A., Fomin V.V., Kabatchenko I.M. i dr. Vosproizvedenie cirkuljicii Karskogo i Pechorskogo morej s pomoshh'ju sistemy operativnogo diagnoza i prognoza morskoy dinamiki [Simulation of circulation of the Kara and Pechora Seas through the system of express diagnosis and prognosis of marine dynamics], *Arktika: jekologija i jekonomika*. 2014, no 1 (13), pp. 57–73 (in Russian).

Dymov V.I., Pasechnik T.A., Lavrenov I.V. i dr. Sopostavlenie rezul'tatov raschetov po sovremennym modeljam vetrovogo volnenija s dannymi naturnyh izmerenij [Comparison of modern

wind-wave model results with field measurements], *Meteorologija i gidrologija*. 2004, no 7, pp. 87–94 (in Russian).

Gusdal Y., Carrasco A., Furevik B.R. et al. Validation of the operational wave model WAM and SWAN // *Oceanography*. 2009. Rep. Vol. 18. 2010. 28 p.

Janssen P., Abdalla S., Hersbsch H., Bidlot J.-R. Error estimation of buoy, satellite, and model wave height data // *J. Atmosphere and Oceanic Technology*. 2006. Vol. 24, iss. 9, pp. 1665–1677.

Kabatchenko I.M., Matushevskij G.V., Reznikov M.V., Zaslavskij M.M. Modelirovanie vetra i voln pri vtorichnyh termicheskikh ciklonah na Chernom more [Numerical modeling of wind and waves in a secondary cyclone at the Black sea], *Meteorologija i gidrologija*, 2001, no 5, pp. 61–71 (in Russian).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Senior Research Scientist; *e-mail*: stasocean@gmail.com

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Oceanology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; *e-mail*: victor.arkhipkin@gmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Laboratory of Complex Environmental-Geographic Investigation of the Arctic, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail*: peter.koltermann@gmail.com

Lindsay R., Wensnahan M., Schweiger A., Zhang J. Evaluation of seven different atmospheric reanalysis products in the Arctic // *J. Climate*. 2014. Vol. 27, pp. 2588–2606.

NOAA Wave Watch 3. URL: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves> (Accessed: 18.04.2015).

Ponce de Leyn S., Guedes Soares C. Distribution of winter wave spectral peaks in the seas around Norway // *Ocean Engineering*. 2012. Vol. 50. p. 63.

Reistad M., Breivik O., Haakenstad H. et al. A high-resolution hindcast of wind and waves for the North Sea, the Norwegian Sea and the Barents Sea // *J. Geophys. Res.* 2011. Vol. 116. C05019.

Rezhim, diagnoz i prognoz vetrovogo volnenija v okeanah i morjah : nauch.-metod. Posobie. Pod red. E.S. Nesterova [Climate, analysis and forecast of wind waves in the oceans and seas: scientific method. allowance. Ed. E.S. Nesterov], M.: Issled. gruppa «Social'nye nauki», 2013. 295 p. (in Russian).

Spravocnyye dannye po rezhimu vetra i volnenija Barenceva, Ohotskogo i Kaspijskogo morej [Reference data of wind and waves climate of the Barents, Okhotsk Sea and Caspian Sea], SPb.: Rossijskij morskij registr sudohodstva, 2003, 213 p. (in Russian).

SWAN Technical Documentation, SWAN Cycle III ver. 40.51A // University of Technology, Delft, Netherlands, 2007. Vol. 98.

Tolman H.L. Testing of WAVEWATCH III Version 2.22 in NCEP's NWW3 Ocean Wave Model Suite // NOAA/NWS/NCEP/OMB Techn. Note. 2002. Vol. 214. 99 p.

Zelen'ko A.A., Strukov B.S., Resnjanskij Ju.D., Martynov S.L. Sistema prognozirovanija vetrovogo volnenija v Mirovom okeane i morjah Rossii [The forecast system of wind waves in the oceans and seas of Russia], Tr. Gos. okeanograficheskogo in-ta. 2014. Vol. 215, pp. 90–101 (in Russian).

Received 09.06.2015

Accepted 11.09.2015

УДК 551.435.13.627.81

Р.С. Чалов¹, Чжао Еань², Т.И. Волкова³, Лю Шугуан⁴, С.Р. Чалов⁵, А.С. Завадский⁶

ВЛИЯНИЕ ГИДРОУЗЛОВ НА РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В НИЖНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕК ХУАНХЭ И ЯНЦЗЫ

Рассмотрены специфические особенности реформирования русел крупнейших рек Китая ниже введенных в эксплуатацию в конце XX – начале XXI в. гидроузлов (Три ущелья и Гэчжоуба на Янцзы, Саньмынься и Сяоланди на Хуанхэ). Они определяются отличающимся от российских рек режимом водохранилищ (сработкой в паводочный период летом и наполнением в зимнюю межень), огромным стоком наносов и неполным перехватом водохранилищами влекомых наносов, существованием противопаводковых дамб практически на всем протяжении участков рек ниже гидроузлов (вплоть до устьев рек), а также выполнением других крупномасштабных регуляционных мероприятий, связанных с предотвращением наводнений. Показаны отличия скорости распространения вниз по течению, темпа и форм проявления врезания (глубинной эрозии), в том числе отсутствие волны аккумуляции наносов перед фронтом размыва русла, размыв берегов и как следствие расширение русла, последнее особенно проявлено на р. Хуанхэ. Этому способствует сужение по длине реки (к устью) пояса руслоформирования противопаводковыми дамбами и спрямление излучин (на Янцзы). Отмечены положительные последствия врезания, которое сменило направленную аккумуляцию наносов до создания водохранилищ, что сказалось в снижении угрозы прорыва дамб и затопления освоенных территорий.

Ключевые слова: русловые процессы, нижний бьеф, водохранилище, сток наносов, врезание, размывы берегов.

Введение. Создание водохранилищ на реках вносит существенные изменения в русловые процессы ниже по течению вследствие регулирования стока воды (а иногда и его уменьшение из-за потерь стока на испарение, водозабора в ирригационные системы или межбассейновых перераспределений) и перехвата стока наносов. Поэтому русла рек ниже водохранилищ представляют собой объекты многочисленных исследований как фундаментального, так и прикладного характера [Маккаев, 1957; Лапшенков, 1979; Векслер, Доненберг, 1983; Babiński, 2002; Беркович, 2012]. На их основе разработаны методы расчета и прогноза деформаций русел в нижних бьефах гидроузлов и их учета при использовании водных ресурсов, воднотранспортной эксплуатации рек и т.д. Обзор и обобщение сведений о русловых процессах на реках в разных частях света выполнен З. Бабиньским [2002], который детально изучил их на р. Висла ниже водохранилища Влоцлавек [Babiński, 1997]. Региональные оценки, выполненные для рек Азии, Африки и Америки [Kondolf, 1997; Graf, 2006], позволили получить концептуальные схемы развития эрозии и врезания рек в условиях дефицита наносов (*hungry water*) [Schmidt, Wilcock, 2008]. Большое внимание исследованиям русловых процессов на реках ниже водохранилищ

уделяется в Китае, где это связано в первую очередь с предотвращением наводнений в дождливые летне-осенние периоды вследствие систематической направленной аккумуляции в нижнем течении рек.

Сведения о специфике русловых процессов в условиях направленной аккумуляции наносов на реках Китая хорошо освещены в основном в англоязычной (китайские авторы) и российской литературе. Результаты исследований трансформации русел рек после создания каскада водохранилищ на великих китайских реках для российских специалистов из-за языкового барьера практически неизвестны; имеются лишь краткие резюмирующие данные, опубликованные в статьях российских и китайских ученых в межвузовских сборниках трудов по эрозионным и русловым процессам [Завадский и др., 2010; Лю Шугуан и др., 2011] и упоминаемые в монографии К.М. Берковича [2012].

Цель исследований – проанализировать русловые процессы и изменения характеристик русел после ввода в эксплуатацию в конце 1990-х – начале 2000-х гг. гидроузлов Три Ущелья на р. Янцзы, Саньмынься и Сяоланди на р. Хуанхэ (рис. 1). При этом учитываются гидролого-географические особенности регулирования стока китайских рек, которые связаны как с водным режимом (летне-осенний па-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail:* rschalov@mail.ru

² Научно-исследовательский институт водного хозяйства р. Хуанхэ, Китай, г. Чжэнчжоу; профессор; *e-mail:* zys081@126.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккаеве, аспирантка; *e-mail:* volkova_tatiana@inbox.ru

⁴ Тонкийский университет, Китай, г. Шанхай, профессор, докт. н.; *e-mail:* liusgliu@tongji.edu.cn

⁵ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* hydroserg@mail.ru

⁶ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккаеве, вед. науч. с., канд. геогр. н.; *e-mail:* az200611@ Rambler.ru

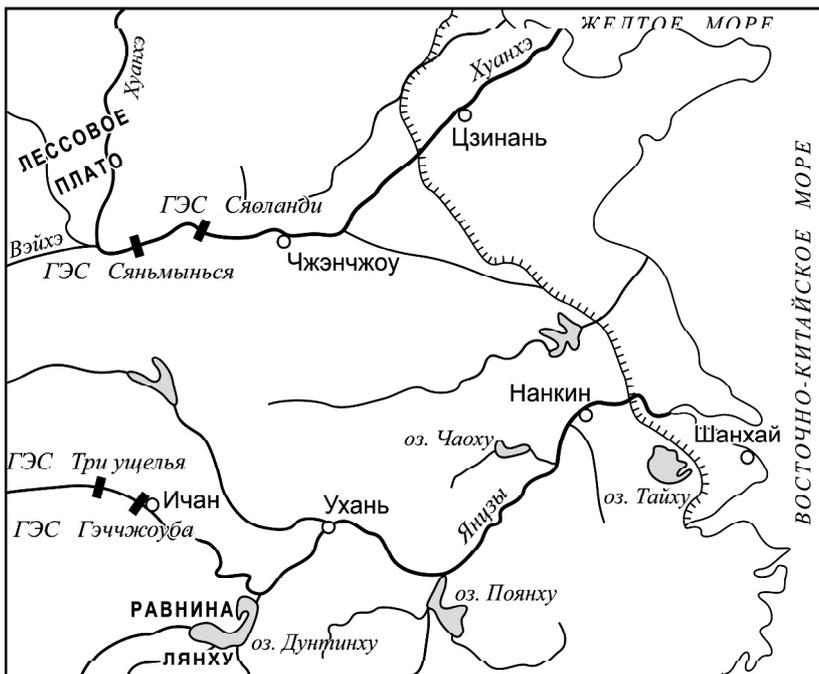


Рис. 1. Схема расположения гидроузлов в нижнем течении рек Хуанхэ и Янцзы

водочный период), так и с уникальным по объему стоком наносов, определяющим одну из основных задач создания водохранилищ – борьбу с наносами. Интенсивная направленная аккумуляция наносов (до 8 см/год) приводит к тому, что русла рек Хуанхэ и Янцзы оказались «подвешенными» над прилегающей территорией, например, уровень воды в межень превышает ее на Хуанхэ на 8–13 м [Serries of picture..., 1991; Чалов и др., 2000; Li Guoying, 2003]. В этих условиях при естественном состоянии реки постоянно существует угроза катастрофических наводнений из-за перелива воды через противопаводковые дамбы. Строительство их для предотвращения наводнений началось еще в III в. до н. э. во времена династии Западная Хань. В XX в. стали возводить паводкораспределительные гидроузлы и создавать паводкоаккумулирующие районы.

Из-за повышающегося уровня воды вследствие систематического отложения в русле наносов требуется постоянно наращивать высоту дамб, реконструировать и укреплять их для предотвращения перелива воды через них и их разрушения, а также из-за воздействия потока при блуждании русла.

Материалы и методы исследований. В основу статьи положены результаты детальных исследований, выполненных китайскими специалистами из НИИ водного хозяйства Хуанхэ (г. Чжэнчжоу) и Янцзы (г. Ухань), а также результаты рекогносцировочных обследований и руслового анализа, проведенного совместно с российскими учеными. Определение скорости направленных русловых деформаций осуществлялось по изменению значений уровня воды, смещению кривых расхода воды на гидрологических постах, сопоставлению поперечных профилей русла на разных участках рек и расчету баланса наносов по длине рек.

Результаты исследований и их обсуждение. Регулирование стока воды и наносов – главная причина трансформации русла ниже водохранилищ. На Янцзы перекрытие реки в створе будущей ГЭС Три ущелья (Санься) состоялось в декабре 1997 г.; с 2003 г. ГЭС находится в режиме эксплуатации; в 2010 г. гидроузел вышел на полную мощность. Общий объем водохранилища 39,7 км³, мертвый объем 17,5 км³. Ниже ГЭС (г.п. Ичан, 1990 км от устья) средний годовой объем стока воды составляет 438 км³ при среднегодовом расходе 14 320 м³/с, сток взвешенных наносов в естественных условиях достигал 578 млн т/год (среднегодовая мутность 1,29 кг/м³), сток влекомых наносов – 13,08 млн т/год [Чалов и др., 2000]. Большая часть стока наносов (82–95%) формируется в многоводный период с мая по октябрь, причем 60% приходится на июль–сентябрь.

В 40 км ниже ГЭС Три ущелья находится ГЭС Гэчжоуба, функционирующая с 1981 г. (объем водохранилища 1,6 км³).

За счет регулирования стока максимальный расход воды Янцзы с 1%-ной обеспеченностью снижен до 56 700 м³/с, с 0,1%-ной обеспеченностью – до 71 700 м³/с (при 110 000 м³/с до создания водохранилищ). В период с 1981 по 1989 г. объем отложений наносов в водохранилище Гэчжоуба составил 140 млн т. В результате этого и последовавшей с 1998 г. аккумуляции в водохранилище Три ущелья количество наносов, поступающих в нижние бьефы обоих гидроузлов, в 2003–2006 гг. сократилось на 59%, сток взвешенных наносов уменьшился до 337 млн т/год, сток влекомых наносов – до 5,8 млн т в среднем течении непосредственно ниже ГЭС Гэчжоуба и с 34,3 до 13,9 млн т/год в нижнем течении (г.п. Датун). Таким образом, водохранилища Три ущелья и Гэчжоуба перехватывают более половины (56%) стока влекомых наносов и 41% стока взвешенных наносов (таблица). Это отличает Янцзы от других равнинных рек мира, водохранилища которых полностью аккумулируют поступающие в них влекомые наносы и пропускают в нижние бьефы в среднем такое же количество взвешенных наносов (в % от стока рек в бытовом состоянии), хотя в абсолютном выражении оно несравнимо больше. Очевидно, это связано с особенностями режима водохранилищ – их работой в летний паводочный период. Пропуск многоводных паводков сопровождается восстановлением стокового течения по всей длине водохранилища, что в свою очередь приводит к частичному выносу отложившихся наносов, в том числе влекомых, отличающихся малой крупностью ($d_{50} = 0,15 \div 0,20$ мм), в нижний бьеф [Sou Lisheng, 2004; Xiangyang, 2004].

В среднем течении р. Хуанхэ построен каскад гидроузлов, в нижнем течении (ниже слияния

с р. Вэйхэ) – гидроузлы Саньмынься (1960) и Сяоланди (1999); последний – перед выходом реки на Великую Китайскую равнину. Хуанхэ – крупнейшая в мире река по годовому стоку наносов (1300 тыс. т), который обусловлен очень интенсивной эрозией в пределах пересекаемого рекой Лёссового плато. Среднегодовой объем стока воды составляет 59 км³, суммарный объем обоих водохранилищ – 52,7 км³, полезный объем – 34,6 км³. На р. Хуанхэ, в отличие от водохранилищ на р. Янцзы, сработка водохранилищ летом более глубокая – чаша водохранилища Саньмынься практически полностью опорожняется в многоводный паводочный период и заполняется в зимнюю межень, вследствие чего зимой на Хуанхэ в нижнем течении значения расхода воды ниже гидроузлов снижаются в отдельные годы до нулевой отметки. Пропуск паводковых вод при этом регулируется таким образом, что расход воды в бровках противопаводковых дамб сокращается с 7000 до 2600 м³/с и растягивается во времени. На водохранилище Сяоланди для увеличения пропускной способности русла и снижения заиливания водохранилища создается искусственный паводок. В результате происходит промывка водохранилища, вынос значительной части накопившихся в нем наносов, в том числе влекомых ($d_{cp} = 0,05 \div 0,06$ мм), в нижний бьеф, а затем их транзит во время летнего паво-

дочного периода вниз по течению. В 2002–2003 гг. вследствие таких паводков пропускная способность русла возросла на 200–300 м³/с [Sou Lisheng, 2004].

Создание водохранилищ на Хуанхэ, несмотря на своеобразный режим сработки/наполнения, привело к существенному снижению стока наносов в нижнем течении реки (ниже гидроузла Сяоланди). До регулирования стока он достигал 1800 млн т/год, в 80–90-е гг. XX в. под влиянием гидроузла Саньмынься составил уже 800 млн т/год и к 2012 г., когда сказалось функционирование водохранилища Сяоланди, сократился до 300 млн т, т.е. произошло уменьшение стока наносов в 6 раз. При этом годовой сток влекомых наносов, доля которого в естественных условиях составляла всего 0,32% от общего [Чалов и др. 2000], сократился с 4,8 млн т (г.п. Хуаюанькоу, ближайший к гидроузлу Сяоланди) до 2,32 млн т, в том числе в паводочный сезон – с 3,48 до 1,43 млн т и в межень – с 1,38 до 0,89 млн т, т.е. в 2,4 и 1,5 раза соответственно.

Однако китайские специалисты из НИИ водного хозяйства Хуанхэ (г. Чжэнчжоу) считают, что снижение стока наносов на этой реке – не только следствие создания водохранилищ, хотя это главный фактор. Большое значение придается также крупномасштабным противозерозионным мероприятиям на территории Лёссового плато – основного их по-

Общий размыв русла р. Янцзы ниже гидроузлов Три ущелья и Гэччжоуба

Участки ниже плотины	Расстояние от плотины Гэччжоуба	Длина участка, км	Расчетные данные			Объем размыва русла в 2002–2007 гг. по данным наблюдений, км ³
			общий объем размыва русла, км ³	среднее понижение отметок dna русла, м	срок размыва, годы	
Ичан–Сунчикао	0–75,7	75,7	0,073	1,00	10	0,089
Сунчикао–Тайпинкао	75,7–136,6	60,9	0,143	0,96	10	0,117
Тайпинкао–Оуцикао	136,6–223	86,4	0,384	3,42	30	–
Оуцикао–Чэнлинки	223–393,4	170,4	1,255	5,27	40	0,211
Итого: Ичан–Чэнлинки	0–393,4	393,4	1,855	–	40	0,466
Чэнлинки–Ухань	393,4–623,4	230	1,090	2,50	50	0,094
Итого: Ичан–Ухань	0–623,4	623,4	2,945	–	50	0,511
Ухань–Цзюцзян	623,4–874,4	251	0,296	0,59	70	0,129
Цзюцзян–Датун (г. Нанкин)	874,4–1123,4	249	0,179	0,36	80	–
Итого: Ичан–Датун (г. Нанкин)	0–1123,4	1123,4	3,420	–	80	–

ставщика в реку. В частности, расчеты стока взвешенных наносов, выполненные Лю Шугуаном [1998], дали общую его величину за весь период наблюдений (1946–1989), равную 1500 млн т, что на 17% меньше приведенной выше и относящейся к периоду до 1980 г. (Иногда 30% называют как показатель снижения поступления продуктов смыва почв благодаря массовому террасированию склонов.)

Русловые деформации в нижнем течении Хуанхэ и Янцзы во многом связаны со снижением стока наносов (W) и, соответственно, с изменением его соотношения с транспортирующей способностью потока ($W_{тр}$), в естественных условиях в нижнем течении обеих рек $W \gg W_{тр}$, в настоящее время $W < W_{тр}$. Вследствие этого процессы направленной аккумуляции наносов и систематического повышения отметок дна сменились процессами врезания русел и понижением отметок дна русла, что привело к снижению риска наводнений и размыва противопаводковых дамб из-за перелива воды через них во время летне-осенних паводков. Этому способствовало снижение внутригодовой неравномерности стока, что помимо снижения уровней воды обеспечило равномерное распределение стока воды в течение года (кроме времени наполнения водохранилища Саньмынься в зимнюю межень).

На Янцзы по расчетным данным протяженность участка общего размыва достигнет 1123 км, и через 80 лет после ввода в эксплуатацию гидроузла объем размыва русла составит 3,42 км³. Величина врезания и скорость распространения эрозии по длине реки зависят от геологического строения дна и берегов реки. На участке от г.п. Ичан до выхода реки из горной области на равнину Лянху (г. Сунчикао) при галечном составе аллювия величина эрозии сравнительно низкая, так как здесь формируется отмостка. На г.п. Ичан крупность донных отложений d_{50} увеличилась от 0,17 мм в 2001 г. до 12 мм в 2007 г., поэтому русло здесь быстро стабилизируется. Ниже по течению, где русло становится песчаным, врезание развивается интенсивно (до нескольких десятков сантиметров в год), распространяясь в течение десятилетия на большое расстояние (таблица).

По проектным расчетам величины размыва и понижения отметок дна русла должны увеличиваться вплоть до 393,4 км от гидроузла Гэчжоуба, где они достигнут максимальных значений 1,255 км³ и 5,27 м соответственно. Далее вниз по течению они снижаются до г. Нанкин (г.п. Датун), где размыв русла прекращается. Это связано, во-первых, с последовательным насыщением потока продуктами размыва и, во-вторых, с распространением сюда приливных колебаний уровня моря.

По данным наблюдений за 2002–2007 гг., т.е. за 5 лет, общий размыв русла в нижнем бьефе распространился на расстояние 874,4 км и составил 0,640 км³ грунта, вынесенного за пределы участка вниз по течению.

Учитывая планируемое строительство ряда крупных ГЭС выше гидроузла Три ущелья, задерживающего большую часть стока наносов, которые

поступают в водохранилище, и уменьшение стока наносов за счет противоэрозионных мероприятий в бассейне, срок размыва русла в нижнем бьефе ГЭС Три ущелья будет очень продолжительным (до 80 лет) и объем размыва русла достигнет 3,5 км³. При этом на верхнем участке Ичан–Сунчикао он уже несколько превысил проектный, хотя полученное расхождение находится в пределах точности расчетов и сопоставления натурных данных. Если принять за дату начала размыва время перекрытия Янцзы в створе плотины Три ущелья, то за 10 лет (до 2007 г.) трансгрессивное распространение эрозии происходило со скоростью свыше 90 км/год.

Характерно, что на Янцзы не проявляется волна аккумуляции наносов, выносимых из зоны размыва русла, столь типичная для российских и польских рек [Транспортное..., 1972; Дегтярев, 1992; Babiński, 1997; Беркович, 2012]. Очевидно, это связано с очень большим стоком наносов и предельно малой долей в нем влекомых наносов; происходящий частичный перехват наносов водохранилищем не компенсируется размывами в нижнем бьефе, вследствие чего волна аккумуляции наносов ниже зон размыва не наблюдается.

Еще более эффектно проявления процессов размыва русла р. Хуанхэ ниже водохранилищ Саньмынься и Сяоланди, особенно после ввода в эксплуатацию гидроузла Сяоланди, водохранилище которого полностью прервало сток влекомых наносов (при доле в естественных условиях от общего стока наносов 0,32% его абсолютная величина весьма внушительна – 4,86 млн т/год, что в 3,5 раза больше, чем на Оби у Новосибирска, и почти в 7 раз, чем на Северной Двине [Чалов и др., 2000], – реках такого же или даже несколько большего размера). Строительство этого гидроузла началось в 1991 г., и в 2004 г. он уже функционировал, хотя полностью строительные работы завершены в 2009 г. Ниже по течению произошло врезание русла, уровни снизились к 2012 г. на 1,7–2,2 м. Вследствие этого на большом расстоянии от плотины (800 км) прекращены работы по систематическому наращиванию противопаводковых дамб. Вниз по течению понижение уровней при равных расходах (а соответственно, и отметки дна) уменьшается. По сравнению с 1999 г. в 2009 г. оно составило на гидрологических постах Хуаюанькоу (район г. Чжэнчжоу) 1,74 м, Цзяхэтань – 1,85 м, Гоацунь – 1,34 м, Айшань – 0,96 м, Лэкоу – 1,34 м и Лицзинь (34 км от устья) – 1,23 м [Особенности..., 2011]. Активизация размывов в нижней половине нижнего течения реки, очевидно, связана со стеснением реки противопаводковыми дамбами, вытянутыми по левому и правому берегам, – в районе г.п. Хуаюанькоу пояс блуждания русла между ними составляет 4,5–10 км, в низовьях (около 300 км) – 0,6–1,8 км.

Размыв русла, понижение отметок дна и уровней практически при любом расходе воды (рис. 2) был зафиксирован на г.п. Хуаюанькоу, ближайшем к гидроузлу Сяоланди, уже в 1996–1999 гг., а в 2002–2003 гг. наблюдался в низовьях реки на г.п. Лицзинь

[Особенности..., 2011]. Таким образом, скорость распространения глубинной эрозии на р. Хуанхэ составляет около 150 км/год, что больше, чем на Янцзы, и так же, как на последней, не сопровождается образованием волны аккумуляции наносов ниже фронта размыва.

На рис. 3 приведены графики изменения уровня воды при расходе 3000 м³/с (близкий к среднегодовому) в нижнем течении Хуанхэ начиная с 1955 г., т.е. за 10 лет до строительства гидроузла Саньмынься. В 1960 г. с вводом его в эксплуатацию направленная аккумуляция наносов была прервана, и начался размыв русла, продолжавшийся вблизи плотины (г.п. Хуаюанькоу) всего 4 года (до 1963 г.). Уровни воды (и, соответственно, отметки дна) при этом понизились более чем на 1 м. Но затем ниже гидроузла вновь началась аккумуляция наносов, которая привела к повышению уровней на 2,5 м к 1999 г., когда стало сказываться влияние уже двух водохранилищ – Саньмынься и Сяоланди. Однако вниз по течению волна врезания продолжала распространяться вплоть до 1965–1967 гг., достигнув г.п. Лэкау в низовьях.

Прекращение размыва русла в середине 1960-х гг. связано с очень быстрым заилением водохранилища Саньмынься, которое практически перестало существовать уже к концу 1960-х–началу 1970-х гг. Режим наполнения/сработки водохранилища был установлен без учета его возможной заносимости – наполнения в паводочный летне-осенний период, когда на реке сток взвешенных наносов достигает почти 1300 млн т, влекомых – 1,43 млн т, и сработки водохранилища в зимне-весеннюю межень. Поэтому гидроузел был реконструирован (наполнение его стало проводиться в межень), что привело к некоторому понижению уровней в 1980-е гг. Лишь после создания водохранилища Сяоланди размыв русла в нижнем течении Хуанхэ приобрел направленный характер, хотя понижение уровней, как и отметок дна, еще не достигло уровня 1950 г.

Все нижнее течение р. Хуанхэ оказалось охваченным размывом с 2003 г., и к 2009 г. объем размыва и выноса наносов в устье составил 13,04 км³ наносов.

Одновременно с размывом дна и понижением его отметок в нижнем течении Хуанхэ отчетливо прослеживается расширение русла из-за активизации размыва берегов (рис. 4), наиболее значительной между г.п. Хуаюанькоу и Цзехэтань. На приплотинном участке гидроузла Сяоланди (до г.п. Хуаюанькоу) оно меньше, очевидно, из-за наибольшего темпа врезания реки. (На российских реках размывы берегов и расширение русел обычно наблюдаются только на приплотинных участках, т.е. там, где дефицит наносов сказывается в наибольшей мере, а также в тех местах, где врезание ограничивается подстилающими русло трудноразмываемыми грунтами [Русловые процессы..., 2001]. В этих условиях поток реализует транспортирующую способность не только вследствие размыва дна, но и берегов.

Сокращение интенсивности врезания Хуанхэ вниз по течению сопровождается активизацией раз-

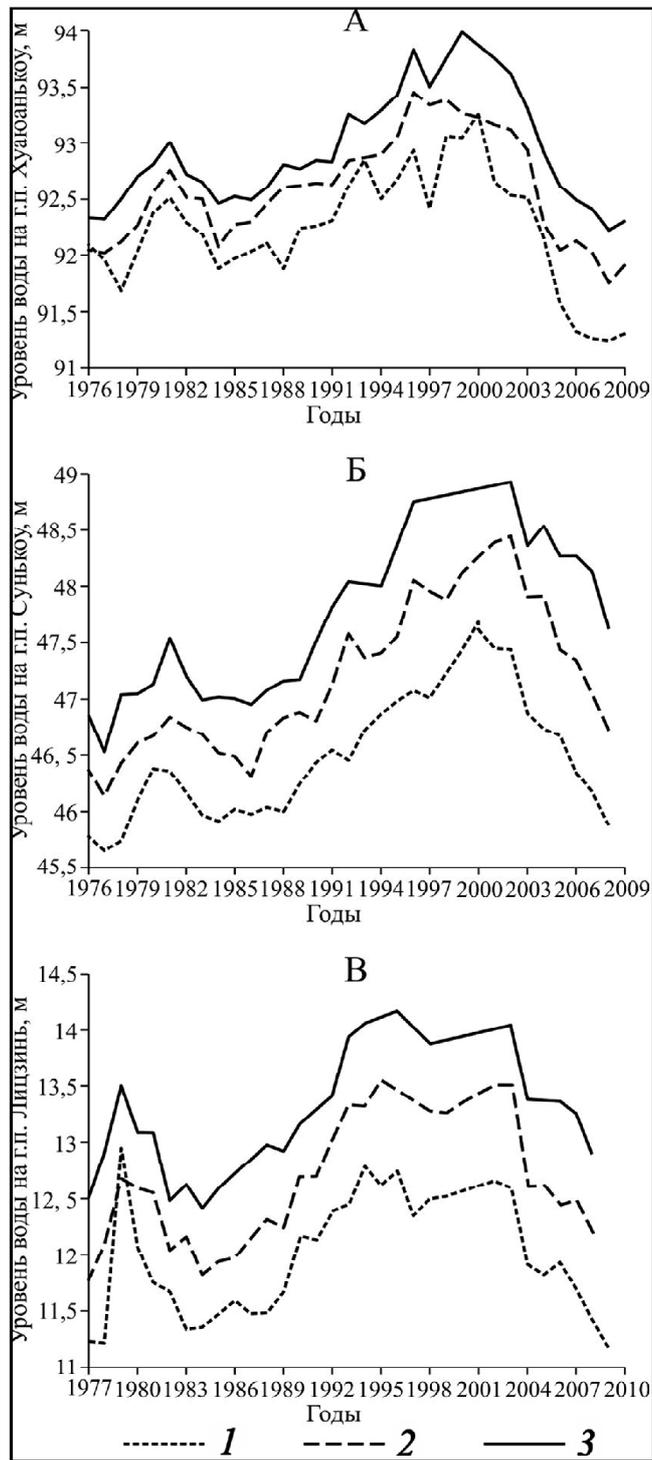


Рис. 2. Изменение уровня воды в нижнем бьефе гидроузла Сяоланди (А – г.п. Хуанькоу, Б – г.п. Сунькоу, В – г.п. Лицзинь) при расходе воды 1000 (1), 2000 (2), 3000 м³/с (3), по [Особенности..., 2011]

мыва берегов. Однако на нижнем участке из-за стеснения русла дамбами, предотвращающими размывы берегов, расширение русла незначительно или вообще не наблюдается.

Расширение русла Хуанхэ – следствие чрезвычайно легкой размываемости грунтов в пространстве между противопаводковыми дамбами на противоположных берегах, где происходит блуждание русла, вместе с тем это фактор увеличения его по-

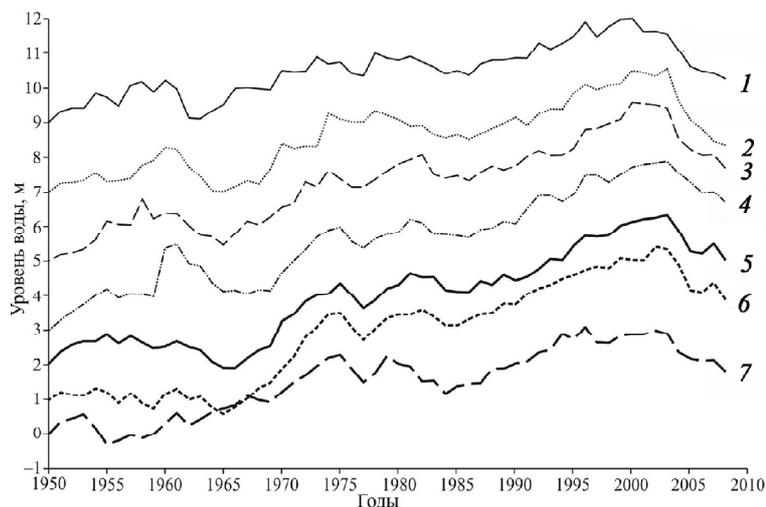


Рис. 3. Изменение уровня воды в нижнем течении р. Хуанхэ за 1950–2010 гг. на гидрологических постах: 1 – Хуаюанькоу, 2 – Цзяхетань, 3 – Гоацунь, 4 – Сунькоу, 5 – Айшань, 6 – Локоу, 7 – Лицинь, по [Особенности..., 2011]

перечного сечения и снижения уровней воды. Иными словами, понижение уровней ниже водохранилищ – результат не только врезания реки (глубинной эрозии), но и расширения русла. Поэтому знак равенства между величинами «посадки» уровней ΔH и понижения отметок дна Δz ставить нельзя. Тем не менее поперечные профили за 10-летний период (1999–2009) свидетельствуют о значительном углублении русла (пример такого профиля приведен на рис. 5).

Совместное появление врезания рек и размывов берегов, в результате чего расширяется русло, приводит к общему увеличению его пропускной способности, скорости течения и транспортирующей способности потока. Все это

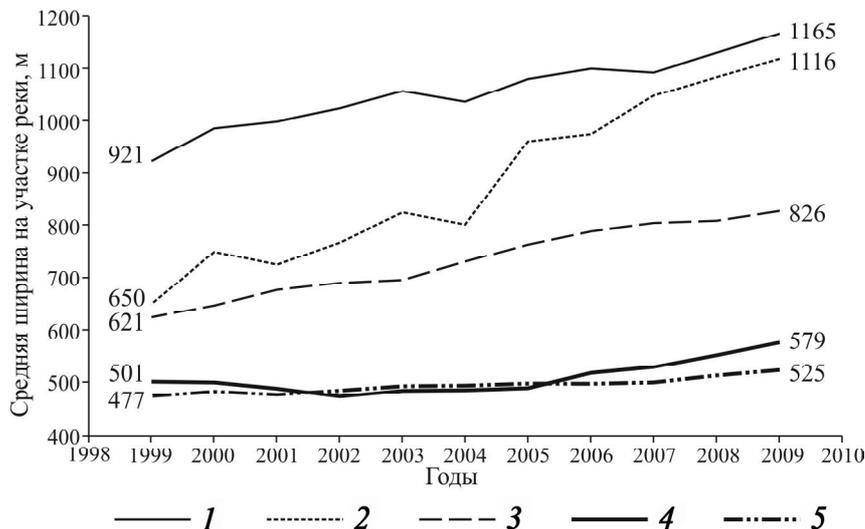


Рис. 4. Изменение ширины русла по длине р. Хуанхэ ниже гидроузла Сяоланди за 1999–2009 гг. на участках: 1 – гидроузел–Хуаюанькоу, 2 – Хуаюанькоу–Цзяхетань, 3 – Цзяхетань–Гоацунь, 4 – Гоацунь–Сунькоу, 5 – Сунькоу–Айшань, по [Особенности..., 2011]

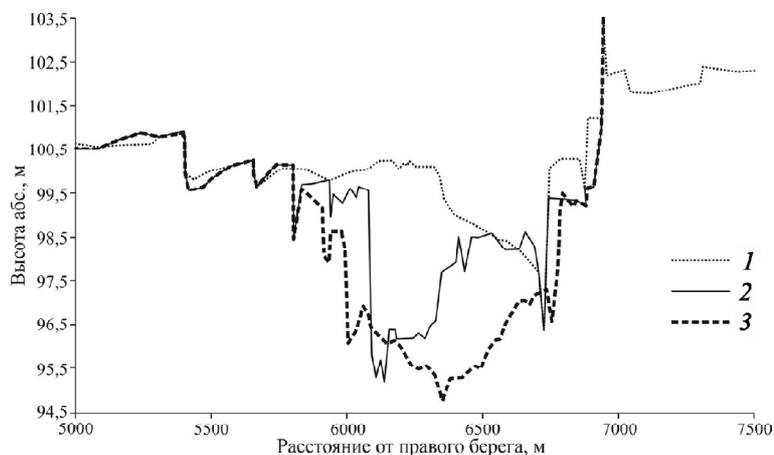


Рис. 5. Изменение поперечного профиля русла р. Хуанхэ ниже гидроузла Сяоланди: 1 – 1999 г.; 2 – 2004 г.; 3 – 2009 г.

препятствует аккумуляции наносов и способствует их выносу в устье реки. В качестве косвенного отражения этих явлений можно рассматривать увеличение крупности донных отложений на Хуанхэ в 2 раза (при общей их очень небольшой крупности) на всем протяжении нижнего течения – в створе г.п. Хуаюанькоу (район г. Чжэнчжоу) с 0,082 до 0,2, г.п. Гоацунь – с 0,06 до 0,135, г.п. Айшань – с 0,05 до 0,1, г.п. Лицинь (34 км от устья) – с 0,046 до 0,1 мм.

На Янцзы подобные изменения ширины русла не отмечены, видимо, из-за того, что вдоль русла и его рукавов почти на всем протяжении реки сооружены капитальные противопаводковые дамбы. Но здесь также нельзя относить понижение уровня только на счет врезания русла в нижнем бьефе гидроузлов. Янцзы, выходя из горной области на равнину Лянху

(ниже г. Ичан), интенсивно меандрирует, чему способствует отвлечение стока воды (около 45% в 1950-е гг.) по многочисленным рукавам-ответвлениям в оз. Дантинху в восточной части равнины, образующим своеобразное пойменное проточно-озерное разветвление реки [Чалов и др., 2006]. Для уменьшения угрозы наводнений, а также сокращения водного пути многие самые крутые излучины были искусственно спрямлены, что привело к сокращению длины русла на 64 км в пределах равнины. Это вызвало смену направленной аккумуляции наносов на врезание реки со скоростью 10 см/год и понижение уровней воды в левом основном рукаве почти на 4 м [Xiangyang, 2004].

Таким образом, на понижении отметок дна русел Хуанхэ и Янцзы сказались сужение пояса блуждания рек противопаводковыми дамбами по обоим берегам, а на Янцзы – еще и искусственное спрямление излучин.

Выводы:

– основным гидротехническим мероприятием на Янцзы и Хуанхэ в конце XX в. стало строительство крупных гидроузлов с водохранилищами, что привело к резкому изменению направленности и темпов русловых деформаций в нижнем течении этих рек;

– особенности режима сработки/наполнения водохранилищ, связанные с гидроклиматическими условиями (сработка в многоводный паводочный летний период вплоть до полного опорожнения и наполнение в маловодную фазу водного режима зимой), обуславливают их промывку и вынос части влекомых наносов в нижние бьефы гидроузлов;

– врезание русла в нижнем бьефе гидроузлов на китайских реках из-за малой крупности отложенный распространилось вниз по течению очень быстро (до 90 м/год) и достигло устьевых областей рек;

– большой сток наносов и лишь частичный перехват их водохранилищами обусловил отсутствие волны аккумуляции наносов перед фронтом врезания;

– врезание рек ниже водохранилищ, пришедшее на смену систематической аккумуляции наносов, сопровождается размывами берегов (особенно на Хуанхэ) и вместе с воздействием сужения пояса руслоформирования противопаводковыми дамбами, возводимыми на протяжении тысячелетий, и спрямлением излучин (на Янцзы) привело к снижению уровней воды в реках до 4 м, что обеспечило безопасность прилегающих территорий от наводнений.

Благодарность. Выполнено по темам плана НИР кафедры гидрологии суши и научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, за счет гранта РФФИ (проект № 15-05-03752), РФФИ–ГФЕН Китая (проект 16-55-53116) и программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-1010.2014.5).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Беркович К.М. Русловые процессы на реках в сфере влияния водохранилищ. М., 2012. 163 с.

Векслер А.Б., Доненберг В.М. Реформирование русла в нижних бьефах крупных гидроэлектростанций. М.: Энергоатомиздат, 1983. 217 с.

Дегтярев В.В. Антропогенное изменение гидрологического режима и русловых процессов рек: Автореф. докт. дисс. М., 1992. 42 с.

Завадский А.С., Чалов С.Р., Лю Шугуан, Чжао Еань. Современные методы регулирования русел Хуанхэ и Янцзы // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 5. М.: МАКС-Пресс, 2010. С. 251–261.

Латиенков В.С. Прогнозирование русловых деформации в бьефах речных гидроузлов. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 239 с.

Лю Шугуан. Сравнительный анализ русловых процессов на больших реках России и Китая: Автореф. канд. дисс. М., 1998. 23 с.

Лю Шугуан, Чалов С.Р., Чжао Еань. Русловые процессы в нижнем течении рек Янцзы и Хуанхэ после строительства гидроузлов // XXIV пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов: Доклады и сообщения. М.; Арзамас: АГПИ, 2011. С. 225–226.

Маккавеев Н.И. Русловые процессы и путевые работы в нижних бьефах гидроузлов // Тр. ЦНИИЭВТ. 1957. Вып. 12. С. 5–86.

Особенности и тенденции развития русла и эрозионно-аккумулятивных процессов вниз по течению от водохранилища Сяоланди (р. Хуанхэ) // Реки и отложения наносов Китая. Чжэнчжоу: Изд. НИИ водного хозяйства р. Хуанхэ, 2011. 33 с. (на кит. яз.).

Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна. Новосибирск: РИЛЭЛ плюс, 2001. 300 с.

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

Чалов С.С., Власов Б.Н., Лю Шугуан и др. Специфические формы разветвленного русла р. Янцзы и их эволюция // География и природные ресурсы. 2006. № 2. С. 151–157.

Чалов С.С., Лю Шугуан, Алексеевский Н.И. Сток наносов и русловые процессы на больших реках России и Китая. М., 2000. 212 с.

Babiński Z. Procesy erozyjno-akumulacy; ne pnizey stopnia wodnego Wloclawek. Torun, 1997. 150 s.

Babiński Z. Wplyw zapor na procesy kopytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Akad. Bydgoska im Kaz. Wilkiego, 2002. 185 s.

Graf W.L. Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers // Geomorphology. 2006. Vol. 79, pp. 336–360.

Kondolf G.M. Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels // Environ. Management. 1997. Vol. 21, no 5, pp. 533–551.

Li Guoying. Ponderation and Practice of the Yellow River Control. Yellow River Conservancy Press, 2003. 272 p.

Schmidt J.C., Wilcock P.R. Metrics for assessing the downstream effects of dams // Water Resours. Res. 2008. Vol. 44, pp. 1–19.

Series of picture albums of the Yellow river / Publication Center Yellow river conservancy commission, no 8. Beeigangzi Street / Chohgwen District. Beijing, 1991. 21 p.

Sou Lisheng. River Management and ecosystem conservation in China // Proceed. of the Ninth Intern. Symp. on River Sediment. Vol. 1. China: Tsinghua Univer Press, 2004, pp. 1700–1708.

Xiangyang N.U. Effects of artificial cutoffs in middle Yangtze reach // Proceed. of the Ninth Intern. Symposium on River Sediment. Vol. 3. China Tsinghua Univer Press. 2004, pp. 1692–1699.

Поступила в редакцию 12.02. 2015

Принята к публикации 11.09.2015

R.S. Chalov¹, Zhao Yean², T.I. Volkova³, Liu Shuguang⁴,
S.R. Chalov⁵, A.S. Zavadsky⁶

INFLUENCE OF WATERWORKS FACILITIES
ON CHANNEL PROCESSES IN THE LOWER REACHES
OF THE HUANG HE AND YANGTZE RIVERS

Specific features of channel transformation are discussed for the largest rivers of China downstream the Three Gorges and Gezhouba waterworks on the Yangtze River and Sanmenxia and Xiaolangdi waterworks on the Huang He River which were put into operation during the end of the 20th century and the beginning of the 21st century. They differ from the rivers of Russia in reservoir regimes (decrease of storage during the summer high-water period and accumulation during the winter low-water period), high sediment yields, partly retention of bed load in reservoirs, practically total damming of rivers downstream the waterworks and other large-scale flood-control regulations. Different rates and forms of river incision, e.g. the absence of sediment accumulation in front of channel scour, were identified, as well as different stream-bank erosion processes and resulting channel widening typical mostly for the Huang He River. This is mainly the result of the narrowing channel-forming zone limited by the flood-control dams and the removal of meanders (on the Yangtze River). Positive effects of incision succeeding the sediment accumulation typical for the rivers before the waterworks construction are the reduction of dam failure risk and the lower probability of inundation of developed areas.

Keywords: channel processes, tail bay, water reservoir, sediment yield, incision, stream-bank erosion, the Huang He River, the Yangtze River.

Acknowledgement. The research was carried out according to the plan of scientific research of the Department of Land Hydrology and Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes and financially supported by the RFBR (project 15-05-037520 and the Presidential Programme of Support for the RF Leading Scientific Schools (SSc-1010.2014.5)).

REFERENCES

- Babiński Z.* Procesy erozyjno-akumulacyjne na przykładzie stopnia wodnego Wloclawek. Torun, 1997. 150 s.
- Babiński Z.* Wpływ zapor na procesy korytowe rzek aluwialnych. Bydgoszcz: Akad. Bydgoska im Kaz. Wilkiego, 2002. 185 s.
- Berkovich K.M.* Ruslovye processy na rekah v sfere vliyaniya vodohranilisch [Riverbed processes in rivers influenced by reservoirs], Moscow, 2012. 163 p. (in Russian).
- Chalov R.S., Vlasov B.N., Liu Shuguang et al.* Specificheskie formy razvettlenogo rusla r. Yangtze i ih evolyzija [Development of Yangtze river braided channel], Geografia i prirodnye resursy. 2006, no 2, pp. 151–157 (in Russian).
- Chalov R.S., Liu Shuguang, Alexeevsky N.I.* Stok nanosov i ruslovye processy bolshih rekah Russia i China [Sediment yield and channel processes on the largest rivers of Russia and China]. Moscow, 2000. 212 p. (in Russian).
- Degtyarev V.V.* Antropogennoe izmenenie gidrologicheskogo rezhima i ruslovyyh processov rek [Anthropogenic changes of hydrological regime and in-channel processes]. Avtoref. doct. diss. Moscow, 1992. 42 p. (in Russian).
- Graf W.L.* Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers // *Geomorphology*. 2006. Vol. 79, pp. 336–360.
- Kondolf G.M.* Hungry water: Effects of dams and gravel mining on river channels // *Environ. Management*. 1997. Vol. 21, no 5, pp. 533–551.
- Lapshenkov W.S.* Prognozirovnie ruslovyh deformatsiy v b'efah rechnyyh gidrouzlov. [Channel changes predictions on large rivers of Russia and China], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1979. 239 p. (in Russian).
- Li Guoying.* Ponderation and Practice of the Yellow River Control. Yellow River Conservancy Press, 2003. 272 p.
- Liu Shuguang.* Sravnitelnyy analiz ruslovyh processov na bolshih rekah Russia i China [Comparative study of channel processes on the largest rivers of Russia and China]. Avtoref. kand. diss. Moscow, 1998. 23 p. (in Russian).
- Liu Shuguang, Chalov R.S., Zhao Yan.* Ruslovye processy v nizhnem techenii rek Yangtze i Huanhe posle stroitelstva gidrouzlov [Channel processes in the downstream reaches of Yellow and Yangtze rivers after dams construction]. XXIV plenarnoe mtzhvuzovskoe koordinatsionnoe soveshanie po probleme erozionnyh, ruslovyh i ustevyyh processov: Doklady i soobshchenia. AGPI, Moscow; Arzamas, 2011, pp. 225–226 (in Russian).
- Makkaveev N.I.* Ruslovye processy i putevyye raboty v nizhnich b'efah gidrouzlov [Channel processes and training works below dams]. Tr. CNIIEVT, 1957. Vol. 12, pp. 5–86 (in Russian).
- Osobennosti i tendentsii razvitiya rusla i erozionno-akkumulativnyh processov v nizhnem techenii ot vodohranilishcha Saolandi (r. Huanhe) [Development of channel and erosion and accumulation below Siolandi dam]. Reki i otloschenia nanosov China. Zhengzhou: izd. NII vodnogo hozyistva r. Yellov, 2011. 33 p. (in China).

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Professor, D.Sc. in Geography; *e-mail:* rschalov@mail.ru

² Yellow River Institute of Hydraulic Research, China, Zhengzhou, Professor; *e-mail:* zys081@126.com

³ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, post-graduate student; *e-mail:* volkova_tatiana@inbox.ru

⁴ Tongji University, China, Shanghai, Professor; *e-mail:* liusgliu@tongji.edu.cn

⁵ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Senior Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail:* hydroserg@mail.ru

⁶ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Makkaveev Research Laboratory of Soil Erosion and Channel Processes, Leading Research Scientist, Ph.D. in Geography; *e-mail:* az200611@rambler.ru

Ruslovye processy i vodnye puti na rekah Obskogo bassina [Channel processes and waterways in the Obuiver bassin], Novjsibirsk, RIPEL plus, 2001. 300 p. (in Russian).

Schmidt J.C., Wilcock P.R. Metrics for assessing the downstream effects of dams // *Water Resours. Res.* 2008. Vol. 44, pp. 1–19.

Series of picture albums of the Yellow river / Publication Center Yellow river conservancy commission, no 8. Beeigangzi Street / Chohgwen District. Beijing, 1991. 21 p.

Sou Lisheng. River Management and ecosystem conservation in China // *Proceed. of the Ninth Intern. Symp. on River Sediment.* Vol. 1. China: Tsinghua Univer Press, 2004, pp. 1700–1708.

Transportnoe ispolzovanie vodohranilisch [Navigational use of water reservoirs], Moscov. Transport, 1972. 223 p. (in Russian).

Weksler A.B., Donenberg V.M. Pereformirovania rusla v nizhnich b'efah krupnyh gidroelectrostanciy [Channel changes below large hydropower dams], Moscov, Energoatomizdat, 1983. 217 p. (in Russian).

Xiangyang N.U. Effects of artificial cutoffs in middle Yangtze reach // *Proceed. of the Ninth Intern. Symposium on River Sediment.* Vol. 3. China Tsinghua Univer Press. 2004, pp. 1692–1699.

Zavadskiy A.S., Chalov S.R., Liu Shuguang, Zhao Yan. Sovremennye metody regulirovaniya rusel Huanhe i Yangtze [River regulation of Yellow and Yangtze rivers]. *Eroziionnye i ruslovye processy.* Vol. 5. Moscow, MAX-Press, 2010, pp. 251–261 (in Russian).

Received 12.02.2015

Accepted 11.09.2015

УДК 911.8, 551.556

П.А. Кипкеева¹, Ю.Я. Потапенко²

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ТУРИЗМА В КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕСИИ

Основные факторы, определяющие распределение рекреационных ареалов Карачаево-Черкесской республики (КЧР), – транспортная сеть и ландшафтные условия. Среди ландшафтных (природных) факторов к наиболее активно действующим относятся рельеф, гидросеть и растительный покров.

Ведущие локализирующие факторы разных групп отдыхающих следующие: для лечащихся – асфальтированные автомобильные дороги, дома отдыха и санатории; для туристов – совокупность ландшафтных условий; для альпинистов – уникальный альпинотипный рельеф высокой эстетической ценности; для горнолыжников – гостиницы и соответствующие инженерные сооружения.

Особую группу составляют неорганизованные отдыхающие, выезжающие на 1-2 дня; для них локализирующие факторы – транспортная доступность, наличие лесов с дикорастущими ягодами и грибами, удобные берега рек.

Районирование территории КЧР по степени развития туризма показало подчиненность преобладающих видов туризма природным факторам, в первую очередь высотной поясности. Вследствие чрезмерной туристской нагрузки на природные комплексы возникли зоны конфликтных ситуаций в верховьях рек Теберда, Большой Зеленчук, Аксауг и Кубань. При обследовании участков, где расположены туробъекты, вдоль автотрассы Черкесск – Домбай обнаружен ряд построек, сооруженных в зонах проявления опасных экзогенных процессов. В то же время туристская отрасль недостаточно использует лесной пояс, что обусловлено дефицитом современных автотрасс.

При разработке и перспективном планировании устойчивого развития туризма в КЧР необходимо предусмотреть мероприятия по повышению уровня экологической культуры населения и отдыхающих, что обеспечит рациональное использование природных ресурсов, сохранение природного и культурного разнообразия.

Ключевые слова: устойчивое развитие туризма, туробъекты, ландшафтные условия, флювиальные отложения, Карачаево-Черкесия.

Введение. По прогнозам специалистов XXI в. станет веком туризма. Стремительное развитие туризма во всем мире негативно влияет на состояние природной среды. Карачаево-Черкесская республика (КЧР) в этом отношении не является исключением – туризм наносит заметный ущерб природным комплексам с большой эстетической ценностью, обладающим уникальными фауной и флорой, качеству рекреационных и климатобальнеологических ресурсов, аналогов которых нет не только в России, но и в мире. Опыт зарубежных стран показывает, что изменение ситуации возможно лишь при развитии устойчивого туризма.

Материалы и методы исследований. В основу исследования положен анализ литературы, статистические и картографические материалы, данные Министерства туризма и курортов КЧР. Выполнены экспедиционные ландшафтно-геоэкологические исследования и обследование туробъектов с применением историко-географического анализа. Проанализированы экономические, социальные и экологические факторы, влияющие на развитие туристской отрасли, а также различные карты.

Теоретической и методологической основой послужили труды А.Ю. Александровой, Ю.А. Веды-

нина, К.В. Кружалина, Е.А. Котлярова, Л.И. Мухиной, П.Г. Олдака, В.С. Преображенского, Ю.С. Путрика, И.Т. Твердохлебова.

Обзор и анализ предыдущих работ. Устойчивое развитие территорий требует охвата обширного спектра проблем, которые рассматриваются с различных позиций, преимущественно с социально-экономических и экологических. Возможности устойчивого развития Карачаево-Черкесии до сих пор исследовались в основном в региональном плане и посвящены экономической составляющей. Они отражены в работах С.В. Галачиева, Л.С. Богашевой, Ч.Х. Ионова, А.С. Дудова, Н.Н. Киселевой, А.М. Кубанова, Х.М. Психомасова, Ф.З. Семенович, А.Х. Тамбиева, Ш.М. Тоторкулова и др.

Правительством КЧР в 1997–2011 гг. был принят ряд программ и стратегий, касающихся устойчивого развития республики до 2030 г. и развития туризма до 2016 г. [Концепция..., 2011; Программа..., 1997; Развитие..., 2011; Стратегия..., 2009]. В этих документах концепция устойчивого туризма еще не нашла достаточно четкого отражения.

Устойчивый туризм (sustainable tourism) создан на основе концепции устойчивого развития, раз-

¹ Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева, естественно-географический факультет, кафедра физической и экономической географии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: kipkeeva62@mail.ru

² Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева, естественно-географический факультет, кафедра физической и экономической географии, профессор, докт. геол.-минерал. н.; e-mail: pupotap@yandex.ru

работанной в 1987 г. и принятой Конференцией ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992). Еще в 1988 г. Всемирной туристской организацией были определены основополагающие принципы устойчивого туризма: «...такое направление развития туризма, которое позволяет удовлетворять нужды туристов сейчас, учитывая интересы принимающего региона, и позволяет сохранить эту возможность в будущем. При этом предусматривается управление всеми ресурсами таким образом, чтобы экономические, социальные и эстетические потребности удовлетворялись с поддержанием культурной и экологической целостности, без нанесения вреда биологическому разнообразию и системам жизнеобеспечения.» [Петрасов, 2002].

Близкие определения мы находим у многих отечественных авторов. Например, Е.М. Максарова помимо терминов «устойчивый туризм», «устойчивое развитие туризма» употребляет понятие «устойчивость в туризме»: «Устойчивость в туризме подразумевает положительный общий баланс экологических, социально-культурных и экономических воздействий туризма, а также положительное воздействие посетителей друг на друга» [Максарова, 2008, с. 346]. Используются также термины «мягкий туризм», «экологический туризм», «природно-ориентированный туризм» и т.д., все они характеризуют виды (формы) туризма, которые должны быть также ориентированы на принципы устойчивости. Шведским агентством по защите окружающей среды (Environmental Protection Agency, SEPA) разработаны 10 принципов устойчивого туризма [Карачаево-Черкесская..., 2013]. В табл. 1 представлена сравнительная характеристика устойчивого и неустойчивого развития туризма.

Обследование участков, где расположены некоторые туробъекты. Наиболее популярная у туристов и благоустроенная в Карачаево-Черкесии автодорога – Черкесск–Домбай. Вдоль нее обнаружены постройки, сооруженные в зоне опасных экзогенных процессов.

В северной части республики в пределах морфоструктур Пастбищного, Скалистого хребтов и Северо-Юрской депрессии наибольшую опасность для построек и инженерных сооружений представляет боковая эрозия русел. Пораженность берегов боковой эрозией имеет прерывистый характер и местами достигает 20%. В районе г. Карачаевск вверх по р. Кубань построены кафе «Старый двор», «Осетинская кухня», «Вдали», в долине р. Теберда – кафе «Империал», «Ас-Алан», комплекс «Дубки» расширен вплоть до русла. Они размещены на узких (1–40 м) полосках надпойменных террас, зажатых между шоссе и береговым обрывом. Выбор площадок для строительства крайне неудачен, так как все они находятся на вогнутых изгибах берега, что, как известно, указывает на интенсивную боковую эрозию.

Т а б л и ц а 1

Сравнительные характеристики устойчивого и неустойчивого развития туризма*

Устойчивое развитие туризма	Неустойчивое развитие туризма
Поступательное развитие	Быстрое, стремительное развитие
Контролируемое развитие	Неконтролируемое развитие
Расчитанный масштаб развития	Неподходящий масштаб развития
Долгосрочное планирование	Краткосрочное планирование
Качественное развитие	Количественное развитие
Управление на местах	Дистанционное управление
Развитие на основе четко сформулированной стратегии	Развитие посредством единичных, не связанных между собой проектов
Равномерное распределение нагрузки на окружающую среду и общество	Избыточная нагрузка на окружающую среду и общество в туристских центрах
Доходы от туризма направляются на восстановление туристских ресурсов	Доходы от туризма не остаются в данном регионе
Привлечение местных трудовых ресурсов	Привлечение приезжих трудовых ресурсов

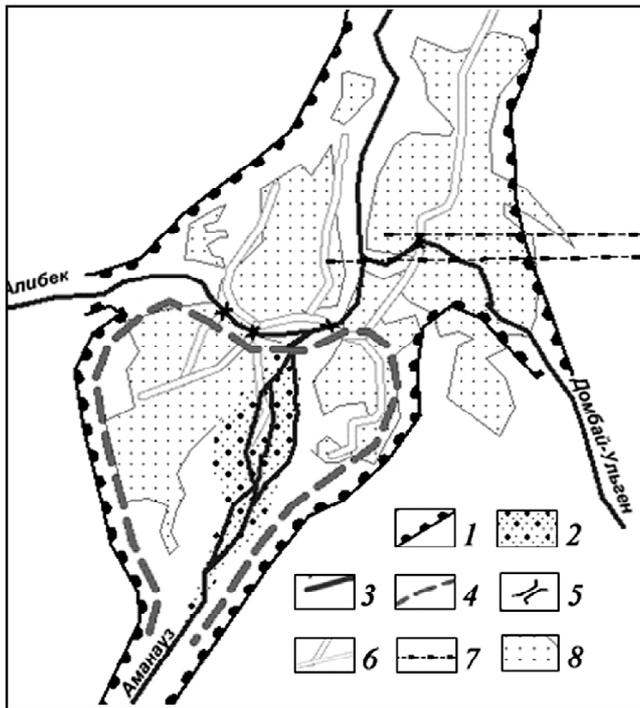
*Составлена по [Карпова, Максарова, 2010].

Геоэкологическое обследование туробъекта «Домбай» в период с 2002 по 2014 г. с привлечением геологических и геоморфологических карт, созданных ОАО «Севкавгеология», позволяет предложить модель литоландшафтогенеза, представленную на рисунке.

Геоморфологический объект, получивший название Домбайская поляна, образовался в результате совместного действия тектонических движений блоков земной коры и эрозионной деятельности рек и ледников. Субширотные долины рек Алибек и Домбай-Ульген заложены вдоль узкого субширотного грабена, сложенного относительно мягкими нижне-среднеюрскими терригенными породами. Этот грабен разделяет два блока морфоструктуры Главного хребта, в которых преобладают палеозойские граниты и более древние кристаллические сланцы. Именно в месте пересечения грабена, сложенного юрскими породами, эрозионная деятельность льда расширила троговую долину и образовала Домбайскую впадину.

Поскольку долины рек Алибек и Домбай-Ульген параллельны геологическим (тектоническим) структурам, их следует относить к субсеквентному типу. Меридиональные долины рек Аманауз и Теберда секут те же структуры под прямым углом и принадлежат к консеквентному типу.

В период максимума четвертичного оледенения в месте слияния истоков Теберды сходились три ледника, которые дали начало крупному Тебердинскому леднику, выработавшему троговую долину длиной около 40 км. После деградации ледников Домбайская



Пространственные соотношения природной и техногенной среды туробъекта «Домбай»: 1–4 – геоморфологические элементы: 1 – вогнутый перегиб склона, 2 – валунно-галечниковые флювиальные отложения без почвенного покрова, 3 – боковые протоки р. Аманауз, 4 – границы конуса выноса р. Аманауз; 5 – 8 – техногенная среда: 5 – мосты, 6 – дороги, 7 – канатно-кресельные подъемники и бугели, 8 – селитебная зона (пос. Домбай, гостиницы, отели, гостевые дома)

впадина стала заполняться флювиальными отложениями. Наибольшее количество обломочного материала поставлялось из ущелья Аманауз. В его устье образовался мощный конус выноса, который продолжает формироваться и в настоящее время. Об этом свидетельствуют протоки, ответвляющиеся от главного русла (существовали до 2000 г.), и поля валунно-галечного материала без почвенного горизонта.

После 2000 г. значительная часть конуса выноса на левобережье Аманауза застроена отелями и коттеджами, в 2014 г. их насчитывалось 49. Несомненно, большая часть этих строений находится в зоне риска – в области проявления неблагоприятных геоморфологических процессов.

Следовательно, все перечисленные объекты построены в нарушение законодательства о водохранных зонах и на эрозионно опасных участках берегов. Это обстоятельство необходимо учитывать при разработке и перспективном планировании развития туризма в республике.

Результаты исследований и их обсуждение. Мы проанализировали состояние туризма в КЧР на соответствие характеристикам и принципам устойчивого развития. К основным проблемам в сфере туристско-рекреационного комплекса можно отнести хаотичное развитие туризма, слабо развитую инфраструктуру по удовлетворению потребностей отдыхающих в развлечениях, а также отсутствие транспортной инфраструктуры [Развитие..., 2011; Стратегия..., 2009].

К факторам, замедляющим развитие туризма в КЧР, относятся низкий уровень комфорта и обслуживания отдыхающих, который не соответствует современным требованиям. Наиболее перспективные рекреационные зоны, такие, как Узун-Кол, Джилы-су, Махар, Медовые водопады, Большая Лаба и Гум-Баши имеют слабую транспортную доступность; отсутствуют оснащенные туристские маршруты и горнолыжные трассы, оборудованные в соответствии с международными стандартами; отсутствуют системы искусственного оснежения склонов; недостаточно новых канатных дорог; малоразвиты розничная торговля и сфера бытовых услуг.

Результаты районирования территории КЧР по степени развития и преобладающим видам туризма приведены в табл. 2. Данные этой таблицы демонстрируют подчиненность видов туризма природным факторам, в первую очередь высотной поясности. В то же время обнаруживается недостаточное использование туристской отраслью лесного пояса республики, что обусловлено дефицитом современных автотрасс.

В целом туризм в КЧР еще находится на альтернативной стадии [Биржаков и др., 2006]. Чтобы эта отрасль соответствовала критериям устойчивого развития, необходим практический переход на новые принципы.

В последние 10–15 лет достигнуты определенные успехи в реализации мероприятий, способствующих успешному развитию туризма. Активно ведутся строительство и реконструкция федеральной трассы Черкесск–Домбай, благоустроена близлежащая к Домбаю инфраструктура и расширены горнолыжные трассы, открыт пос. Романтик – первый пусковой комплекс курорта «Архыз» (за январские праздники 2015 г. курорт принял 35 000 туристов), число новых рабочих мест составило ~4000 (к завершению проекта предполагается увеличить его до 11 000). Реализация этого масштабного проекта приведет к мультипликативному эффекту – развитию других отраслей, таких, как транспорт, сельское хозяйство, торговля, сфера услуг, народные промыслы и др. Увеличение занятости весьма важно для местного населения [Развитие..., 2011].

Наметился ежегодный рост посещаемости курортов КЧР на 5–10% (в 2013 г. внутренний туристский поток составлял 470 000 человек, в 2014 г. предполагалось принять свыше 708 000 отдыхающих), растет число иностранных туристов (в 2013 г. – 9900 человек, в 2014 г. – 10 500 человек). Это свидетельствует о том, что курорты Карачаево-Черкесии доступны, востребованы и будут развиваться.

Для развития туристской отрасли в перспективный план компании «Курорты Северного Кавказа» включено строительство аэропорта в Зеленчукском районе (проектная стоимость аэродромного комплекса составляет 3,5 млрд руб.).

К концу 2016 г. ожидаются следующие достижения в социально-экономическом развитии туристского комплекса Карачаево-Черкесии:

Т а б л и ц а 2

Районирование территории КЧР по туристско-рекреационному использованию

Абсолютная высота, м	Высотные (растительные) климатические пояса, % от площади КЧР	Степень развития туризма	Преобладающий вид туризма	Хозяйственная деятельность	
				преобладающий вид хозяйственной деятельности	освоение территории, %
4000–642	нивальный, 6	низкая	альпинизм, горный туризм	–	0
3100–300	субнивальный, 10	высокая	горный туризм	–	5
1800–200	горно-луговой, 21	то же	горный туризм	сельскохозяйственный (животноводческий подтип)	70
800–100	лесной, 34	низкая (в основном вдоль рек)	рекреация (лечебный)	лесопромышленный	25
500–00	лесо-луговой, 18	низкая	неорганизованный (отдых выходного дня)	сельскохозяйственный (земледельческий и животноводческий подтипы), горно-добывающий, транспортный, селитебный	60
300–500	луго-степной, 11	очень низкая	–	сельскохозяйственный тип (земледельческий подтип)	90

– увеличение в 3 раза числа российских и иностранных туристов, а также фонда средств размещения туристов;

– увеличение общей доли платных услуг субъектов туристской индустрии ежегодно на 30% в общем объеме платных услуг населению;

– увеличение в 2 раза налоговых поступлений от субъектов индустрии туризма;

– открытие не менее 12 000 новых рабочих мест в сфере обслуживания туристской инфраструктуры и смежных отраслях.

Для увеличения доходов от туризма в первую очередь необходим массовый поток туристов, что обеспечивается привлекательностью и комфортностью. Поддержание привлекательности (управляемая составляющая качества) маршрута и услуг на нем требует наличия технологической (пооперационной) документации, инструкций по отслеживанию реакции клиентов, внесения изменений в технологию при снижении привлекательности [Эркенова и др., 2013]. Слабо используются потенциальные возможности самодеятельного (дикого) туризма, который давно освоил популярные маршруты и места удобных многодневных стоянок почти в каждом ущелье КЧР. Необходимо в таких местах построить хижины, обеспечить их электроэнергией от солнечных батарей, ветро- и гидроэнергетических установок.

При определении мероприятий для обеспечения устойчивого развития туризма в КЧР следует учи-

тывать еще и ряд экологических факторов: сохранение природного и культурного разнообразия, рациональное использование природных ресурсов, повышение уровня экологической культуры населения и др.

Выводы:

– основные факторы, определяющие размещение рекреационных ареалов, – транспортная сеть и ландшафтные условия;

– среди ландшафтных условий (природных факторов) к наиболее активно действующим относятся рельеф, гидросеть и растительный покров;

– для разных групп отдыхающих в качестве ведущих, локализуемых факторов выступают следующие: для лечащихся – асфальтированные автомобильные дороги, дома отдыха и санатории; для туристов – совокупность ландшафтных условий; для альпинистов – уникальный альпинотипный рельеф высокой эстетической ценности; для горнолыжников – гостиницы и соответствующие инженерные сооружения;

– особую группу составляют неорганизованные отдыхающие, выезжающие на 1–2 дня; для них локализуемые факторы – транспортная доступность, наличие лесов с дикорастущими ягодами и грибами, удобные берега рек;

– в результате чрезмерных туристских нагрузок на природные комплексы КЧР возникли зоны конфликтных ситуаций в верховьях рек Теберда, Большой Зеленчук, Аксаут и Кубань.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Биржаков М.Б., Воскобойникова Н.Н., Григорьева В.В. Экологический туризм // Большой глоссарий терминов международного туризма. СПб; М.: Невский фонд; изд. дом «Герда», 2006. С. 881–906.

Карачаево-Черкесская республика. Устойчивое развитие: опыт, проблемы, перспективы / Отв. ред. В.С. Кочетов. М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации; Центр экологической политики России, 2013. 128 с.

Карпова Г.А., Максарова Е.М. Механизм реализации принципов устойчивого развития туризма через государственно-частное партнерство. [Электр. ресурс]. URL: http://www.krc.karelia.ru/doc_download.php?id=5047&table_name=publ&table_ident=9586 (дата обращения: 12.01.2015).

Концепция развития туризма в Карачаево-Черкесской Республике на период до 2015 года. [Электр. ресурс]. Постановление Правительства КЧР от 21.11.2011, № 418. Черкесск, 2011. URL: <http://docs.cntd.ru/document/459902304> (дата обращения: 20.01.2015).

Максарова Е.М. Основные направления реализации принципов устойчивого развития в туризме. [Электр. ресурс] // Изв. РГПУ имени А.И. Герцена. 2008. № 85. URL: <http://www.twirpx.com/file/482976/> (дата обращения: 12.11.2014).

Петрасов И.В. Экономико-географические предпосылки развития туризма в странах мира. [Электр. ресурс]. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 342 с. URL: http://tourlib.net/books_tourism/petrasov2-3.htm (дата обращения: 15.01.2015).

Программа перехода Карачаево-Черкесской Республики к модели устойчивого развития: Экологический аспект. Черкесск, 1997. 29 с.

Развитие туризма в Карачаево-Черкесской Республике до 2016 года [Электр. ресурс]. Постановление Правительства КЧР от 04.08.2011, № 245. Черкесск, 2011. 25 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/459902304> (дата обращения: 10.11.2014).

Стратегия социально-экономического развития Карачаево-Черкесской республики до 2030 года. [Электр. ресурс]. Черкесск, 2009. 189 с. URL: <http://www.kchr.info> (дата обращения: 20.12.2014).

Эркенова А.И., Чотчаев Т.М., Кочетов В.С. Устойчивое развитие туризма в Карачаево-Черкесской республике в аспекте управления качеством туристических услуг // Карачаево-Черкесская республика. Устойчивое развитие: опыт, проблемы, перспективы. М.: Институт устойчивого развития Общественной палаты Российской Федерации; Центр экологической политики России, 2013. С. 83–87.

Поступила в редакцию 22.05.2015

Принята к публикации 11.09.2015

P.A. Kipkeeva¹, Yu.Ya. Potapenko²

**PRINCIPAL FACTORS OF SUSTAINABLE TOURISM
IN THE KARACHAI-CHERKES REPUBLIC**

The concepts of sustainable tourism, sustainable development of tourism and sustainability in tourism are discussed. The indicators of sustainable development of tourism in the Karachai-Cherkess Republic are suggested. The state of tourism in the context of actual requirements is analyzed. The study allowed concluding that the principal factors governing the location of recreation areas are the transportation network and the landscape features. Among the landscape features (natural conditions) relief, hydrographic network and vegetation cover are the most important. Different groups of recreants have specific principal factors of localization: availability of roads and sanatoria for those requiring treatment; a complex of landscape features for tourists; unique alpine relief of high aesthetic value for mountain-climbers; hotels and engineering facilities for alpine skiers. Localization factors for individuals going for short-term (1-2 days) recreation are transport accessibility, forests with berries and mushrooms and good river banks. The overexploitation of the natural complexes of the Karachai-Cherkess Republic for tourism has formed the zones of conflict situations in the upper reaches of Teberda, Great Zelenchuk, Aksaut and Kuban rivers. The sustainable development of tourism will contribute a lot to the progress of the Karachai-Cherkess Republic. It will help to increase the life standards of local people and the economic self-support of recreational areas, create new jobs, involve general public into decision-making, improve economic, social and legal bases for nature protection, and promote the environmental education and the general environmental culture of local people and visitors.

Keywords: sustainable development of tourism, the Karachai-Cherkess Republic, indicators and parameters of sustainable tourism.

REFERENCES

Birzhakov M.B., Voskoboynikova N.N., Grigoreva V.V. Jekologicheskij turizm [Ecological tourism], Bolshoj glossarij terminov mezhdunarodnogo turizma. SPb; M.: Nevskij fond, Izd. dom «Gerda», 2006, pp. 881–906 (in Russian).

Jerkenova A.I., Chotchaev T.M., Kochetov V.S. Ustojchivoje razvitie turizma v Karachaev-Cherkesskoj respublike v aspekte upravleniya kachestvom turisticheskikh uslug [Sustainable development

of tourism in the Karachay-Cherkess Republic in aspect of quality management of tourist services]. Karachaev-Cherkesskaya respublika. Ustojchivoje razvitie: opyt, problemy, perspektivy. M.: Institut ustojchivogo razvitiya Obshhestvennoj palaty Rossijskoj Federatsii; Centr jekologicheskopolitiki Rossii, 2013, pp. 83–87 (in Russian).

Karachaev-Cherkesskaya respublika. Ustojchivoje razvitie: opyt, problemy, perspektivy [Karachay-Cherkess Republic. Sustainable

¹ Aliev Karachay-Cherkessia State University, Faculty of Natural Science and Geography, Department of Physical and Economic Geography, Associate Professor, Ph.D. in Geography; *e-mail*: kipkeeva62@mail.ru

² Aliev Karachay-Cherkessia State University, Faculty of Natural Science and Geography, Department of Physical and Economic Geography, Professor, D.Sc. in Geology and Mineralogy; *e-mail*: nupotap@yandex.ru

development: experience, problems, prospects], *Otv. red. V.S. Kochetov*. M.: Institut ustojchivogo razvitiya Obshhestvennoj palaty Rossijskoj Federatsii; Centr ehkologicheskoy politiki Rossii, 2013. 128 p. (in Russian).

Karpova G.A., Maksarova E.M. Mekhanizm realizatsii printsipov ustojchivogo razvitiya turizma cherez gosudarstvenno-chastnoe partnerstvo [The mechanism of realization of the principles of a sustainable development of tourism through public-private partnership], [Jelekt. resurs] URL: http://www.krc.karelia.ru/doc_download.php?id=5047&table_name=publ&table_ident=9586 (Accessed: 12.01.2015) (in Russian).

Kontseptsiya razvitiya turizma v Karachaevo-Cherkesskoj Respublike na period do 2015 goda [The concept of development of tourism in the Karachay-Cherkess Republic for the period till 2015], [Jelekt. resurs]. Postanovlenie Pravitelstva KCHR ot 21.11.2011, № 418. Cherkessk, 2011. URL: <http://docs.cntd.ru/document/459902304> (Accessed: 20.01.2015) (in Russian).

Maksarova E.M. Osnovnye napravleniya realizatsii printsipov ustojchivogo razvitiya v turizme [The main directions of realization of the principles of a sustainable development in tourism], [Jelekt. resurs], *Izvestiya RGPU imeni A.I. Gertsena*, 2008, no 85. URL: <http://www.twirpx.com/file/482976/> (Accessed: 12.11.2014) (in Russian).

Petrasov I.V. Jekonomiko-geograficheskie predposylki razvitiya turizma v stranakh mira [Economical and geographical prerequisites of development of tourism in the countries of the world], [Jelekt. resurs]. M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 2002. 342 p. URL: http://tourlib.net/books_tourism/petrasov2-3.htm (Accessed: 15.01.2015) (in Russian).

Programma perekhoda Karachaevo-Cherkesskoj Respubliki k modeli ustojchivogo razvitiya: Jekologicheskij aspekt [Program of transition of the Karachay-Cherkess Republic to model of a sustainable development: Ecological aspect], Cherkessk, 1997. 29 p. (in Russian).

Razvitie turizma v Karachaevo-Cherkesskoj Respublike do 2016 goda [Development of tourism in the Karachay-Cherkess Republic till 2016], [Jelekt. resurs]. Postanovlenie Pravitelstva KCHR ot 04.08.2011 no 245. Cherkessk, 2011. 25 p. URL: <http://docs.cntd.ru/document/459902304> (Accessed: 10.11.2014) (in Russian).

Strategiya sotsialno-ehkonomicheskogo razvitiya Karachaevo-Cherkesskoj respubliky do 2030 goda [Strategy of social and economic development of the Karachay-Cherkess Republic till 2030], [Jelekt. resurs], Cherkessk, 2009. 189 p. URL: <http://www.kchr.info> (Accessed: 20.12.2014) (in Russian).

Received 12.02.2015

Accepted 11.09.2015

УДК 991.3:332.1 (430.1–43.6)

А.Н. Носова¹

ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ ПЕРЕТОКИ ЗНАНИЯ И ЭВОЛЮЦИЯ ВЫСОКОТЕХНОЛОГИЧНЫХ КЛАСТЕРОВ БАВАРИИ

Рассмотрена эволюция высокотехнологичных кластеров под влиянием локализованных перетоков знания, сформировавшихся в результате миграции высококвалифицированных специалистов и основания ими компаний в Баварии. Исследование проведено на примере кластера биофармацевтики с центром в Мюнхене. Показано, что существует связь между изменением роли разных источников локализованных перетоков знания и условиями размещения высокотехнологичных компаний. Так, в 1950–1970-е гг., когда в Баварию из других федеральных земель были перенесены крупные высокотехнологичные фирмы, определяющим было «внешнее» знание специалистов из других регионов и стран или баварцев, учившихся или работавших за рубежом. Затем все больше компаний основывали предприниматели, получившие знания на фирмах в Баварии. В 1990-е гг., с началом технологической и кластерной политики, увеличилось значение доступа к специализированной инфраструктуре и финансированию, а впоследствии – к широкому кругу участников инновационного процесса для получения специализированных знаний. Возросла доля фирм, основанных представителями баварских НИИ и университетов, а также «местное» знание, приобретенное в регионе. Ключевыми проблемами остаются уменьшение числа стартапов в последние годы (с 2011 г.) и сжатие венчурного финансирования, догоняющее развитие Германии в сфере биотехнологий.

Ключевые слова: локализованные перетоки знания, кластер, фармацевтическая промышленность, Бавария.

Введение. В результате научно-технической революции, ядром которой стали биотехнологии, микроэлектроника, информатика, коренным образом трансформировались методы организации производства, результатом чего стало углубление межфирменного разделения труда и специализации, а также переход к интегрированному труду. Изменилась модель инновационных процессов – от линейной в индустриальную эпоху (разобшение научно-исследовательских центров и промышленных предприятий, внедрявших результаты их исследований) к интерактивной модели в постиндустриальную эпоху (внедрение инноваций стало зависеть от взаимодействия различных специалистов в рамках сетевых территориальных объединений, внутри которых происходят локализованные перетоки знания).

По М. Фишеру, локализованные перетоки знания² – процесс, при котором знание, созданное одним лицом, может быть использовано другим без компенсации или с компенсацией меньшей, чем стоимость самого знания [Fischer, 2001]. При этом часто речь идет о неявном знании³, приобретаемым посредством практической деятельности, обучения. Несмотря на то что фактор перетоков знания в региональном экономическом развитии всегда был значим, в последние 20 лет понимание его роли существенно продвинулось, что, по А.Н. Пилясову, связано с углублением и расширением трактовки самого знания как «многомерного, системного

и эволюционного феномена», пронизывающего всю современную экономику [Синергия..., 2012]. Практическая кластерная политика также все больше способствует перетокам знания между участниками инновационного процесса. Характер границ и внутренних связей в рамках постиндустриальных территориальных структур изменился. Они стали мобильнее, тогда как в индустриальную эпоху были жестче. Так, кластеры, в отличие от территориально-производственных комплексов (ТПК), где важная роль принадлежит материальным потокам, демонстрируют эту гибкость и неочерченность.

Дадим общий обзор основных работ, посвященных кластерной проблематике, которые легли в основу исследований.

Общие теоретические положения созданы М. Портером [Porter, 1990] (основана концепция кластеров); М. Энрайтом [Enright, 2003], Э. Бергманом, Э. Фезером [Bergman, Feser, 1999] (региональные кластеры); Р. Мартином и П. Санли [Martin, Sunley, 2003], К. Кетельсом [Ketels, 2003], О. Сельвеллом [Sölvell, 2008], Г. Линдквистом [Lindquist, 2009] (критический анализ кластерной концепции); С. Розенфельдом [Rosenfeld, 1997] (роль кластеров в экономическом развитии); Х. Шмитцом [Schmitz, Nadvi, 1999] (история кластерной концепции); А. Мальбергом и П. Маскеллом [Malmberg, Maskell, 2001] (основы «знаниецентричной» концепции кластеров)⁴;

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, аспирант; e-mail: a.n.nosova@mail.ru

² Localized knowledge spillovers (англ.).

³ Неявное знание – вид знания, которое, в отличие от «явного», затруднительно передать другому человеку, записав или озвучив его. Оно особым образом проявляется в практической деятельности и передается посредством личных контактов, часто в результате обучения. Оно играет важную роль в наукоемких производствах.

⁴ Knowledge-based cluster concept (англ.).

Методы выявления кластеров созданы Э. Фезером и Э. Бергманом [Feser, Bergman, 2000], Й. Хаукнесом [Hauknes, 1998], М. Титце с соавторами [Titze et al., 2008] (метод затраты–выпуск для США, Норвегии, Германии соответственно); М. Фельдман и Д. Аудретшем [Feldman, Audretsch, 1996], М. Портером (см. в [Куценко, 2009]) (измерение концентрации отраслей); А.Е. Лублински [Lublinski, 2002] (опросы компаний);

Эволюция и причины зарождения кластеров рассмотрены Д. Аудретшем и М. Фельдман [Audretsch, Feldman, 1996] (связь динамики кластера и циклического развития отраслей); М.-П. Менцелем и Д. Форналем [Menzel, Fornahl, 2007] (разнообразие доступного знания и эволюция кластера); Р. Бошмой [Boschma, 2007] (влияние унаследованных факторов); Р. Штернбергом [Sternberg, 2010], Т. Бреннером, А. Мюлигом [Brenner, Mühligh, 2007], К. ван дер Линде [van der Linde, 2003] (анализ причин возникновения кластеров на ряде примеров); Э. Бергманом [Bergman, 2007] (обзор стадий эволюции кластеров); М. Маджиони [Maggioni, 2004], Б. Делумом с соавторами [Dalum et al., 2005] (технологические циклы и эволюция кластеров); М. Триппль, О. Отто [Trippel, Otto, 2009], Г. Грабхером [Grabher, 1993] (эволюция кластеров в старопромышленных районах); Р. Мартином и П. Санли [Martin, Sunley, 2011] (адаптационная модель жизненного цикла кластера); М.П. ван Дейком, А. Свериссоном [van Dijk, Sverrisson, 2003] (факторы возникновения кластеров в развивающихся странах) и др.

Вопросы кластерной политики (применительно к Германии) изучали М. Фромхольд-Айзебит, Г. Айзебит [Fromhold-Eisebith, Eisebith, 2005], К. Кошацки [Koschatzky, 2000], М. Фрич [Fritsch, 2003], М. Кизе [Kiese, 2012].

Отметим работу П. Маскелла и А. Мальмберга [2001], представивших «знаниецентричную» концепцию кластеров, в основе которой лежит представление о локализованных перетоках знания как важной агломерирующей силе. Эта концепция, как и идея о локализованных перетоках знания, становится все более популярной в зарубежных и отечественных исследованиях. В России акцент именно на этот аспект изучения кластеров делали А.Н. Пилясов [Синергия..., 2012], М.Ю. Шерешева [Шерешева, 2010], В.В. Маковеева [Маковеева, 2012], М.В. Медвецкий [Медвецкий, 2005], Н.В. Смородинская [Смородинская, 2012], И.А. Стрелец [Стрелец, 2003], В.Н. Минина с соавторами [Минина и др., 2012], О.Н. Большев и А.С. Михайлов [Большев, Михайлов, 2013] и др.

П. Маскелл и А. Мальмберг подчеркивают важность того, что за счет пространственной концентрации компании способны обучаться и осуществлять инновационную деятельность в особой местной среде, которая способствует перетокам

знания (сокращение издержек, связанное со взаимодействием). Но этот тезис, как они сами отмечают, не нов, его можно найти еще в работе А. Маршалла [1920].

Важна суть происходящих изменений: в кластерах НИИ и фирмы, включая, с одной стороны, поставщиков, клиентов и даже конкурентов, а с другой – отдельные сегменты производственного процесса, связаны обратными связями. Это не характерно для линейной модели, где связи были однонаправленны. Процесс производства новых знаний и потребления инноваций был разделен, но в настоящее время создание и усвоение знания – неотъемлемые части единого процесса и результат взаимных связей в рамках сетевых территориальных объединений.

В соответствии с интерактивной моделью инновационный процесс – динамичный процесс взаимодействий, в ходе которого совершаются локализованные перетоки знания, чаще неявного, которое затем превращается в знание явное. Это выражается в конкретных инновациях, росте числа компаний и их производительности, в качественных изменениях локальных территориальных структур. Локализованные перетоки знания меняются со временем и приобретают различные формы, их исследуют на разных уровнях – стран, регионов, кластеров, а также по-разному интерпретируют.

В целом, по М. Фельдман [1999], можно выделить три исследовательских подхода к изучению локализованных перетоков знания:

1) *изучение межстрановых торговых потоков*. Торговля между странами рассматривается как канал трансфера технологий и как следствие перетоков знания. Д. Коу и Э. Хэлпмен показали, что суммарная производительность факторов производства в конкретной стране зависит не только от ее собственных расходов на НИОКР, но и от соответствующих расходов в странах – ее торговых партнерах [Сое, Helpman, 1995]. При этом эластичность производительности факторов производства по зарубежным НИОКР наибольшая в так называемых малых странах⁵. У. Парк на примере 10 стран – членов ОЭСР подтвердил, что, во-первых, внутренние расходы на НИОКР определяются как внутренним, так и внешним ростом производительности факторов производства, и, во-вторых, что внешние государственные расходы на НИОКР стимулируют частные расходы на НИОКР внутри данной страны [Park, 1995];

2) *анализ патентных данных*. А. Джаффе, М. Трахтенберг и Р. Хендерсон предложили анализировать территориальную принадлежность цитируемых патентов и их авторов⁶, рассматривая отношение между «исходным» патентом и источниками цитирования для выявления перетоков знания [Jaffe et al., 1993]. Они сравнили вероятность территори-

⁵ Швейцария, Португалия, Норвегия, Нидерланды, Израиль, Ирландия, Дания, Бельгия, Австрия.

⁶ Цитирование патентов, по А. Джаффе, обозначает ссылку (или упоминание) в патентном документе на предшествующие патенты и описанные в них изобретения, имевшие значение для разработки данного патента.

ального совпадения двух патентов при условии, что цитирование будет иметь место, с вероятностью того, что произойдет совпадение вне зависимости от факта цитирования. Для этого авторы выбрали контрольный ряд патентов, близких по дате регистрации и патентному классу ко всем цитирующим патентам, которые, кроме того, не цитировали один и тот же патент, затем сравнили частоты территориального совпадения «исходных» и «контрольных» патентов, а также «исходных» патентов и патентов, цитирующих их. В результате выявлено, что фирмы в 5–10 раз чаще цитируют патенты университетов, расположенных в одном и том же метрополитенском статистическом ареале США. Это привело указанных авторов к утверждению, что перетоки знания – географически сконцентрированное явление. Для Германии подобное исследование выполнили Д. Форналь и С. Тран [Fornahl, Tran, 2012]. На примере биотехнологических центров ФРГ они проанализировали нахождение соавторов патентов, регистрируемых компаниями каждого из этих центров, и сделали вывод, что локализованные перетоки знания наиболее интенсивны в центрах одновременной концентрации авторов и соавторов патентов;

3) *исследование размещения инновационных компаний по их близости к местам работы высококвалифицированных специалистов.* Одно из таких исследований – работа Л. Цукер с соавторами [Zucker et al., 2002], которые на примере биотехнологической отрасли США проанализировали географию размещения новых предприятий (стартапов) в контексте их близости к местам работы наиболее известных и успешных ученых. В качестве последних выступают ученые с наибольшей публикационной активностью. Показано, что существует высокая зависимость между числом возникших стартапов и географической концентрацией таких ученых. Выявлено, что эти компании более производительны в отношении роста доли продуктов, находящихся на стадии разработки и на рынке, роста численности занятых на фирмах.

Вместе с тем С. Бреши и Ф. Лисони обращают внимание на то, что часто речь идет о контрактном механизме передачи знания между компаниями и НИИ: малые фирмы, не имеющие возможности развивать свои департаменты НИОКР, вынуждены размещаться вблизи местных университетов, которые на платной основе проводят для них исследования [Breschi, Lissoni, 2001]. Для учета нематериальных перетоков знания, по их мнению, необходима более гибкая и мягкая методика. Важно учитывать служебные передвижения ключевых профессионалов, или шире – миграцию высококвалифицированных специалистов – носителей нового знания. Эта идея использована в исследовании.

Материалы и методы исследований. Автором отобраны свыше 20 работ, вышедших в период с 1999 по 2015 г. и посвященных изучению наличия

и интенсивности перетоков знания, обусловленных миграциями высококвалифицированных специалистов. Интенсивность перетоков знания измеряется экономическими показателями фирм, числом новых компаний и патентов. Применялись три группы методов:

1) *анализ патентных данных*, т.е. мобильность патентодержателей между фирмами. Так, на примере полупроводниковой отрасли С. Клеппером выявлено, что высокая мобильность патентодержателей в Силиконовой долине связана с большой интенсивностью возникновения спин-офф-компаний⁷ [Cheyue et al., 2015], а Р. Корредойра и Л. Розенкопф доказали высокую вероятность цитирования фирмой патента другой компании, куда перешел ее бывший сотрудник [Corredoira, Rosenkopf, 2010]. П. Алмейда и Б. Когут на примере той же отрасли США пришли к выводу, что места регистрации патентов зависят от направлений передвижения инженеров, а мобильность инженеров в пределах региона влияет на число цитирований патентов в нем (т.е. на локальный трансферт знаний) [Almeida, 1999]. Б. Диндароглу для всей обрабатывающей промышленности США показал, что трансферт знаний усиливается посредством миграции научно-технических кадров, имеющих патенты, а рыночная стоимость компаний возрастает на 1–3,1% в результате одного изменения места работы в расчете на 100 ученых [Dindaroglu, 2010];

2) *анализ специализированных обследований (или опросов) предприятий, демографических баз данных или подробной статистики занятости.* Подобные обследования проводились в «малых» странах Европы (Дания, Швеция, Финляндия) и на уровне ЕС в целом. На примере Швеции показано, что миграции работников со сходным, но не одинаковым перечнем компетенций, имеющихся на фирмах, куда они переходят на работу, больше всего влияют на производительность труда как на внутри-, так и на межрегиональном уровнях. Приток одинаковых навыков оказывает негативный эффект [Boschma et al., 2008]. На примере Дании Б. Тиммерманс и Р. Бошма показали то же: приток сходных знаний положительно влияет на производительность предприятий, а одинаковых – негативно (причем это характерно для всей Дании, кроме Копенгагена) [Timmermans, Boschma, 2013]. Й. Пёшль выявил для 12 стран ЕС, что мобильность высококвалифицированных специалистов увеличивает производительность компаний в среднем на 0,8% [Pöschl, 2013];

3) *интервьюирование*, которое ограничивается выявлением наиболее общих эффектов от мобильности высококвалифицированного персонала. Так, на примере французских биотехнологических компаний Д. Катрин с соавторами показали, что известные ученые обеспечивают компаниям широкую сеть контактов в науке и промышленности, устанавливают доверие у венчурных фирм и лучше способ-

⁷ Спин-офф-компании – фирмы, которые выходят из лабораторий университета, обособляясь в компании, независимые от университета.

ны трансформировать свой научно-технический потенциал в финансовый (владение акциями растущих компаний) [Catherine et al., 2004]. Д. Шиллер и Х.Р. Диез на примере 169 наиболее цитируемых ученых Германии, а также 20 перспективных ученых, участвовавших в Программе поддержки элитных университетов Германии, выявили, что >50% опрошенных высокоцитируемых ученых основали компании, и в среднем один ученый оказал поддержку трем новым стартапам [Schiller, Diez, 2008].

Таким образом, к основным целям подобных работ относятся определение влияния миграций высококвалифицированных специалистов – носителей нового знания – на экономические показатели компаний, установление соотношений между миграциями специалистов и возникновением стартапов, а также влияния мобильности специалистов на число цитирований патентов в регионе.

Вместе с тем лишь в нескольких исследованиях для Швеции и Дании акцентировано внимание на характере знания, перетоки которого обеспечивают высококвалифицированные специалисты, что в контексте все возрастающей роли знания в экономике представляется автору весьма важным. Кроме того, в большинстве работ по рассматриваемой теме не уделяется внимание географической составляющей; почти не учитываются эволюционный аспект и рамочные условия, складывавшиеся в тот или иной период времени; очень мало работ посвящено Германии.

В связи с этим в задачу исследований входило установление характера влияния локализованных перетоков знания, возникающих в ходе миграций высококвалифицированных кадров, на эволюцию высокотехнологичных кластеров в Баварии в связи с доминирующими в разные периоды времени условиями размещения высокотехнологичных компаний.

Для исследования выбран кластер биофармацевтики в районе Мюнхена. К такой отрасли, как биофармацевтика, в обороте которой весом вклад нового знания⁸, в наибольшей степени применима предлагаемая методика. Этот кластер начал формироваться с конца 1940-х гг., а институциональный фундамент в виде управляющей организации в форме общества с ограниченной ответственностью был создан правительством Баварии в 1997 г. по инициативе местных органов власти и объединений предпринимателей (в г. Мартинсрид).

В ходе исследований составлен список 433 фирм, входящих в кластер [Cluster..., 2015], включая их географическое положение, а также подотрасль специализации; определено число занятых и годы основания компаний на основе их веб-сайтов, базы данных Баварского общества международных экономических отношений [Bayerische..., 2015], а

также Общегерманского регистра предприятий [Unimedia..., 2015]; из различных официальных источников, включая профили в профессиональных социальных сетях (XING, LinkedIn) [XING, 2015; LinkedIn, 2015], взяты сведения о местах учебы и карьерном продвижении директоров компаний; на основе корпоративных материалов, аналитических публикаций выявлены причины размещения каждой компании в Баварии; проанализирована эволюция кластера и выделены 4 этапа его развития.

Временные границы этапов эволюции кластеров проведены с учетом истории развития хозяйства Баварии во второй половине XX–XXI в. При выборе метода определения хронологических этапов использованы данные о временных рамках послевоенных экономических циклов в Германии. Подробно они описаны, например, в работе ученых Института Европы РАН [Германия..., 2009]. Кроме того, учитывались специальные финансовые программы поддержки, существенно повлиявшие на развитие изучаемой отрасли.

Установлены следующие этапы развития кластера:

I) 1948–1973 – период послевоенного экономического подъема; 1-й и 2-й послевоенные экономические циклы;

II) 1974–1994 – переход от индустриального к постиндустриальному этапу развития экономики и ориентация на наукоемкие отрасли; 3-й и 4-й послевоенные экономические циклы;

III) 1994–2005 – 5-й послевоенный экономический цикл; действие программ «Бавария – прорыв в будущее» (земельный уровень) и «BioRegio» (1997–2005, федеральный уровень), цель которых (в том числе) – форсирование развития биотехнологий. В рамках последней программы Мюнхен и Регенсбург были выбраны победителями конкурса «биорегионов»;

IV) 2006–2014 – 6-й и 7-й послевоенные экономические циклы; действие земельной программы «Кластерное наступление», нацеленной на интенсификацию обмена знаниями между участниками инновационного процесса путем объединения их в сети – отраслевые и межотраслевые кластеры земельного масштаба (19 кластеров, включая изучаемый) [Clusteroffensive..., 2014]. Этап кластерной политики 2006–2011 гг. был профинансирован в объеме 45 млн евро, этап 2012–2015 гг. – в объеме 21,6 млн евро, а этап 2016–2019 гг. – в объеме 17 млн евро. В 2010 г. федеральные власти провели конкурс высокотехнологичных кластеров Германии, выбрав в качестве победителей 15 самых конкурентоспособных сетевых структур. Каждая из них получила 40 млн евро на 5 лет, включая сетевую инициативу «m⁴ – персонализированная медицина в районе Мюнхена», куда входят ведущие фармацевтические компании региона [Cluster m⁴ ..., 2015].

⁸ Доля расходов на НИОКР в обороте продукции германской фармацевтики наряду с авиаракетно-космической промышленностью остается одной из самых высоких среди отраслей обрабатывающей промышленности (10,2 и 11,4% соответственно) [FuE-Datenreport..., 2013].

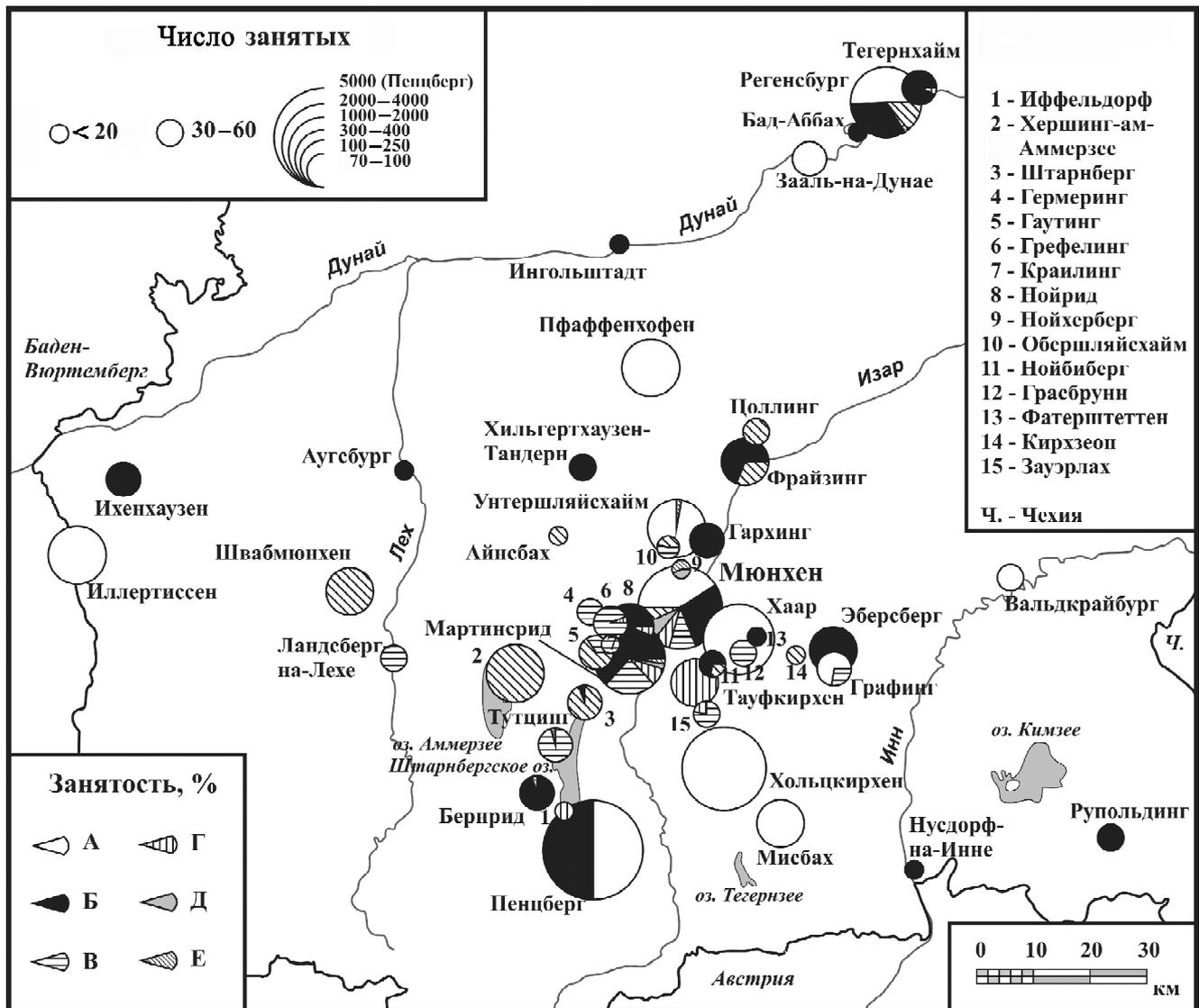


Рис. 1. Географическая структура кластера биофармацевтики в районе Мюнхена. Занятость (%): А – производство лекарств и вакцин; Б – производство протеинов, ферментов и антител; В – клинические и доклинические исследования (CRO-компании); Г – производство биореагентов; Д – биоинформатика, производство программного обеспечения; Е – производство специального оборудования, в том числе медицинского

Результаты исследований и их обсуждение. Географическая структура кластера показана на рис. 1, где отражена специализация городов Баварии в фармацевтической отрасли с учетом занятости в каждом из них. В Баварии производится 5% всей продукции фармацевтики в ФРГ, сосредоточено 15% всех биотехнологических компаний (1-е место наряду с Берлином), она занимает 5-е место в ФРГ по численности занятых в отрасли (25 000 человек) и 2-е – по численности занятых на биотехнологических фирмах (после земли Северный Рейн–Вестфалия).

Как видно на рис. 1, крупнейшие центры, где осуществляется финальное производство лекарственных препаратов, – Пенцберг («Roche», единственный завод компании в мире, на котором осуществляются НИОКР, производство действующих веществ и готовых фармацевтических препаратов), Хольцкирхен («Sandoz», «Novartis»), Иллертиссен («R-Pharm»), Графинг («Merck KGaA»).

В кластер входят компании с разной специализацией: производители готовых лекарственных препаратов, действующих веществ, биореагентов, специального оборудования, компании в сфере биоинформатики, проведения клинических и доклинических исследований, а также фирмы, предоставляющие специализированные услуги (не показаны на карте): налоговые и правовые консультации, регистрацию патентов, поиск персонала, венчурное финансирование и др. Особенность кластера в Мюнхене – специализация на наиболее инновационной сфере – производстве действующих веществ на основе биотехнологий и генной инженерии. Таким образом, входящие в кластер компании отражают весь спектр родственных и поддерживающих отраслей.

Рассмотрим эволюцию источников локализованных перетоков знания в контексте доминирующих в разное время условий размещения компаний.

Источники знания, привносимого работниками в кластер, имеют разное происхождение и изменя-

ются в ходе его эволюции. На основе анализа профессиональных передвижений директоров компаний эти источники подразделяются на шесть групп:

1) знания из смежных отраслей экономики (фирмы, которые осуществляют поставку сопутствующих товаров или предоставляют услуги, не связанные с производственным процессом);

2) привнесенные знания и опыт из других регионов ФРГ или зарубежных стран (фирмы из других федеральных земель или зарубежных стран, разместившиеся в Баварии);

3) опыт и знания, приобретенные на фирмах за пределами Баварии (фирмы, основанные в Баварии предпринимателями, получившими опыт за рубежом или в других регионах ФРГ);

4) опыт и знания, приобретенные на фирмах в Баварии (фирмы, которые основаны предпринимателями, получившими практический опыт в пределах кластера);

5) научные знания университетов и НИИ (спин-офф-компании, основанные недавними выпускниками аспирантуры университетов или действующими учеными);

6) знания материнских фирм кластера. В эту группу включены дочерние предприятия всех компаний из названных выше групп.

I этап (до 1972 г., рис. 2). В 1949 г. компания «Boehringer Mannheim» перенесла из разрушенного войной Мангейма часть производственных мощностей и заложила фундамент новейшего в то время биохимического производства в Тутцингене. С расширением производства в 1972 г. завод был перенесен в соседний Пенцберг, власти которого предложили фирме выгодные налоговые условия. В дальнейшем американский концерн «Pfizer» и компания «Merck» из Дармштадта приобрели старые фармацевтические заводы и разместились в Баварии. В 1949 г. в Мюнхен из Берлина переместилось Немецкое патентное ведомство. Доминировало, как показано на рис. 2, привнесенное, неместное знание. Знание смежных отраслей экономики концентрировали в это время консалтинговые фирмы. Таким образом, главными инициаторскими событиями для возникновения кластера стали фактор случая и фактор зависимости от исторических условий.

II этап (1973–1993, рис. 2). Правительством Баварии создана научно-исследовательская инфраструктура: открыты Институт биохимии Общества Макса Планка в Мартинсриде (1973), университетская клиника Гроссхадерн (1977), один из четырех в ФРГ генетических центров (1984)⁹. В 1977 г. в Мюнхене завершилось строительство Европейского патентного ведомства. С этого времени и общегерманское, и общеевропейское ведомства размеща-

ются в Баварии. Основаны юридические фирмы, представляющие интересы компаний перед этими ведомствами. Многие из их сотрудников имеют научную степень в области фармацевтики, что позволяет лучше понимать потребности клиентов.

В 1986 г. в Хольцкирхене основана компания «Hexal», производитель дженериков, один из немногих примеров новых германских фармацевтических компаний в послевоенной истории ФРГ.

В этот период специалисты, работавшие на баварских предприятиях, но не имевшие опыта проведения такой работы по стандартам, которые приняты в странах, где отрасль развивалась раньше, основали компании, занимающиеся клиническими и доклиническими исследованиями для крупных фармацевтических фирм. В ряде случаев их консультировали американские и канадские специалисты.

На рубеже 1990-х гг. созданы первые баварские биотехнологические компании, наследующие местное научное знание: «Morphosys» (коммерциализация разработок, полученных в диссертационных исследованиях), «Mikrogen» (директор работал в Институте биохимии Общества Макса Планка), «Micromet» (основана профессором Института иммунологии Мюнхенского университета).

Таким образом, на этом этапе эволюции кластера важную роль сыграли опыт, накопленный баварскими предпринимателями и учеными за рубежом, знание, приобретенное у иностранных специалистов (связано с недостаточным развитием отрасли в то время в федеральной земле), научное знание университетов при основании компаний в сфере услуг, а также первых спин-офф-фирм – производителей действующих веществ для препаратов. Наиболее инновационные, менее кодифицированные знания приобретались вне Баварии, в то время как местные знания доминировали в сопутствующих отраслях промышленности и сферы услуг.

III этап (1994–2005, рис. 3). Благодаря государственной поддержке, которая осуществлялась федеральным правительством в связи с необходимостью развития биотехнологий в ФРГ, отстававшей от других развитых стран в этой сфере, в указанный период возникло 60% всех биотехнологических компаний кластера (или 36% компаний, возникших за этот период), главным источником знаний для которых были местные университеты и НИИ. Как видно на карте (рис. 3), появился новый центр – Регенсбург, получивший финансирование в рамках программы «BioRegio». Для поддержки стартапов в 1999 г. в Регенсбурге, а также в Мюнхене и Мартинсриде были созданы бизнес-инкубаторы, в связи с чем спин-офф-компании стали концентрироваться преимущественно в этих городах.

⁹ Среди ключевых лиц, участвовавших в развитии кластера, были специалисты, привнесшие в Баварию «внешнее» новое знание: Э.-Л. Виннакер, который создал Генетический центр, получил образование и опыт работы в Швейцарии и США и в 1977 г. стал профессором биохимии в Мюнхенском университете; Д. Барон, который стал в 1994 г. директором одного из подразделений компании «Boehringer Mannheim» в Баварии, он получил докторскую степень в Бостоне, работал в Тюбингене, преподавал в Мюнхенском университете. Научный потенциал формировали нобелевские лауреаты Ф. Линен и Р. Хубер, учившиеся в Баварии (последний в 1971–2005 гг. возглавлял Институт биохимии Общества Макса Планка).

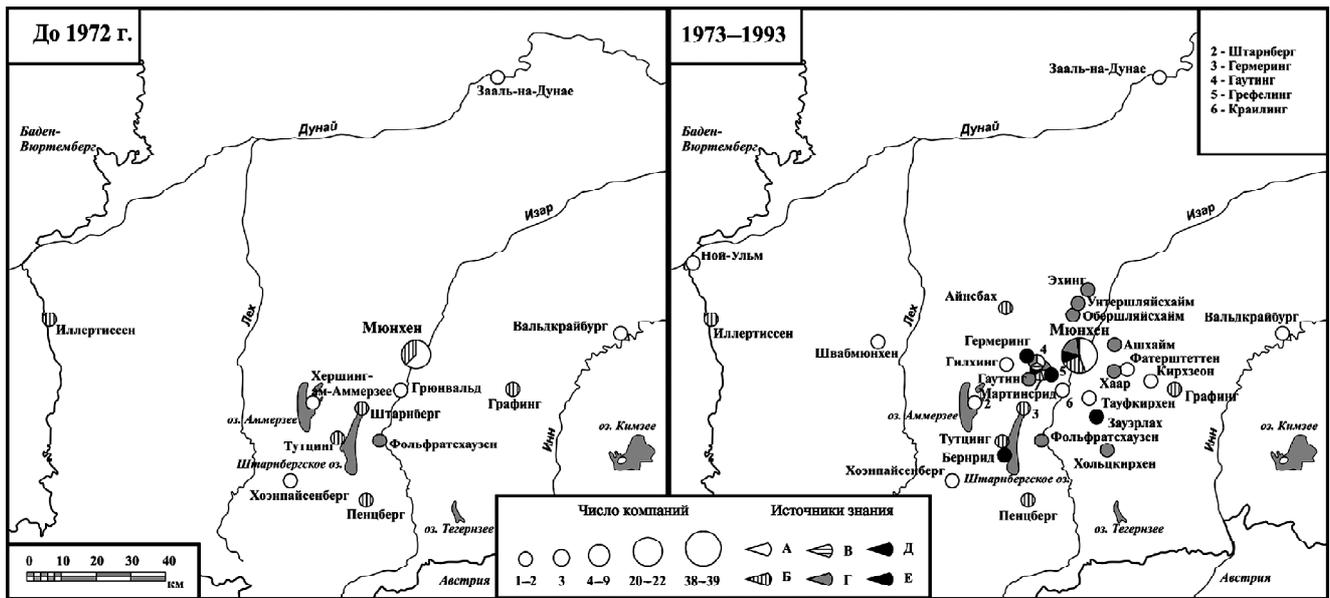


Рис. 2. Источники локализованных перетоков знания в кластере биофармацевтики до 1972 г. и в 1973–1993 гг.: А – из смежных отраслей, Б – из других регионов, В – от немецких фирм (кроме баварских), Г – от баварских фирм, Д – из университетов и НИИ, Е – от материнских фирм кластера

Основаны первые венчурные фирмы с государственным («Bayern Kapital») и частным капиталом. Практически все немногочисленные венчурные частные компании основаны специалистами, получившими подобный опыт за рубежом.

В мировой фармацевтической отрасли 1990-е гг. ознаменовались серией слияний и поглощений, что сопровождалось продажей неприбыльных активов и концентрацией усилий на наиболее конкурентос-

пособных активах. Например, в Баварии заводы «Boehringer Mannheim» проданы компании «Roche», фирма «Novartis» поглотила фирму «Hexal», в результате увеличилась доля внешних, глобальных знаний в кластере.

На развитие кластера на этом этапе повлияли следующие факторы: 1) хорошая научно-исследовательская база, созданная на предыдущем этапе; 2) положительное отношение к новым инициа-

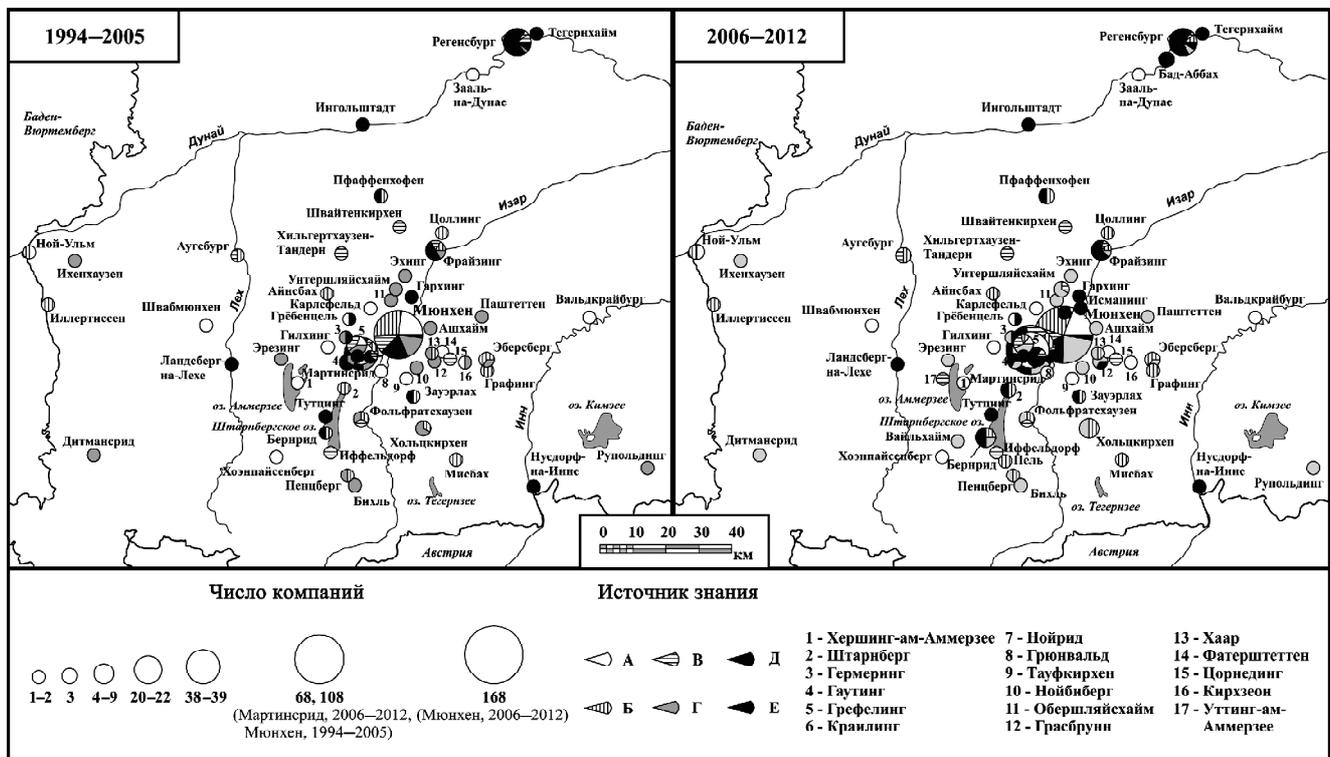


Рис. 3. Источники локализованных перетоков знания в кластере биофармацевтики в 1994–2005 и в 2006–2012 гг.: А – из смежных отраслей, Б – из других регионов, В – от немецких фирм (кроме баварских), Г – от баварских фирм, Д – из университетов и НИИ, Е – от материнских фирм кластера

тивам со стороны баварского руководства и эффективное управление кластером; 3) благоприятная окружающая среда, привлекавшая таланты. Благодаря программам поддержки начинающих предпринимателей, а также созданию инфраструктуры существенная часть компаний основана с опорой на местное знание, полученное в НИИ и университетах (спин-офф-компании). Появились первые крупные венчурные инвесторы (иностранцы либо специалисты, получившие соответствующий опыт за рубежом); возросла доля биотехнологических компаний, основанных предпринимателями, проработавшими в местных компаниях и использовавшими полученные знания в собственных фирмах.

IV этап (2006 – настоящее время, рис. 3). В 2006 г. в бизнес-инкубаторе в Мартинсриде основана кластерная платформа «BioM Biotech Cluster Development GmbH», призванная содействовать участникам кластера, которые становятся ассоциированными членами этой организации, в вопросах развития бизнеса, связей с общественностью, поиска персонала, трансферта технологий, проведения мероприятий.

В качестве ключевых в контексте локализованных перетоков знания по сравнению с предыдущими этапами выявлены следующие закономерности: 1) рост доли фирм, которые основаны бывшими сотрудниками компаний этого баварского кластера, осуществляющих трансферт полученных знаний в собственный бизнес; 2) рост доли компаний, возникших в результате научных разработок местных НИИ (она составляет на 2014 г. 27% от общего числа фирм кластера); 3) рост доли дочерних компаний, в том числе спин-офф-компаний местных НИИ.

Однако доминируют знания компаний из других стран и регионов ФРГ (31% фирм). Если до конца 1980-х гг. их носителями были производители сложных продуктов – протеинов, ферментов и антител, местные компании занимались исследовательской деятельностью, а впоследствии биоинформатикой и специальными услугами, то в 1990-х гг. благодаря государственной поддержке возникли местные баварские компании – носители научного знания, производящие действующие вещества для препаратов.

В результате анализа общая схема эволюции кластера выглядит следующим образом: 1) 1946–1972 – размещение крупных иностранных высокотехнологических компаний – «катализаторов» развития кластера и начало диффузии внешнего знания; 2) 1973–1993 – основание НИИ, одновременное развитие как собственных научных школ, так и использование зарубежных знаний; появление местных сервисных фирм, ориентирующихся на потребности крупных фирм; 3) 1994–2005 – интенсификация процесса основания биотехнологических спин-офф-компаний, наследующих знание местных академических институтов; 4) 2006–2014 – постепенный рост доли компаний, основанных бывшими сотруд-

никами фирм кластера, а также дочерних фирм, наследующих знание материнских компаний кластера, в том числе спин-офф-фирм академических институтов.

Выводы:

– баварская и германская инновационная системы до сих пор сильны во внедрении инкрементальных инноваций и отстают в прорывных инновациях, куда относятся биотехнологии. Появлению новых биотехнологических фирм в мюнхенском кластере во многом способствовала государственная поддержка отрасли федеральными и земельными властями, нацеленная на ускорение трансферта знаний от науки в промышленность. Возникновение стартапов в кластере в Мюнхене, как и в Германии в целом, в последние годы (с 2011 г.) замедляется;

– с течением времени возрастает роль местного знания как фактора эволюции кластера. Знание баварцев, получивших опыт работы за рубежом и непосредственно в баварских компаниях, доминирует в секторе специализированных услуг. Предприятия, основанные иностранными фирмами и наследующие внешнее знание, действуют главным образом в производстве. Опыт иностранных специалистов и баварцев, получивших знания за рубежом, сыграл существенную роль в возникновении венчурного финансирования биотехнологических компаний, объем которого после окончания программ поддержки и в связи с большой налоговой нагрузкой значительно уменьшился. Указанное подтверждает общую тенденцию к «догоняющему» развитию отрасли в стране;

– изменились ведущие условия размещения высокотехнологических компаний. На начальном этапе определяющими были перенос предприятий из разрушенных войной регионов, унаследованные особенности развития (на месте существования сходного производства), налоговые льготы; затем все большее значение приобрел доступ к пулу высококвалифицированной рабочей силы, близость к университетам и НИИ. В настоящее время главную роль играют другие условия, привлекающие компании в регион. К ним относятся возможность получить государственное финансирование и другие формы поддержки (особенно для малых инновационных компаний), доступ к инфраструктуре (бизнес-инкубаторам, технологическим центрам) и к широкому кругу участников инновационного процесса для получения специализированных знаний, а также качество и имидж Баварии в качестве места для размещения бизнеса;

– к главным иницилирующим событиям, ведущим к возникновению высокотехнологических кластеров, относятся случайные события или зависимость от прошлого пути. При наличии развитой системы НИИ вступают в действие мобильность кадров, возникновение спин-офф-компаний. Затем пул инновационных компаний формирует положительные внешние экстерналии, привлекающие в регион новые фирмы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Большачев О.Н., Михайлов А.С.* Особенности трансформации сетевых объединений в экономике // Балтийский регион. 2014. № 3 (21). С. 41–55.
- Германия. Вызовы XXI века / Под ред. В.Б. Белова. М.: Весь мир, 2009.
- Куценко Е.С.* Кластеры в экономике: практика выявления. Обобщение зарубежного опыта // Обозреватель – Observer. 2009. № 10 (237). С. 109–126.
- Маковеева В.В.* Сетевое взаимодействие – ключевой фактор развития интеграции образования, науки и бизнеса // Вестн. Томского гос. ун-та. 2012. № 354. С. 163–166.
- Медвецкий М.В.* Нематериальные активы в сетях инновационных процессов // Научн. труды Ин-та народнохозяйственного прогнозирования РАН / Гл. ред. А.Г. Коровкин. М.: МАКС Пресс, 2005. С. 176–186.
- Минина В.Н., Басов Н.В., Демидова И.Д.* Интегративный комплекс как форма сетевого взаимодействия науки, образования и бизнеса // Журн. социологии и социальной антропологии. 2012. Т. 15, № 5 (58). С. 306–325.
- Синергия пространства: региональные инновационные системы, кластеры и перетоки знания / Отв. ред. А.Н. Пилясов. Смоленск: Ойкумена, 2012.
- Сморodinская Н.В.* Смена парадигмы мирового развития и становление сетевой экономики // Экон. социология. 2012. Т. 13, № 4. С. 95–115.
- Стрелец И.А.* Общество сетевых структур и информационный ресурс как сетевое благо // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 6. Экономика. 2003. № 5. С. 3–18.
- Шерешева М.Ю.* Формы сетевого взаимодействия компаний. М.: Изд. дом Гос. ун-та Высшая школа экономики, 2010.
- Almeida P., Kogut B.* Localization of Knowledge and the Mobility of Engineers in Regional Networks // Management Sci. 1999. Vol. 45, no 7, pp. 905–917.
- Audretsch D., Feldman M.* Innovative clusters and the industry life cycle // Rev. Industrial organization. 1996. Vol. 11, no 2, pp. 253–273.
- Bayerische Gesellschaft für Internationale Wirtschaftsbeziehungen mbH. URL: <http://www.bayern-international.de/> (дата обращения: 21.08.2015).
- Bergman E.M.* Cluster life-cycles: an emerging synthesis // SRE. Discuss. Pap. 2007, no 4, pp. 1–19.
- Bergman E.M., Feser E.J.* Industrial and Regional Clusters: Concepts and Comparative Applications // Morgantown, WV: WVU Region. Res. Institute Web Book, 1999.
- Boschma R.* Path creation, path dependence and regional development // Path Dependence and the Evolution of City Regional Economies, Working Pap. Ser. 2007, no 197, pp. 40–55.
- Boschma R., Eriksson R., Lindgren U.* Labour mobility, related variety and the performance of plants: A Swedish study // Pap. Evolution. Econ. Geogr. 2008, no 08.09, pp. 1–15.
- Brenner Th., Mühlhig A.* Factors and mechanisms causing the emergence of local industrial clusters – a meta-study of 159 cases // Pap. on economic and evolution. 2007, no 0723, pp. 2–30.
- Breschi S., Lissoni F.* Knowledge spillovers and local innovation systems: a critical survey // Liuc Pap., Ser. economia e impresa. 2001, no 84, pp. 1–23.
- Catherine D., Corolleur F., Carrere M., Mangematin V.* Turning scientific knowledge into capital: the experience of biotech start-ups in France // Res. Policy. 2004. Vol. 33, iss. 4, pp. 631–642.
- Cheyre C., Klepper S., Veloso F.* Spin-offs and the mobility of US merchant semiconductor inventors // Management Sci. 2015. Vol. 61, no 3, pp. 487–506.
- Cluster m⁴. URL: <http://www.m4.de/> (дата обращения: 21.08.2015).
- Clusteroffensive Bayern. Im Netzwerk zum Erfolg // Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie. München, 2014, s. 3–36.
- Coe D.T., Helpman E.* International R&D spillovers // Europ. Econ. Rev. 1995. Vol. 39, iss. 5, pp. 859–887.
- Corredoira R., Rosenkopf L.* Should Auld Acquaintance Be Forgotten? The Reverse Transfer of Knowledge through Mobility Ties // Strategic Management J. 2010. Vol. 31, iss. 2, pp. 159–181.
- Dalum B., Pedersen Ch., Villumsen G.* Technological Life-Cycles: Lessons from a Cluster Facing Disruption // Europ. Urban and Regional Stud. 2005. Vol. 12, no 3, pp. 229–246.
- Dindaroglu B.* Intra-Industry Knowledge Spillovers and Scientific Labor Mobility // Discuss. Pap. from University at Albany, SUNY, Department of Economics. 2010, pp. 1–32.
- Enright M.J.* Regional clusters: what we know and what we should know // Innovation Clusters and Interregional Competition. Berlin; Heidelberg: New York: Springer, 2003, pp. 99–129.
- Feldman M.* The new economics of innovation, spillovers and agglomeration: a review of empirical studies // Econ. of Innovation and New Technology. 1999. Vol. 8, iss. 1–2, pp. 5–25.
- Feldman M.P., Audretsch D.B.* Location, location, location: The geography of innovation and knowledge spillovers // Discuss. Pap., Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), Forschungsschwerpunkt Marktprozess und Unternehmensentwicklung, Forschungsprofessur Technologischer Wandel und Industrieumstrukturierung. 1996, no FS IV 96–28, pp. 11–16.
- Feser E., Bergman E.* National industry cluster templates: A framework for applied regional cluster analysis // Region. Stud. 2000. Vol. 34, no 1, pp. 4–6.
- Fischer M.* Innovation, knowledge creation and systems of innovation // Annals of Region. Sci. 2001, no 35, 7 p.
- Fornahl D., Tran C.A.* The development of local-global linkages in the biotech-districts in Germany: local embeddedness or distance learning? // Business networks in clusters and industrial districts. The governance of the global value chain. NY.: Routledge, 2012.
- Fritsch M.* Von der innovationsorientierten Regionalförderung zur regionalisierten Innovationspolitik // Freiburger Arbeitspapiere. 2003, no 8, s. 1–22.
- Fromhold-Eisebith M., Eisebith G.* How to institutionalize innovative clusters? Comparing explicit top-down and implicit bottom-up approaches // Res. Policy. 2005. Vol. 34, pp. 1250–1268.
- FuE-Datenreport 2013. Tabellen und Daten. URL: http://stifterverband.info/statistik_und_analysen/wissenschaftsstatistik/publikationen/fue_datenreport/fue_datenreport_2013_tabellen_und_daten.pdf (дата обращения: 21.08.2015).
- Gabher G.* The weakness of strong ties. The lock-in of regional development in the Ruhr area // The Embedded Firm. 1993, pp. 255–277.
- Hauknes J.* Norwegian input-output clusters and innovation patterns // STEP Group. Oslo. 1998, pp. 5–7.
- Imeida P., Kogut B.* Localization of Knowledge and the Mobility of Engineers in Regional Networks // Management Sci. 1999. Vol. 45, no 7, pp. 905–917.
- Jaffe A.B., Trajtenberg M., Henderson R.* Geographic localisation of knowledge spillovers as evidenced by patent citations // Quarterly J. Econ. 1993, no 108 (3), pp. 577–598.
- Ketels Ch.* The Development of the cluster concept – present experiences and further developments // Rep. of the NRW conference on clusters. December. Duisburg, 2003.
- Kiese M.* Regionale Clusterpolitik in Deutschland. Bestandsaufnahme und interregionaler Vergleich im Spannungsfeld von Theorie und Praxis. Marburg: Metropolis-Verlag, 2012.

- Koschatzky K.* The regionalization of innovation policy in Germany – theoretical foundations and recent experience // Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Res. Working Papers Firms and Region. 2000, no R1, pp. 1–22.
- Lindquist G.* Disentangling clusters. Agglomeration and proximity effects: Dissert. for the Degree of Doctor of Philosophy, Ph.D Stockholm School of Economics, 2009.
- LinkedIn. URL: <https://de.linkedin.com/> (дата обращения: 04.07.2015).
- Lublinski A.E.* Geographical business clusters – Concepts for cluster-identification with an application to an alleged aeronautics cluster in Northern Germany: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Hamburg, 2002.
- Maggioni M.A.* The rise and fall of industrial clusters: Technology and the life cycle of region // Inst. d'Economia de Barcelona. Docum. de treball. 2004, no 6, pp. 1–31.
- Malmberg A., Maskell P.* Towards a knowledge-based theory of the geographical cluster // Industrial and corporate change. 2001. Vol. 10, no 4, pp. 921–938.
- Marshall A.* Principles of Economics. L.: Macmillan and Co, 1920.
- Martin R., Sunley P.* Conceptualising Cluster Evolution: Beyond the Life-Cycle Model? // Pap. in Evolutionary Econ. Geogr. 2011, no 11, 12, pp. 2–39.
- Martin R., Sunley P.* Deconstructing clusters: Chaotic concept or policy panacea? // J. Econ. Geogr. 2003. Vol. 3, iss. 1, pp. 5–35.
- Menzel M.-P., Fornahl D.* Cluster life cycles: dimensions and rationales of cluster development // Jena Econ. Res. Pap. 2007, no 2007-076, pp. 2–37.
- Park W.G.* International R&D spillovers and OECD economic growth // Econ. Enquiry. 1995. Vol. 33, no 4, pp. 571–591.
- Porter M.E.* The Competitive Advantage of Nations. N.Y.: Free Press, 1990.
- Pöschl J., Foster N.* Productivity effects of knowledge transfers through labour mobility // FIW Working Pap. 2013, no 117, pp. 2–33.
- Rosenfeld S.* Bringing business clusters into the mainstream of economic development // European Planning Stud. 1997. Vol. 5, iss. 1, pp. 3–24.
- Schiller D., Diez J.R.* Mobile star scientists as regional knowledge spillover agents // IAREG Working Pap. 2008, no 11, WP2/7, pp. 3–33.
- Schmitz H., Nadvi Kh.* Clustering and Industrialization: Introduction // World Develop. 1999. Vol. 27, no 9, pp. 1503–1514.
- Sölvell Ö.* Clusters – Balancing evolutionary and constructive forces. Stockholm: Ivory Tower Publishing, 2008.
- Sternberg R.* Neither planned nor by chance: how knowledge-intensive clusters emerge? // Emerging clusters. Theoretical, empirical and political perspectives on the initial stage of cluster evolution. Cheltenham; Northampton: Edward Elgar, 2010, pp. 295–318.
- Timmermans B., Boschma R.* The effect of intra- and inter-regional labour mobility on plant performance in Denmark: the significance of related labour inflows // J. Econ. Geogr. 2013. Vol. 14, no 2, pp. 289–311.
- Titze M., Brachert M., Kubis A.* The Identification of Regional Industrial Clusters Using Qualitative Input-Output Analysis // IWH-Discussion Pap. 2008, no 13, pp. 5–22.
- Trippel M., Otto A.* How to turn the fate of old industrial areas: a comparison of cluster-based renewal processes in Styria and the Saarland // Environ. and Planning A. 2009. Vol. 41, pp. 1217–1233.
- Unimedia GmbH. URL: <http://www.unternehmen24.info/> (дата обращения: 21.08.2015).
- van der Linde C.* The demography of clusters – findings from the cluster meta-study // Innovation clusters and interregional competition. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2003, pp. 103–149.
- van Dijk M.P., Sverrisson A.* Enterprise clusters in developing countries: mechanisms of transition and stagnation // Entrepreneurship and Region. Developm. 2003. Vol. 15, pp. 183–206.
- XING. URL: <https://www.xing.com/> (дата обращения: 21.08.2015).
- Zucker L.G., Darby M.R., Armstrong J.S.* Commercializing Knowledge: University Science, Knowledge Capture, and Firm Performance in Biotechnology // Management Sci. 2002, no 48(1), pp. 149–167.

Поступила в редакцию 10.11.2014
Принята к публикации 11.09.2015

A.N. Nosova¹

LOCALIZED KNOWLEDGE SPILLOVERS AND THE DEVELOPMENT OF HIGH-TECHNOLOGY CLUSTERS IN BAVARIA

Evolution of high-technology clusters influenced by the localized knowledge spillovers resulting from migration of highly skilled professionals who established their companies in Bavaria is discussed. The case study is the biopharmaceutical cluster centered in Munich. The study revealed that the changing role of the sources of localized knowledge spillovers correlates with location of high-tech companies. In 1950–1970s when large high-tech enterprises were moved to Bavaria from other federal states the external knowledge of experts from other regions and countries, as well as Bavarians who studied or worked abroad was critical. Then more and more firms were established by entrepreneurs who acquired knowledge in Bavarian companies. In the 1990s when the technology and cluster policy started the access to specialized infrastructure and financing and subsequently to a wide range of the innovation actors for obtaining specialized knowledge gained in importance. The increasing number of companies was established by the representatives of Bavaria's research institutes and universities and the role of the «local» knowledge acquired within the region increased too. Among the main problems there are still recent decline in startups (since 2011), reduction of venture capital, as well as catching-up development of biotechnologies in Germany.

Keywords: localized knowledge spillovers, cluster, pharmaceutical industry, Bavaria.

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Social and Economic Geography of Foreign Countries, post-graduate student; e-mail: a.n.nosova@mail.ru

REFERENCES

- Audretsch D., Feldman M.* Innovative clusters and the industry life cycle // *Rev. Industrial organization*. 1996. Vol. 11, no 2. pp. 253–273.
- Bayerische Gesellschaft für Internationale Wirtschaftsbeziehungen mbH. URL: <http://www.bayern-international.de/> (дата обращения: 21.08.2015).
- Bergman E.M.* Cluster life-cycles: an emerging synthesis // *SRE. Discuss. Pap.* 2007, no 4, pp. 1–19.
- Bergman E.M., Feser E.J.* *Industrial and Regional Clusters: Concepts and Comparative Applications* // Morgantown, WV: WVU Region. Res. Institute Web Book, 1999.
- Bolychev O.N., Mihajlov A.S.* Osobennosti transformacii setevyh objedinenij v ekonomike [Transformation patterns of network associations in the economy], Baltijskij region, 2014, no 3 (21), pp. 41–55 (in Russian).
- Boschma R.* Path creation, path dependence and regional development // *Path Dependence and the Evolution of City Regional Economies, Working Pap. Ser.* 2007, no 197, pp. 40–55.
- Boschma R., Eriksson R., Lindgren U.* Labour mobility, related variety and the performance of plants: A Swedish study // *Pap. Evolution. Econ. Geogr.* 2008, no 08.09, pp. 1–15.
- Brenner Th., Mühlig A.* Factors and mechanisms causing the emergence of local industrial clusters – a meta-study of 159 cases // *Pap. on economic and evolution*. 2007, no 0723, pp. 2–30.
- Breschi S., Lissoni F.* Knowledge spillovers and local innovation systems: a critical survey // *Liuc Pap., Ser. economia e impresa*. 2001, no 84, pp. 1–23.
- Catherine D., Corolleur F., Carrere M., Mangematin V.* Turning scientific knowledge into capital: the experience of biotech start-ups in France // *Res. Policy*. 2004. Vol. 33, iss. 4, pp. 631–642.
- Cheyre C., Klepper S., Veloso F.* Spin-offs and the mobility of US merchant semiconductor inventors // *Management Sci.* 2015. Vol. 61, no 3, pp. 487–506.
- Cluster m⁴. URL: <http://www.m4.de/> (дата обращения: 21.08.2015).
- Clusteroffensive Bayern. Im Netzwerk zum Erfolg // Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie. München, 2014, s. 3–36.
- Coe D.T., Helpman E.* International R&D spillovers // *Eur. Econ. Rev.* 1995. Vol. 39, iss. 5. pp. 859–887.
- Corredoira R., Rosenkopf L.* Should Auld Acquaintance Be Forgo? The Reverse Transfer of Knowledge through Mobility Ties // *Strategic Management J.* 2010. Vol. 31, iss. 2, pp. 159–181.
- Dalum B., Pedersen Ch., Villumsen G.* Technological Life-Cycles: Lessons from a Cluster Facing Disruption // *Eur. Urban and Regional Stud.* 2005. Vol. 12, no 3, pp. 229–246.
- Dindaroglu B.* Intra-Industry Knowledge Spillovers and Scientific Labor Mobility // *Discuss. Pap. from University at Albany, SUNY, Department of Economics*. 2010, pp. 1–32.
- Enright M.J.* Regional clusters: what we know and what we should know // *Innovation Clusters and Interregional Competition*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer, 2003, pp. 99–129.
- Feldman M.* The new economics of innovation, spillovers and agglomeration: a review of empirical studies // *Econ. of Innovation and New Technology*. 1999. Vol. 8, iss. 1–2, pp. 5–25.
- Feldman M.P., Audretsch D.B.* Location, location, location: The geography of innovation and knowledge spillovers // *Discuss. Pap., Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung (WZB), Forschungsschwerpunkt Marktprozess und Unternehmensentwicklung, Forschungsprofessur Technologischer Wandel und Industrieumstrukturierung*. 1996, no FS IV 96–28, pp. 11–16.
- Feser E., Bergman E.* National industry cluster templates: A framework for applied regional cluster analysis // *Region. Stud.* 2000. Vol. 34, no 1. pp. 4–6.
- Fischer M.* Innovation, knowledge creation and systems of innovation // *Annals of region. sci.* 2001, no 35, 7 p.
- Fornahl D., Tran C.A.* The development of local-global linkages in the biotech-districts in Germany: local embeddedness or distance learning? // *Business networks in clusters and industrial districts. The governance of the global value chain*. NY: Routledge, 2012.
- Fritsch M.* Von der innovationsorientierten Regionalförderung zur regionalisierten Innovationspolitik // *Freiberger Arbeitspapiere*. 2003, no 8, s. 1–22.
- Fromhold-Eisebith M., Eisebith G.* How to institutionalize innovative clusters? Comparing explicit top-down and implicit bottom-up approaches // *Res. Policy*. 2005. Vol. 34, pp. 1250–1268.
- FuE-Datenreport 2013. Tabellen und Daten. URL: http://stifterverband.info/statistik_und_analysen/wissenschaftsstatistik/publikationen/fue_datenreport/fue_datenreport_2013_tabellen_und_daten.pdf (Accessed: 21.08.2015).
- Germanija. Vyzovy XXI veka [Germany. Challenges of the XXI century], Pod red. V.B. Belova, Moscow, Izdatel'stvo Ves'mir, 2009 (in Russian).
- Grabher G.* The weakness of strong ties. The lock-in of regional development in the Ruhr area // *The Embedded Firm*. 1993, pp. 255–277.
- Hauknes J.* Norwegian input-output clusters and innovation patterns // *STEP Group*. Oslo. 1998, pp. 5–7.
- Imeida P., Kogut B.* Localization of Knowledge and the Mobility of Engineers in Regional Networks // *Management Sci.* 1999. Vol. 45, no 7, pp. 905–917.
- Jaffe A.B., Trajtenberg M., Henderson R.* Geographic localisation of knowledge spillovers as evidenced by patent citations // *Quarterly J. Econ.* 1993, no 108 (3), pp. 577–598.
- Ketels Ch.* The Development of the cluster concept – present experiences and further developments // *Rep. of the NRW conference on clusters*. December. Duisburg, 2003.
- Kiese M.* Regionale Clusterpolitik in Deutschland. Bestandsaufnahme und interregionaler Vergleich im Spannungsfeld von Theorie und Praxis. Marburg: Metropolis-Verlag, 2012.
- Koschatzky K.* The regionalization of innovation policy in Germany – theoretical foundations and recent experience // *Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Res. Working Papers Firms and Region*. 2000, no R1, pp. 1–22.
- Kutsenko E.S.* Klastery v ekonomike: praktika vyjavlenija. Obobshhenie zarubezhnogo opyta [Clusters in the economy: practice of identification. Generalization of international experience], *Obozrevatel' – Observer*, 2009, no 10 (237), pp. 109–126 (in Russian).
- Lindquist G.* Disentangling clusters. Agglomeration and proximity effects: Dissert. for the Degree of Doctor of Philosophy, Ph.D Stockholm School of Economics, 2009.
- LinkedIn. URL: <https://de.linkedin.com/> (дата обращения: 04.07.2015).
- Lublinski A.E.* Geographical business clusters – Concepts for cluster-identification with an application to an alleged aeronautics cluster in Northern Germany: Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Hamburg, 2002.
- Maggioni M.A.* The rise and fall of industrial clusters: Technology and the life cycle of region // *Inst. d'Economia de Barcelona. Docum. de treball*. 2004, no 6. pp. 1–31.
- Makoveeva V.V.* Setevoe vzaimodejstvie – kljuchevoj faktor razvitija integracii obrazovanija, nauki i biznesa [Network interaction – key factor for the development of the integration between education, science and business], *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no 354, pp. 163–166 (in Russian).
- Malmberg A., Maskell P.* Towards a knowledge-based theory of the geographical cluster // *Industrial and corporate change*. 2001. Vol. 10, no 4, pp. 921–938.
- Marshall A.* *Principles of Economics*. L.: Macmillan and Co, 1920.
- Martin R., Sunley P.* Conceptualising Cluster Evolution: Beyond the Life-Cycle Model? // *Pap. in Evolutionary Econ. Geogr.* 2011, no 11, 12, pp. 2–39.

- Martin R., Sunley P.* Deconstructing clusters: Chaotic concept or policy panacea? // *J. Econ. Geogr.* 2003. Vol. 3, iss. 1, pp. 5–35.
- Medvet'skij M.V.* Nematerial'nye aktivy v setjah innovacionnyh processov [Immaterial assets in the networks of innovation processes], *Nauchnye trudy Instituta narodnohozjajstvennogo prognozirovanija RAN*, gl. red. A.G. Korovkin, Moscow, MAKS Press, 2005, pp. 176–186 (in Russian).
- Menzel M.-P., Fornahl D.* Cluster life cycles: dimensions and rationales of cluster development // *Jena Econ. Res. Pap.* 2007, no 2007-076, pp. 2–37.
- Minina V.N., Basov N.V., Demidova I.D.* Integrativnyj kompleks kak forma setevogo vzaimodejstvija nauki, obrazovanija i biznesa [Integrative complex as a form of network interactions of science, education and business], *Zhurnal sociologii i social'noj antropologii*, 2012. Vol. 15, no 5 (58), pp. 306–325 (in Russian).
- Park W.G.* International R&D spillovers and OECD economic growth // *Econ. Enquiry*. 1995. Vol. 33, no 4, pp. 571–591.
- Porter M.E.* *The Competitive Advantage of Nations*. NY: Free Press, 1990.
- Pöschl J., Foster N.* Productivity effects of knowledge transfers through labour mobility // *FIW Working Pap.* 2013, no 117, pp. 2–33.
- Rosenfeld S.* Bringing business clusters into the mainstream of economic development // *European Planning Stud.* 1997. Vol. 5, iss. 1, pp. 3–24.
- Schiller D., Diez J.R.* Mobile star scientists as regional knowledge spillover agents // *IAREG Working Pap.* 2008, no 11, WP2/7, pp. 3–33.
- Schmitz H., Nadvi Kh.* Clustering and Industrialization: Introduction // *World Develop.* 1999. Vol. 27, no 9, pp. 1503–1514.
- Sheresheva M.Ju.* Formy setevogo vzaimodejstvija kompanij [Network forms of interactions between companies], *Izdatel'skij dom Gosudarstvennogo universiteta Vysshaja shkola ekonomiki*, Moscow, 2010 (in Russian).
- Sinergija prostranstva: regional'nye innovacionnye sistemy, klasteri i peretoki znanija* [Synergy in space: regional innovation systems, clusters, and knowledge spillovers], *Otv. red. A.N. Piljasov*, Smolensk, Ojkumena, 2012 (in Russian).
- Smorodinskaja N.V.* Smena paradigmi mirovogo razvitija i stanovlenie setevoj ekonomiki [A paradigm shift of world development and formation of network economy], *Ekonomicheskaja sociologija*, 2012. Vol. 13, no 4, pp. 95–115 (in Russian).
- Sternberg R.* Neither planned nor by chance: how knowledge-intensive clusters emerge? // *Emerging clusters. Theoretical, empirical and political perspectives on the initial stage of cluster evolution*. Cheltenham; Northampton: Edward Elgar, 2010, pp. 295–318.
- Strelets I.* Obshestvo setevyh struktur i informacionnyj resurs kak setevoe blago [A society of network structures and information resource as a network good], *Vestnik Moskovskogo Universiteta*, seria 6, *Ekonomika*, 2003, no 5, pp. 3–18 (in Russian).
- Sölvell Ö.* Clusters – Balancing evolutionary and constructive forces. Stockholm: Ivory Tower Publishing, 2008.
- Timmermans B., Boschma R.* The effect of intra- and inter-regional labour mobility on plant performance in Denmark: the significance of related labour inflows // *J. Econ. Geogr.* 2013. Vol. 14, no 2, pp. 289–311.
- Titze M., Brachert M., Kubis A.* The Identification of Regional Industrial Clusters Using Qualitative Input-Output Analysis // *IWH-Discussion Pap.* 2008, no 13, pp. 5–22.
- Tripl M., Otto A.* How to turn the fate of old industrial areas: a comparison of cluster-based renewal processes in Styria and the Saarland // *Environ. and Planning A.* 2009. Vol. 41, pp. 1217–1233.
- Unimedia GmbH. URL: <http://www.unternehmen24.info/> (дата обращения: 21.08.2015).
- van der Linde C.* The demography of clusters – findings from the cluster meta-study // *Innovation clusters and interregional competition*. Berlin; Heidelberg; New York: Springer-Verlag, 2003, pp. 103–149.
- van Dijk M.P., Sverrisson A.* Enterprise clusters in developing countries: mechanisms of transition and stagnation // *Entrepreneurship and Region. Developm.* 2003. Vol. 15, pp. 183–206.
- XING. URL: <https://www.xing.com/> (дата обращения: 21.08.2015).
- Zucker L.G., Darby M.R., Armstrong J.S.* Commercializing Knowledge: University Science, Knowledge Capture, and Firm Performance in Biotechnology // *Management Sci.* 2002, no 48(1), pp. 149–167.

Received 12.02.2015

Accepted 11.09.2015

МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ

УДК 528. 9

Б.Б. Серапинас¹, Е.А. Прохорова²

ГЕОИНФОГРАФИКА КАК СОВРЕМЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ГЕОВИЗУАЛИЗАЦИИ В ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ-КАРТОГРАФОВ

Развитие процесса высшего образования требует органичного включения новых современных направлений в традиционно сложившиеся формы. Поэтому при формировании инновационного картографического образования необходимо использовать новые технологии, применять новые методики при создании карт и других геоизображений, а также осваивать новые современные направления для визуализации информации. Одно из таких направлений – геоинфографика, которая все более востребована не только в социальных сетях и средствах массовой информации, но и в образовании, науке. Геоинфографика – графический способ подачи информации с целью быстрого и четкого ее представления, для чего могут быть использованы фрагменты текста, рисунки, фотографии, а также любые символы, эмблемы, графики, диаграммы и прочие дополнения, но также она обязательно включает карту, снимок или любое картоподобное изображение, иными словами, геоизображение.

Рассмотрены цели и задачи курса «Социально-экономические карты и геоинфографика», в котором было бы показано состояние, возможности и перспективы развития такого нового направления и который стал бы источником получения студентами знаний в области переработки актуальной информации в востребованный продукт. Курс рассчитан на изучение этой дисциплины студентами картографической специальности географического факультета в течение семестра. Изучение современных работ в этой области позволило сделать вывод о том, что таких специализированных проектов в настоящее время практически не существует.

Ключевые слова: геоизображение, инфографика, геоинфографика, виды классификации.

Введение. Инфографика и геоинфографика – все более употребляемые термины не только в социальных сетях и средствах массовой информации, но и в научной литературе. Оба термина трактуется как графический способ подачи информации с целью быстрого и четкого ее представления, для чего могут быть использованы фрагменты текста, рисунки, фото, графики и прочие дополнения. Но геоинфографика обязательно включает карту, снимок или любое картоподобное изображение, иными словами, геоизображение. И в древности, и в средние века существовали рисунки, на которых были показаны контуры территории с подробными объяснениями того, что на них изображено, таким образом, можно сказать, что инфографика появилась недавно, но корни ее уходят в глубокое прошлое. Однако разница между инфографикой прошлого и настоящего заключается не только в изменившемся количестве и качестве передаваемых данных, но прежде всего в научном и системном подходе к созданию изображения. В настоящее время это направление в силу наглядности становится актуальным инструментом визуализации различных идей в самых разных областях – в средствах массовой информации (СМИ), журналистике и рекламе, образовании и науке. Геоинфографика заслуживает детального изучения, тем более

что при ее подготовке участвуют не только журналисты и дизайнеры, но и картографы.

Представление информации в инфографике связано, как правило, с большим объемом данных, использованием цвета, компоновки, подбором границ и контуров. При этом наряду с дизайнерским решением должно сохраняться информационное качество материала. Геоинфографика в картографии – шаг вперед в передаче информации.

Развитие инновационного картографического образования, в том числе тематического картографирования, включает использование новых технологий и методик при создании карт и других геоизображений, а также освоение новых современных направлений визуализации информации.

Очевидна необходимость создания курса, в котором были бы показаны состояние, возможности и перспективы развития этого нового направления и который стал бы источником получения студентами знаний по проблеме переработки актуальной информации в востребованный продукт. В соответствии с этим на кафедре картографии и геоинформатики разрабатывается программа курса «Социально-экономические карты и геоинфографика». Анализ современных работ в этой области позволил сделать вывод о том, что таких специализированных проектов в настоящее время практически нет.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, профессор, докт. геогр. н.; *e-mail*: bserapinas@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра картографии и геоинформатики, доцент, канд. геогр. н.; *e-mail*: prohorova@mail.ru

В качестве основных целей курса приняты:
 изучение достижений современной инфографики (и геоинфографики как ее части) в качестве основы для создания геоизображений будущего;

формирование у студентов целостного представления о предмете через знакомство с основными формами визуализации данных, а на этой базе понимание современных возможностей интегрирования информации в единое изображение;

изучение законов и принципов создания геоинфографики с использованием возможностей современных технологий, графических и ГИС-пакетов;

формирование у студентов навыков самостоятельного выбора и анализа материала, представление заданной темы посредством создания собственной геоинфографики для будущей успешной реализации полученных знаний в профессиональной деятельности.

В связи с этим определяющая задача курса – систематизация накопленных знаний и изложение современных подходов к графическому способу подачи информации.

Геоинфографику целесообразно изучать в свете теории геоизображений (термин предложен А.М. Берлянт в 1985 г. [Берлянт, 2006]), в то же время геоинфографика является неотъемлемой частью тематической картографии. При этом необходимо задействовать все то лучшее, что было разработано в тематическом, общегеографическом, атласном картографировании и теории картографического дизайна. Сложность и многоплановость проблемы предполагает наличие грамотных специалистов, которые создавали бы отвечающие высоким требованиям качественные научные произведения.

Материалы и методы исследований. Источником создания геоинфографики служит официальная статистика как часть государственных информационных ресурсов, а также информация, которую получают с карт, снимков, из справочных и других источников.

Геоинфографика должна быть современна и своевременна, быть интересна обществу, характеризоваться высокой информативностью, определенностью концепции и цели, привлекательным и эмоциональным дизайном. При этом должны визуализироваться темы разнообразного содержания и направления, от сезонных (например, о предпочтениях при выборе летнего отдыха) до глобальных (например, исследования космического пространства). Не любая инфографика интересна для картографии, и тем более для географии. Поэтому в предыдущей публикации авторов [Серापинас и др., 2014] было предложено отделить от инфографики ту ее часть, которая тесно связана с картографическими изображениями, и назвать ее геоинфографикой.

Такие предложения делались и раньше, например, на сайте URL: <http://geoinfografika.ru> [2015], где высказано мнение о целесообразности отделения географической инфографики от общего массива инфографики. При этом подчеркивается, что геоинфографику можно использовать в самых разных областях – образовании (школьной и вузовской географии), в производственной сфере, в науке и научных исследованиях.

В соответствии с поставленной целью и выдвинутыми задачами, а также в зависимости от глубины требуемого анализа предмета исследования, масштабы и сложности представления различают два основных вида инфографики:

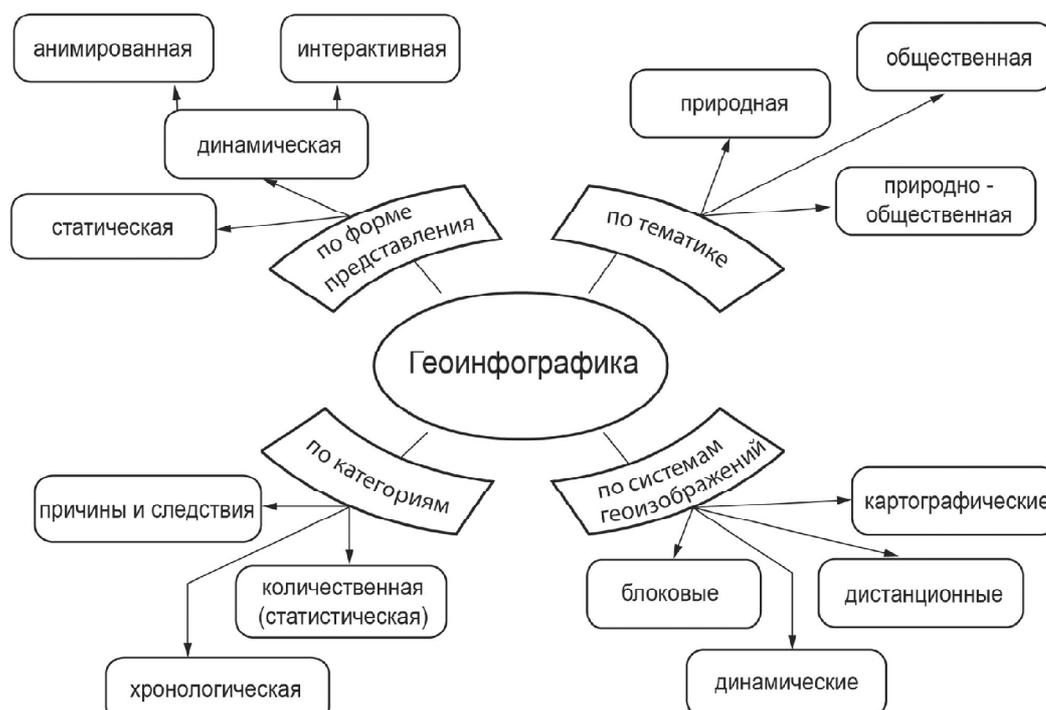


Рис. 1. Различные виды классификаций геоинфографики

новостная, представляющая конкретную новость в оперативном режиме (чаще всего в СМИ); *описательная* или *аналитическая*, подготавливаемая по аналитическим и статистическим материалам и представляющая исследование, конкретную тему, выраженную в графических образах с использованием текста.

Многообразие форм и видов геоинфографики требует их классификации, а впоследствии, возможно, и периодизации. Предлагаемая ниже классификация (рис. 1) учитывает далеко не все, что существует на востребованном сейчас рынке инфографики. Однако организация и упорядочение этой сферы деятельности, так близко прилегающей к картографии, необходимы для целей образования и подготовки будущих высокопрофессиональных специалистов.

Классификация по тематике. Геоинфографика должна освещать одну или несколько земных сфер, отражая интеграционные тенденции в современной науке. А.М. Берлянт выделял три основные гиперсферы: *природную, общественную, природно-общественную* [Берлянт, 2006].

Природная гиперсфера отражает сочетание разных природных сфер. Например, геоинфографика в публикации [Инфографика. Планета..., 2015] представляет собой модель строения Земли и ее атмосферы. Геоинфографика дополнена такими фактами, как возраст Земли, время появления жизни, образование суперконтинентов, периоды оледенения, экстремальные значения температуры и самые сухие места на планете.

Общественная гиперсфера. Тематика для инфографики весьма разнообразна: население, история, политика, культура, общественные отношения, хозяйственная деятельность и пр. В качестве примера рассмотрим геоинфографику о населении Земли [Инфографика – агентство..., 2015], которая визуализирует очень большой массив данных. Население Земли с 1900 по 2012 г. выросло в 4,5 раза, а в Африке – в 10 раз. В инфографике отображены 164 страны, не включены лишь страны с малой численностью населения. Используются круговые диаграммы, размещенные по географическим координатам, при этом их площади правильно отображают пропорции численности населения разных стран. Для большей наглядности убраны силуэты материков, а географические регионы переданы цветовым кодированием. В том же цвете, что и географические регионы, даны цветные клиновидные диаграммы о росте населения за 112 лет, слева и справа расположены таблицы со статистическими данными. Эта геоинфографика весьма информативна, отличается наглядностью, легко читается и понятна.

Природно-общественная гиперсфера, где геоинфографика может представлять экологическую ситуацию, медико-географическую обстановку и т.д. Например, журнал «Инфографика» подготовил графическое изображение по проблеме распространения загрязняющего пластика в мировом океане [Инфографика – агентство..., 2015].

Классификация по системам геоизображений.

В геоинфографике используются все виды систем геоизображений, помещенные А. М. Берлянтом в классификационную матрицу [Берлянт, 2006]. Так, столбик матрицы «Картографические геоизображения» включает собственно картографические геоизображения (карты и планы, электронные карты, анаморфозы), дистанционные (фотокарты и планы, космокарты, иконокарты), блоковые (тематические блок-диаграммы, физиографические карты), динамические (серии разновременных карт, картографические анимации, карты-фильмы).

Строка матрицы «Динамические геоизображения» содержит весь возможный ряд динамических геоизображений: картографические (серии разновременных карт, картографические анимации, карты-фильмы), дистанционные (фото- и телемультипликации, серии разновременных снимков, фильмы), блоковые (динамические и метахронные блок-диаграммы, виртуальные модели) и собственно динамические (анимационные карты и атласы).

Что касается блоковых геоизображений, то можно привести замечательный пример из японского путеводителя по окрестностям храма Исэ. В геоинфографике использован резкий переход от наглядного пейзажа к плоскости карты, где схематично показана национальная железная дорога, соединяющая храмовый комплекс с крупными городами страны [Тафти, 2015]. Территория вокруг храма показана с высоты птичьего полета в сочетании с прорисованной перспективой.

Классификация по категориям включает количественную, причины и следствия, а также хронологическую геоинфографику.

Количественная (статистическая) геоинфографика – в ее основу положены абсолютные или относительные количественные показатели, связанные с конкретной географической территорией. Это геоинфографика, на которой статистические совокупности, характеризующиеся разнообразными показателями, описываются с помощью условных диаграмм, гистограмм, таблиц и графиков. Они производят гораздо более сильное впечатление, чем цифры, позволяют лучше осмыслить статистические результаты и правильно их истолковать, иногда они являются методом обобщения исходной информации и дают новое знание о предмете исследования. Количественную геоинфографику можно рассматривать как блок-схему организационной структуры, которая объясняет иерархию и обязанности различных позиций.

Геоинфографика причины и следствия включает небольшое количество числовых данных, преобладает в основном качественная характеристика. За счет ярко выраженного графического представления достигается высокая степень восприятия. Подобные изображения объясняют причинно-следственные связи между различными явлениями или объектами на физическом или концептуальном уровне. Геоинфографика причины и следствия способна не только организовать большой объем информа-

ции, но и нагляднее показать соотношение предметов и фактов во времени и пространстве, а также продемонстрировать тенденции. Особое место занимает тема «симметрия–ассиметрия» в структуре объектов на всех иерархических уровнях живой и неживой природы, в процессах и явлениях, законах и закономерностях организации мира.

Хронологическая геоинфографика воссоздает и объясняет динамику событий в хронологическом порядке. Представление информации на временной шкале позволяет проанализировать временную связь между разными этапами процесса от прогнозов ближайших событий до создания модели, описывающей далекое будущее. Цифровые технологии открыли удивительные возможности наглядного отображения хронологических событий.

Классификация по форме представления графической информации, которая разделяется на *статическую* и *динамическую* геоинфографику.

Статическая геоинфографика представляет информацию на определенный момент времени, например, изображения в печатных изданиях, когда важно быстро сконцентрировать всю информацию, используя текст и графику, и передать ее по назначению.

Динамическая геоинфографика включает в себя анимированную и интерактивную.

Анимированная геоинфографика связана с виртуальными анимированными геоизображениями. Изменение в пространстве и времени может быть передано и статическим изображением, но анимированная играет все большую роль на телевидении, в презентациях, публикуется на гео- или web-порталах, представляет анимированную последовательность действия, хотя содержание и форма могут быть такими же, как и в статической инфографике.

Интерактивная анимированная геоинфографика часто содержит элемент развлечения пользователя (аудитории). На web-странице существует только шаблон, а реальное наполнение конкретным содержанием происходит по желанию пользователя. Так, на геопортале пользователь может выбрать и визуализировать из предложенных ему слоев лишь нужную ему информацию.

Дополнительно геоинфографику можно классифицировать **по размерности изображения и срокам его изготовления**. В *одномерном* случае единственной координатной осью могут служить расстояние, скорость, размеры объекта, его масса и т.п. Например, в геоинфографике «На задворках Вселенной» координатой является размер объектов, выраженный в световых годах; деления объектов проведены по галактикам, сверхскоплениям и т.д. [Инфографика о Вселенной... , 2015]. В статике сложно передать грандиозные масштабы Вселенной, но в данном случае удалось сделать это понятно, наглядно и красиво.

Двухмерная инфографика – любое плоское изображение, таблица, диаграмма, фрагмент карты и пр. Например, геоинфографика о 36-летнем пути автоматического зонда «Voyager 1» – после запус-

ка 6 сентября 1977 г. с мыса Канаверал он к 22 февраля 2014 г. удалился от Солнца на расстояние свыше 19 млрд км, аппарат будет активным до 2025 г. [Инфографика «Voyager 1»... , 2015]. Эта геоинфографика, в сущности, является динамической, причем если бы она была дополнена хронологической шалой, было бы еще понятнее.

Трехмерная геоинфографика – графика, созданная на основе трехмерных технологий, характеризуется наличием видимой перспективы у объектов и у кадра в целом. Динамическая трехмерная инфографика – движение в кадре, сопровождающееся сменой перспективы объектов, иногда рассматривается как четырехмерная, так как четвертой координатой становится время.

По времени, затраченному на создание геоинфографики, выделяют *оперативную*, которая создается за минуты (например, новости на телевизионных картах), и *творчески разрабатываемую*, при изготовлении которой не используются шаблонные решения, ее композиция и стилистические решения каждый раз выполняются заново.

Очевидно, что не каждый картографический продукт (в нашем случае геоинфографическое изображение) может быть жестко закреплен за определенным пунктом этой классификации. Как и в случае с тематическими картами, которые могут относиться одновременно к двум разделам (например, карты маятниковых поездок населения – к транспортным картам и картам населения), так и геоинфографика может быть одновременно оперативной, динамической, двухмерной, отображая при этом тему экологии с формированием общественного мнения по конкретному вопросу.

Результаты исследований и их обсуждение.

Геоинфографика опирается на геоизображения и является составной частью инфографики. Существуют два развивающихся направления. Одно из них действует в сфере СМИ, предоставляя читателям наглядную и понятную информацию, которая удобна для построения презентаций, иллюстраций докладов, лекций и т.п. Другое направление сформировалось в ходе эволюции картографических изображений и заключается в том, что классические картографические произведения сопровождаются дополнительной информацией в форме текстов, картографических материалов и данных дистанционного зондирования, диаграмм, рисунков и т.п. Это можно рассматривать как новый этап развития информационной картографической науки в направлении от геоизображений к геоинфографике. Процесс организации информации в геоинфографику, по сути, одинаков для обоих направлений (рис. 2).

Обучение геоинфографике сегодня – это теоретический и практический курс, который базируется на практике преподавания тематической картографии. Он имеет целью познакомить учащихся с теоретическими достижениями, разработками и проблемами применения различных видов геоинфографики в разных сферах научной, практической,

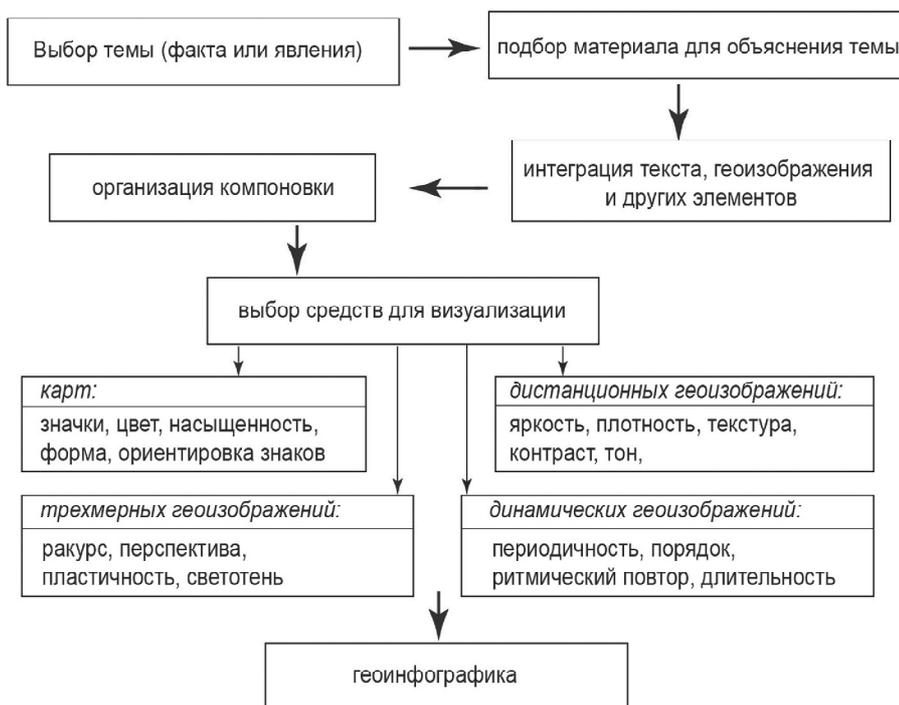


Рис. 2. Последовательность организации информации в геоизображение

культурно-просветительской и учебной деятельности, а также с методами ее создания и оценки эффективности получаемых результатов.

Существуют большие возможности при выборе исходного материала, часто доступного в форме для непосредственного использования в ГИС-пакете [Прохорова, Семин, 2011]. При этом современная карта является компонентом базы данных ГИС, представляет собой не просто изображение, а много слоев структурированной информации с возможностью в любой момент использовать нужный слой.

При организации практических занятий для закрепления теоретических и методических знаний, полученных на лекциях, студентам необходимо выполнить ряд заданий, цель которых – научить будущих специалистов современным методикам создания геоинфографики, применив при этом опыт научного исследования картографических произведений.

Предполагается, что практические занятия будут состоять из трех частей (модулей): первый – создание геоинфографики с использованием выбранных преподавателем информационных составляющих – текстов, графики, способов изображения, а также материалов сайта <http://mapstack.stamen.com>, о том, как студентам самим сделать инфографику. Второй модуль предполагает выполнение изображения на заданную тему, но при самостоятельном выборе средств его осуществления. Третий модуль – контрольная работа, т.е. выполнение студентом собственного проекта.

Каждое задание индивидуально, после создания геоизображения оно анализируется совместно со студентами, чтобы выработать у них понимание

правомерности и целесообразности использования того или иного способа или компоновки для решения поставленной задачи.

Выводы:

– геоинфографика – быстро развивающееся направление. Геоинфографика имеет возможность быстро обработать, наглядно и понятно представить зрителю большой объем информации, заслуживает детального изучения возможностей ее создания в рамках обучения студентов-картографов;

– геоинфографика в первую очередь должна быть представлена в тематической классификации и отражать интеграционные процессы и тенденции современной науки в рамках трех основных гиперсфер – природной, общественной и природно-общественной;

– совместное использование средств и подходов традиционного и геоинформационного картографирования наиболее удобно и целесообразно для грамотного и интересного представления разнообразных сюжетов. При этом сохранение традиций тематической картографии, ее идей и методов позволяет использовать накопленный опыт и дать новую жизнь традиционным достижениям картографии при современной подаче информации;

– сложность и многоплановость проблемы предполагает наличие грамотных специалистов, которые создавали бы отвечающие высоким требованиям качественные научные произведения. Изучение геоинфографики сегодня базируется на практике преподавания тематической картографии. Авторы ставят цель познакомить учащихся с теоретическими достижениями, разработками и проблемами применения разных видов геоинфографики, а также с методами ее создания и оценки эффективности получаемых результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Берлянт А.М.* Теория геоизображений. М.: ГЕОС, 2006. 262 с.
 Геоинфографика. URL: <http://geoinfografika.ru> (дата обращения: 13.01.2015).
 Инфографика о Вселенной. На задворках Вселенной. URL: <http://5coins.ru/2012/11/20/na-zadvorkax-vselennoj/> (дата обращения: 03.06.2015).
 Инфографика – агентство и журнал. URL: <http://infographicmag.ru/> (дата обращения: 13.01.2015).
 Инфографика. Планета Земля снаружи и изнутри. Инфографика ЗАО «Аргументы и Факты». URL: <http://www.aif.ru/infographic/1128152> (дата обращения: 13.01.2015).
 Инфографика Voyager 1: 36 лет в пути. URL: <http://gigamir.net/techno/pub687167> (дата обращения: 13.01.2015).
Прохорова Е.А., Семин В.Н. Картографические базы данных для социально-экономических карт // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2011. № 3. С. 33–39.
Серапинас Б.Б., Прохорова Е.А., Васильев О.Д. Геоинфографика – современные тенденции создания и использования // Геодезия и картография. 2014. № 3. С. 17–23.
Тафти Эд. Представление информации (покидая Флатландию). URL: <http://janicel.com/wp-content/uploads/2013/11/Tufte-edward-envisioning-information-Ch-1.pdf> (дата обращения: 13.01.2015).

Поступила в редакцию 08.06.2015

Принята к публикации 11.09.2015

В.В. Serapinas¹, Е.А. Prokhorova²**GEOINFOGRAPHICS AS AN ACTUAL TREND IN THE PROCESS OF CARTOGRAPHY STUDENTS TRAINING**

Progress of higher education requires a smooth incorporation of new modern trends into the traditional forms of education. Therefore the innovative cartographic training involves the use of new technologies, application of new techniques for producing maps and other geoimages and mastering modern methods of information visualization. Geoinfographics is among these methods and it is increasingly on demand in social networks and mass media, as well as in science and education. Geoinfographics is a graphic way of presenting information quickly and accurately. Such presentation is based on text fragments, drawings, photos, as well as various symbols, graphs, diagrams, etc., and it must include a map, an image or any other map-like image, i.e. geoimage. The article discusses the target and the objectives of the course Socio-economic maps and geoinfographics. It will present the state-of-the-art, the potential and the prospects of this new trend of training. The course will supply students with knowledge of how to process actual information into sought-after product. The course is designed to be delivered to cartography students during one semester. The analysis of current studies proved that at present no other specialized projects in this field are developed.

Keywords: geoimages, infographics, geoinfographics, types of classification.

REFERENCES

- Berlyant A.M.* Teoriya geoizobrazheniy [Theory of geoimages], Moscow, GEOS, 2006. 262 p. (in Russian).
 Geoinfographica [Geoinfographics], URL: <http://geoinfografika.ru/> (Accessed: 13.01.2015) (in Russian).
 Infographica o Vselennoy. Na zadvorkach Vselennoy [Infographics about the universe. On the outskirts of the universe. URL: <http://5coins.ru/2012/11/20/na-zadvorkax-vselennoj/> (Accessed: 03.06.2015) (in Russian).
 Infographica – Earth inside and out. Infographics JSC «Arguments and facts». URL: <http://www.aif.ru/infographics/1128158> (Accessed: 13.01.2015) (in Russian).
 Infographica. – agentstvo i zhurnal [Infographics – agency and magazine. URL: <http://infographicmag.ru/> (Accessed: 13.01.2015) (in Russian).
 Infographica Voyager 1: 36 let v puti [Infographics Voyager 1: 36 years on the way]. URL: <http://gigamir.net/techno/pub687167> (Accessed: 13.01.2015) (in Russian).
Prokhorova E.A., Semin V.N. Kartographicheskiye bazy dannykh dlya sotsialno-ekonomicheskikh kart [Cartographic database for the social and economic maps], Vestnik Moskovskogo Univeriteta, seria 5, Geografiya, 2011, no. 3, pp. 33–39 (in Russian).
Serapinas B.B., Prokhorova E.A., Vasilyev O.D. Geoinfographica – sovremennyye tendentsii sozdaniya i ispolzovaniya [Geoinfographics – modern trends to create and use], Geodesy and cartography, 2014, no. 3, pp. 17–23 (in Russian).
Tafti Ed. Predstavleniye informatszii (pokidaya Flatlandiyu) [The presentation of information (Leaving Flatland)]. URL: <http://edwardtufte.ru/envisioning-information/escaping-flatland/> (Accessed: 13.01.2015) (in Russian).

Received 08.06.2015

Accepted 11.09.2015

¹Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: bserapinas@gmail.com

²Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Cartography and Geoinformatics, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: prohorova@mail.ru

ЮБИЛЕИ

Юбилей Галины Николаевны Огуреевой

В сентябре 2015 года юбилей у Галины Николаевны Огуреевой, доктора географических наук, профессора кафедры биогеографии.

Галина Николаевна с юности интересовалась научными проблемами живой природы и поэтому поступила на кафедру геоботаники биолого-почвенного факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, который закончила в 1958 г. Ее всегда увлекали дальние экспедиции и проблемы пространственного распространения растительности, поэтому аспирантуру она закончила уже на географическом факультете. В 1966 г. защитила кандидатскую диссертацию на тему «Ерники южной части Дальнего Востока».

Ее учителями были П.А. Смирнов и А.Е. Криволицкий. Работая на географическом факультете под руководством профессора А.Г. Воронова, Галина Николаевна неутомимо исследовала растительность различных регионов земного шара от Подмосковья до гор Кавказа, Алтая, Сибири, Дальнего Востока, участвовала в зарубежных академических экспедициях в Монголию, Вьетнам, в морских экспедициях по изучению островов Тихого и Индийского океанов.

Обобщением этих многолетних исследований стала докторская диссертация на тему «Ботанико-географический анализ и картографирование растительности гор», блестяще защищенная ею в 1999 г.

В круг обширных научных интересов Галины Николаевны входят проблемы ботанической географии, географии биоразнообразия и экологии растительности гор. Ее научные заслуги – развитие биогеографического картографирования, разработка концепций экорегионов и биомного разнообразия России.

Г.Н. Огуреева ведет большую научно-организационную работу: заведует лабораторией биогеографического картографирования кафедры, руководит научной темой «Биогеографическое картографирование и использование ГИС-технологий», входит в редколлегия журнала «Лесоведение», она член диссертационных советов МИИГАиК и географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, член Русского географического общества.

Ей принадлежит свыше 200 научных трудов – монографий, статей в отечественных и зарубежных изданиях, учебно-методических пособий, атласов и тематических карт, в том числе серии карт природы для Высшей школы. Среди ее работ такие широко известные труды, как «Ботаническая география Алтая», «Картографирование биоразнообразия», карты «Растительность Московской области», «Зоны и типы поясности России и сопредельных территорий», несколько изданий учебника «Биогеография», учебное пособие «Биогеографическое картографирование» и др.

Галина Николаевна участвовала в международном проекте по созданию карты растительности Европы, в составлении карты циркумбореальных лесов, неоднократно выступала с докладами на отечественных и зарубежных съездах, конференциях, симпозиумах, совещаниях.

Ее научные и педагогические заслуги оценены многочисленными дипломами, среди которых почетный диплом МОИП за монографию «Ботаническая география Алтая», диплом стипендиата Международного научного фонда Д. Сороса и Академии естественных наук по Программе «Биоразнообразия», диплом Соросовского доцента и профессора.

Галина Николаевна – лауреат премии имени Д.Н. Анучина за работу над картой «Растительность Московской области», премии имени М.В. Ломоносова за педагогическую деятельность, а также премии Правительства Российской Федерации в области образования.

Много сил и времени Галина Николаевна отдает учебно-методической работе на кафедре и географическом факультете. Она входит в состав Совета по географии и Совета по экологии и устойчивому развитию Учебно-методического объединения (УМО) по классическому университетскому образованию, она председатель комиссии по учебным программам советов, ответственный редактор подготовленных и изданных в последние годы сборников программ обязательных дисциплин по географическим и экологическим специальностям, руководит работами преподавателей – стажеров из многих университетов России.

Обширна и преподавательская работа Галины Николаевны. Профессор Г.Н. Огуреева читает лекции по биологии студентам 1-го курса географического факультета, спецкурсы для студентов кафедры биогеографии по биогеографическому картографированию, биогеографии России и сопредельных территорий, биоэкологическому картографированию, проблемам биогеографии, основам биоразнообразия, неизменно руководит курсовыми и магистерскими работами. Галина Николаевна подготовила 9 кандидатов географических наук. Галина Николаевна всегда помогает в работе молодым преподавателям, внимательна к проблемам студентов, аспирантов, сотрудников кафедры.

Летний практикум на УНС в Сатине невозможно представить себе без увлекательных рассказов Галины Николаевны о дальних экспедициях и загадках растительности. Во время этих практик Галина Николаевна сочетает учебную и воспитательную работу, показывая на личном примере умение легко переносить трудности полевой работы и постоянное стремление учиться и работать.

Галина Николаевна ведет большую просветительскую работу. Она участвовала в написании та-

ких научно-популярных энциклопедий для детей, как «Самые-самые. Удивительные растения мира», «Ботаника», «Большая книга знаний».

Желаем Галине Николаевне дальнейших творческих успехов, крепкого здоровья, благополучия и новых интересных путешествий.

Юбилей Елены Иосифовны Незваль

18 августа 2015 г. юбилей у Елены Иосифовны Незваль, ведущего научного сотрудника метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова. Елена Иосифовна – символ обсерватории, она работает в ней не только почти всю свою жизнь, но и почти весь 60-летний период существования обсерватории, наблюдения в которой начались 1 января 1954 г.

На географический факультет МГУ Елена Иосифовна поступила в 1953 г., ее курс был первым, учившимся в новом высотном здании университета. Под руководством профессора В.А. Белинского Елена Иосифовна стала актинометристом высокой квалификации. После окончания МГУ в 1958 г. она продолжила работу на кафедре, где разрабатывала вопросы радиационной климатологии. Во время Международного геофизического года она участвовала в нескольких продолжительных и тяжелых экспедициях в самые дальние уголки Памира, выполняя уникальный комплекс метеорологических и радиационных наблюдений. Ее специализацией стало детальное изучение ультрафиолетовой радиации, жизненно важной для здоровья человека. Режиму УФ радиации в горах на юге СССР посвящена ее кандидатская диссертация, защищенная на географическом факультете в 1973 г.

В метеорологической обсерватории МГУ имени М.В. Ломоносова под руководством М.П. Гараджи вместе с инженером А.В. Высоцким Елена Иосифовна разработала, установила и калибровала серию уникальных приборов для непрерывной регистрации ультрафиолетовой радиации и видимой области спектра, что потребовало не только новых теоретических разработок, но и практических действий. И хотя работы выполнялись вручную, об их качестве и ценности свидетельствует не только прекрасная воспроизводимость наблюдений, но и многолетняя надежная работа приборов, функционировавших до последнего времени. Повторить такую работу в настоящее время практически невозможно.

Результатом многолетних научных исследований юбилера стала серия публикаций в ведущих научных журналах и множество докладов на всероссийских и международных конференциях в России и за рубежом. Перу Елены Иосифовны лично и в соавторстве принадлежит около 150 научных статей, включая 8 монографий, в том числе несколько широко известных обобщающих публикаций метеорологической обсерватории МГУ («Летопись погоды, климата и экологии Москвы», 2000, 2001; «Справочник эколого-климатических характеристик г. Москвы», 2003, 2005; «Климатические ресурсы солнеч-

ной энергии Московского региона», 2012). Они пользуются широким спросом среди специалистов и производственников при решении не только теоретических, но и практических задач. Все научные труды Елены Иосифовны отличаются высочайшим качеством, среди коллег она пользуется глубоким уважением как скрупулезный редактор.

В течение 7 лет (2007–2014) Елена Иосифовна выполняла многообразные и сложные обязанности заведующей метеорологической обсерваторией, успешно руководя коллективом научных сотрудников, инженеров и техников-наблюдателей.

Елена Иосифовна награждена медалью «Ветеран труда» и памятным знаком «250 лет МГУ». Ее работы пользуются широкой известностью среди актинометристов бывшего СССР, со многими из которых она до сих пор поддерживает добрые отношения и сотрудничает.

Свой юбилей Елена Иосифовна встретила во время конференции Международного географического союза (IGU-2015), на которой выступила с очередным докладом по итогам новых исследований, подготовленным вместе с ее учениками и коллегами. Она по-прежнему с удовольствием и интересом слушает доклады, участвует в дискуссиях.

Желаем дорогой Елене Иосифовне здоровья, бодрости, энергии, неиссякаемого оптимизма, радости познания!

85-летие Павла Алексеевича Каплина

31 октября 2015 г. исполнилось 85 лет со дня рождения и 60 лет научной деятельности Заслуженного деятеля науки Российской Федерации, доктора географических наук, главного научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена Павла Алексеевича Каплина.

Геоморфолог по образованию, Павел Алексеевич всю жизнь связал с изучением геоморфологии морских берегов, побережий и шельфа. В 1958 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Фирордовые берега СССР», а в 1971 г. – докторскую диссертацию на тему «Последниковая история побережья Мирового океана». Изданная в виде монографии, она стала событием в научной жизни геоморфологов и палеогеографов и по сей день остается настольной книгой для большинства специалистов. В 1973 г. П.А. Каплину присвоено звание профессора.

В начале своей творческой карьеры (1957–1968) П.А. Каплин несколько лет работал в Институте океанологии АН СССР, где под руководством В.П. Зенковича проводил исследования на берегах дальневосточных и южных морей СССР. В 1968 г. он возглавил организованную по инициативе К.К. Маркова лабораторию новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, которой успешно руководил более 40 лет. За это время коллектив лаборатории стал самым крупным в стране научным центром по исследованию четвертичного периода.

П.А. Каплин – крупнейший в России авторитет по геоморфологии и истории развития морских берегов. В 1965–1966 гг. он, как стипендиат ЮНЕСКО, изучал побережья Франции, Великобритании, Нидерландов, Северной Норвегии, Японии, Атлантического побережья США и Аргентины, в последующие годы проводил береговые исследования на побережьях большинства морей России. В 1970–1980-е гг. П.А. Каплин принимал участие в ряде экспедиций на научно-исследовательских судах АН СССР и МГУ «Дмитрий Менделеев», «Каллисто», «Профессор Штокман», «Академик Петровский», где под его руководством проводились геоморфологические исследования островных побережий в Индийском и Тихом океанах. В 1990–1993 гг. Павел Алексеевич организовал и возглавил работы по анализу российских берегов Каспия и подготовке технико-экономического доклада (ТЭД) по комплексной оценке, защите и освоению берегов Каспийского моря. ТЭД, составленный из 16 томов и 20 тематических карт, был одобрен Правительством РФ, а его выводы приняты как руководство к действию руководящими органами прикаспийских территорий.

Научные труды П.А. Каплина составляют 18 монографий, более 300 статей, в том числе в отечественных и зарубежных энциклопедиях и справочниках. Под его научной редакцией опубликовано более 30 монографий и сборников. Он подготовил 11 кандидатов наук, 9 его учеников защитили докторские диссертации.

П.А. Каплин – почетный член Комиссии по четвертичным береговым линиям Международной ассоциации по изучению четвертичного периода, почетный член Комиссии по береговым природным системам Международного географического союза, многие годы он возглавлял рабочую группу «Морские берега» Совета РАН. Высоким научным признанием заслуг П.А. Каплина по изучению океана и его побережий стало присуждение ему международной медали Принца Альберта Монакского. П.А. Каплин награжден многими научными премиями, в том числе премиями М.В. Ломоносова и Д.Н. Анучина, Президиума АН СССР, почетными дипломами Всеобщего географического общества, золотой медалью ВДНХ. В 1973 г. ему присвоено звание заслуженного деятеля науки Российской Федерации.

Павел Алексеевич сердечный и доброжелательный человек, он всегда готов прийти на помощь и дать добрый совет.

Сердечно поздравляем Павла Алексеевича с юбилеем! Желаем ему доброго здоровья, счастья и благополучия.

80-летие Германа Сергеевича Ананьева

13 сентября 2015 г. исполнилось 80 лет Герману Сергеевичу Ананьеву – одному из ведущих отечественных геоморфологов, доктору географических наук, долгие годы профессору кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета, заслуженному профессору МГУ имени М.В. Ломо-

носова. В нашей стране и за рубежом Г.С. Ананьев известен как исследователь рельефа горных стран, он изучал Фенноскандию, Карпаты, Кавказ, Урал, Забайкалье, Северо-Восток России, Болгарию, Вьетнам и Эквадор. Им и под его руководством проведен геоморфологический анализ областей древнего вулканизма на востоке России.

Окончив в 1958 г. университет, Г.С. Ананьев связал свою жизнь с кафедрой геоморфологии. Первые его экспедиции прошли в бассейнах Ангары и Енисея, в Хибинах и Забайкалье, затем – в Даурии, а в начале 1960-х гг. он работал в Уральской геоморфологической партии. Сначала он трудился под началом С.С. Воскресенского, а затем стал проводить собственные исследования. В 1967 г. он защитил кандидатскую диссертацию по россыпям пьезокварцевого сырья Среднего и Южного Урала, а в 1980 г. – докторскую диссертацию, посвященную малоисследованной тогда проблеме формирования рельефа междуречий.

На протяжении десятилетий расширялся круг его научных интересов – планетарная, динамическая, прикладная геоморфология и палеогеография докайнозойских эпох развития Земли. В области планетарной геоморфологии он предложил пульсационно-волновую гипотезу формирования рельефа Земли, составил (в соавторстве) карту планетарных комплексов рельефа в масштабе 1:40 000 000 и геоморфологическую карту мира в масштабе 1:15 000 000. В области динамической геоморфологии Г.С. Ананьев изучал проблемы формирования вершинных поверхностей, получил новые данные о роли сейсмичности в формировании рельефа земной поверхности, волновых деформациях, механизмах движения поверхности и сейсмических событиях. Им теоретически обоснованы новые представления о морфолитогенезе (понятия, типы, анализ крупных обломков), предложены способы оценки деятельности экзогенных процессов по их напряженности, разработаны вопросы морфодинамической зональности, современных процессов и их спектров, литодинамических ячеек, устойчивости долин и междуречий.

Больших результатов Г.С. Ананьев добился в исследовании катастрофических процессов рельефообразования. Использование теории катастроф вывело это направление на новый перспективный уровень. Он выполнил оценку роли экстремальных геоморфологических процессов в эволюции рельефа Земли; проанализировал условия и механизмы катастрофических природных событий на Кавказе (Геналдонская катастрофа), изменения в рельефе Колумбии, Эквадора, Перу в периоды активизации Эль Ниньо. В течение последних 15 лет Г.С. Ананьев разрабатывает проблемы палеогеографии докайнозойских эпох формирования рельефа Земли, выполняет реконструкции ныне исчезнувших материков.

Г.С. Ананьев широко известен как геоморфолог, изучавший россыпные месторождения в разных районах Урала, Северо-Востока и Дальнего Востока.

Особое место в его научно-организационной деятельности занимает многолетняя работа Охотской геоморфологической партии. Исследования формирования россыпей невозможны без восстановления истории развития рельефа, поэтому Г.С. Ананьев разработал стратиграфическую схему новейших отложений Северного Приохотья. Итогом его научной деятельности стали более 250 работ, включая 20 монографий.

Особо проявился талант Г.С. Ананьева как преподавателя. Его усилиями была создана специальная учебная практика для геоморфологов в Карпатах и Хибинах. Сотни студентов помнят его как требовательного руководителя учебных и производственных практик, вместе с тем он умел найти особый подход к каждому студенту. Многолетний опыт экспедиционных исследований в разных регионах страны и мира позволил Г.С. Ананьеву читать базовые теоретические и прикладные учеб-

ные курсы на кафедре, насыщая их новейшим собственным научным материалом. В течение многих лет Г.С. Ананьев читал курс по геоморфологии материков, а написанный им с коллегами учебник по этому курсу выдержал два издания. Г.С. Ананьев всегда поддерживал научные исследования студентов, зажигая их оригинальными идеями, руководил работой НСО кафедры в Карпатах и на Кавказе. Вместе со студентами во время зимних экспедиций НСО кафедры геоморфологии и палеогеографии Г.С. Ананьев организовал стационар по исследованию современных геоморфологических процессов, где почти 20 лет велись наблюдения и получены уникальные результаты о механизмах и скорости процессов. Он подготовил десятки выпускников с интересными дипломными работами и свыше 10 кандидатов и докторов наук, защитившихся под его руководством и при доброжелательном участии.

Редколлегия журнала

**ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ
«ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»**

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. К публикации также принимаются краткие сообщения (объем до 4 стр. или 4000 знаков с пробелами, до 2-х рисунков и до 10 позиций в списке литературы), информация о научных конференциях и событиях, рецензии на книги. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Комплектность. Представленные в редакцию материалы должны включать направление с места работы (учебы) автора; текст статьи, подписанный всеми авторами; аннотацию статьи и ключевые слова на русском и английском языках; таблицы, рисунки и подписи к ним. Материалы (за исключением направления) представляются в распечатанном виде в двух экземплярах и в электронном виде на двух дисках (рисунки представляются на отдельном диске).

Структура и оформление статьи. На первой странице статьи необходимо указать УДК (печатаются над заголовком статьи слева), инициалы и фамилию автора, название статьи. Внизу страницы в виде цифровых сносок для каждого автора указываются место работы, должность, ученая степень, адрес электронной почты всех авторов; информация о выполнении работы в рамках программы (проекта), о ее финансовой поддержке указывается в виде цифровой сноски. Изложение материала статьи должно быть ясным, лаконичным и последовательным. Статья должна быть структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Текст набирается шрифтом Times New Roman 12 кеглем через 2 интервала, с отступом абзацев 1,25 см. Страницы А4 имеют верхнее и нижнее поля 2 см, 2,5 см слева и 1,5 см справа; с нумерацией сверху страницы. Объем статьи не должен превышать 14–16 страниц (включая список литературы и таблицы) и не более 3–4 рисунков. Статьи большего объема могут быть опубликованы в исключительных случаях по решению редакционной коллегии.

Нумерация формул (сплошная по всей статье) указывается в скобках цифрами (1, 2 и т.д.) с правой стороны. Нумеруются только те формулы, на которые есть ссылки в тексте.

Список литературы приводится в конце статьи: сначала в соответствии с русским алфавитом, затем – с английским, по тексту статьи даются ссылки в квадратных скобках [Иванов и др., 1985]). Библиографическое описание дается в следующем порядке: фамилии и инициалы авторов, полное название монографии, место издания, издательство, год издания, страницы; для периодических изданий – фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, год выпуска, том, номер страницы. Все русскоязычные публикации в списке литературы должны иметь транслитерацию (рекомендуем пользоваться ресурсом <http://www.translit.ru>) и перевод их названий на английский язык. Необходимо выполнить следующие действия: после каждой русскоязычной ссылки строкой ниже набрать фамилии и инициалы авторов на латинице, транслитерацию названия публикации, в квадратных скобках перевод исходных данных, в скобках (in Russian). Ссылки на иностранных языках остаются только в оригинальном варианте. Пример оформления первой страницы и списка литературы см. на сайте журнала.

Таблицы печатаются на отдельной странице каждая, кегль 12, через 2 интервала. Нумеруются по порядку упоминания их в тексте арабскими цифрами. После номера должно следовать название таблицы. Все графы в таблицах должны иметь заголовки и быть разделены вертикальными линиями.

Иллюстрации представляются в 2 экз. распечатки отдельно от текста статьи (на обороте каждой иллюстрации карандашом следует указать номер рисунка и фамилии авторов) и на отдельном CD-диске. На иллюстрациях следует избегать лишних деталей и надписей (надписи рекомендуется заменять цифрами или буквами, разъяснение которых дается в подрисуночных подписях или в тексте). Линии на рисунках должны быть четкими (5–6 рix). Ширина рисунков не должна превышать 180 мм, высота – 240 мм. Шрифт буквенных и цифровых обозначений на рисунке Times New Roman (9–10-й кегль). Рисунки должны быть черно-белыми, рекомендуется применять разные типы штриховки (с размером шага, позволяющим дальнейшее уменьшение). Фото (2 экземпляра) должны быть черно-белыми, контрастными, на их поверхности не должны быть следов изломов, трещин.

Подрисуночные подписи представляются на отдельной странице, кегль 12, через 2 интервала.

Статьи принимаются на географическом факультете в комнате 2108а. Тел. 8-495-939-29-23.

Электронный адрес редколлегии:

vestnik_geography@mail.ru

Плата за публикацию не взимается.