

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 5

ГЕОГРАФИЯ

№ 1 • 2015 • ЯНВАРЬ — ФЕВРАЛЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

Методика географических исследований

- Алексеева Н.Н., Климанова О.А., Наумов А.С. Сравнительный анализ высшего географического и эколого-географического образования в России и странах зарубежной Европы 3
- Медведева А.Ю., Архипкин В.С., Мысленков С.А., Зилитин-кевич С.С. Волновой климат Балтийского моря на основе результатов, полученных с помощью спектральной модели SWAN 12

География и экология

- Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы) 23
- Корзников К.А. Грязевые вулканы о. Сахалин в системе особо охраняемых природных территорий региона. 34

География мирового хозяйства

- Фаддеев А.М. Факторы и предпосылки размещения газотурбинных и парогазовых электростанций в России 40
- Гончаров Р.В. Географические особенности деятельности ведущих компаний мирового нефтегазового комплекса 49

Региональные исследования

- Болиховская Н.С., Маркова А.К., Фаустов С.С. Изменения ландшафтно-климатических условий в Терско-Кумской низменности в плейстоцене 55
- Воскресенская Т.Н., Лефлат О.Н. Палеогеографическое развитие котловины озера Иссык-Куль в плейстоцене 71
- Львовская Е.А., Чалов Р.С. Гидролого-морфологический анализ разветвленного русла р. Печора. 78
- Рязанцев Г.Б., Мнацаканян В.Г., Мысливец В.И., Шипилова Л.М. Условия образования газов в донных илах Азовского моря 86

Краткие сообщения

- Тикуннов В.С. Метро для автомобилей, или как реконструировать Ленинский проспект в Москве 93

Юбилей

- Юбилей Т.М. Беяковой, Н.С. Болиховской, 70-летие Г.Г. Матишова 95

Потери науки

- А.Н. Косарев, Н.С. Мироненко. 97

Хроника

- Добролюбов С.А., Снытко В.А. Вопросы устойчивого развития Каспийского региона 99

CONTENTS

Methods of geographical studies

- Alekseeva N.N., Klimanova O.A., Naumov A.S. Comparative analysis of higher geographical and environmental-geographical education in Russia and the countries of foreign Europe 3
- Medvedeva A.Yu., Arkhipkin V.S., Myslenkov S.A., Zilitinkevich S.S. Wave climate of the Baltic Sea following the results of the SWAN spectral model application. 12

Geography and ecology

- Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Geochemistry of the road dust in the Eastern district of Moscow. 23
- Korznikov K.A. Mud volcanoes of the Sakhalin Island within the system of nature protection areas 34

Geography of world economy

- Faddeev A.M. Drivers and factors of siting gas turbine and combined-cycle power plants in Russia 40
- Goncharov R.V. Geographic features of activities of the leading companies of the global oil and gas complex 49

Regional studies

- Bolikhovskaya N.S., Markova A.K., Faustov S.S. Evolution of environmental and climatic conditions within the Terek-Kuma Lowland during the Pleistocene 55
- Voskresenskaya T.N., Leflat O.N. Paleogeographic evolution of the Issyk Kul Lake depression during the Neo-Pleistocene 71
- Lvovskaya E.A., Chalov R.S. Hydrologic-morphological analysis of divided channel of the Pechora River. 78
- Ryazantsev G.B., Mnatsakanyan V.G., Myslivets V.I., Shipilova L.M. Background of gas formation in the bottom mud of the Azov Sea. 86
- Bukharitsin P.I., Ogorodov S.A., Arkhipov V.V. Impact of ice bodies on the seabed of the Northern Caspian Sea under sea level fluctuation and ice coverage changes 93

Short communications

- Tikunov V.S. Subway for motor cars, or how can we reconstruct the Leninsky Avenue in Moscow. 95

Jubilees

- Jubilee of T.M. Belyakova, N.S. Bolikhovskaya, to the 70th birthday of G.G. Matishov 97

Obituaries

- To the memory of A.N. Kosarev, N.S. Mironenko 99

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 910.378.1

Н.Н. Алексеева¹, О.А. Климанова², А.С. Наумов³СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЫСШЕГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО И ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ В РОССИИ И СТРАНАХ ЗАРУБЕЖНОЙ ЕВРОПЫ⁴

На основе обследования ведущих университетов Европы, интервьюирования их преподавателей, анализа разнообразных информационных источников изучены актуальные вопросы организации и развития географического и эколого-географического образования за рубежом. Выявлены основные модели и направления развития образования в обследованных странах, дана сравнительная характеристика систем подготовки географов и экологов в российских и европейских университетах, выявлены ключевые отличия российской системы образования. В качестве ориентиров для модернизации структуры и содержания высшего географического и эколого-географического образования в России рекомендуются лучшие практики, основанные на передовом методическом и практическом опыте организации университетской географии в странах Европы.

Ключевые слова: географическое и эколого-географическое образование, университеты, учебный план, полевые практики, Болонский процесс, образовательная программа.

Введение. Обращение к опыту зарубежных стран с целью его конструктивного анализа, в том числе для улучшения качества географического образования, имеет давнюю традицию в отечественной географии. Так, выдающийся русский географ и климатолог А.И. Воейков по решению Императорского Русского географического общества (РГО) в 1886 г. был отправлен в поездку по университетам Европы с целью изучения зарубежного опыта преподавания географии для развития географического образования в России. Итоги этой поездки повлияли на создание под руководством П.П. Семенова специальной комиссии РГО по преподаванию географии; министерством образования было принято решение об организации по примеру европейских университетов кафедры географии в Петербургском университете. К середине 1890-х гг. географию преподавали уже в половине российских университетов, а с 1912 г. в Московском университете было открыто обучение по специальности “География”.

В наше время высшее географическое образование в России, построенное в основном на фундаменте советской высшей школы, переживает очередную реформу. Современные преобразования обусловлены внедрением новых федеральных госу-

дарственных образовательных стандартов высшего профессионального образования третьего поколения и аспирантуры, уже готовятся федеральные государственные образовательные стандарты четвертого поколения. Согласно п. 5 статьи 10 Федерального закона Российской Федерации от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ “Об образовании в Российской Федерации” устанавливаются три уровня высшего профессионального образования: 1) бакалавриат, 2) специалитет и магистратура и 3) подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура). В рамках подобных систем высшего образования, давно существующих в университетах Европы, США и других стран, накоплен значительный опыт преподавания географических и эколого-географических дисциплин. Поскольку Россия в 2003 г., выразив готовность стать частью единого европейского образовательного пространства, присоединилась к Болонскому процессу, опыт европейских стран представляется нам особенно полезным для совершенствования и модернизации подготовки географов и экологов в университетах России⁵.

Отметим, что акцент сделан нами на качественные параметры сопоставления преподавания географии в отечественных и зарубежных вузах. Использовать основанный на количественных данных такой

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: nallex01@mail.ru

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

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: alnaumov@mail.ru

⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке Русского географического общества (грант № 21/2013-НЗ от 05.06.2013 г. “Университетская география в современном мире”).

⁵ Здесь рассматриваются направления подготовки, соответствующие ФГОС ВПО бакалавриата и магистратуры “География” и “Экология и природопользование”.

интегральный показатель, как рейтинг университетов, к сожалению, не представляется возможным, так как Россия не представлена в мировом рейтинге компании “Quacquarelli Symonds” (QS) по предметной области “География и региональные исследования”. В рейтинге QS за 2014 г. для 400 университетов мира лидирующие позиции по преподаванию географии в топ-50 занимают вузы зарубежной Европы (всего 27, из них 18 — университеты Великобритании), США (11) и Австралии (5 вузов) [QS World..., 2014].

Постановка проблемы. Нами выделено несколько основных моделей высшего географического и экологического образования, сложившихся в силу культурных и исторических особенностей стран, различий между ними в уровне социально-экономического развития, специфики национальных научных школ и систем образования. В Германии, Великобритании, Франции (в определенной степени также в Польше, Чехии) — странах со старейшими научными школами и давними традициями географического образования — сложились оригинальные устойчивые и “самодостаточные” (профессора с мировым именем, самообеспеченность учебниками) модели университетской географии. Соответствующие факультеты и кафедры в университетах этих стран многочисленны и привлекают многих абитуриентов. Например, в Германии более 60 университетов имеют географические факультеты, институты или выпускающие кафедры географии, во Франции географическое образование можно получить в 178 университетах, в Великобритании — в 80. В средних и малых странах Европы (Бельгия, Финляндия, Нидерланды) университетская география стремится вписаться в международный контекст — активно развиваются программы на английском языке, наиболее широко распространены совместные программы и академические обмены с зарубежными университетами. В некоторых странах, например в Италии, Испании, в государствах Латинской Америки, системы географического образования, как и научные школы, вторичны по отношению к ведущим мировым моделям (в основном к французской). Самобытностью отличается модель преподавания в Японии, где в соответствии с парадигмой всесторонних знаний особенно сильны экологическая и гуманитарно-историческая составляющие университетского образования. Особый мир университетской географии существует в США, где степень бакалавра географии можно получить более чем в 200 университетах (ежегодный выпуск — более 6 тыс. человек), магистра географии — примерно в 90, а доктора (PhD) географии — в 60 университетах⁶.

В России, по данным Учебно-методического совета (УМС) по географии Учебно-методического объединения по классическому университетскому образованию, подготовка бакалавров и магистров по направлениям “География”, “Гидрометеорология” и “География и картография” ведется в 51 вузе, ежегодно выпускается более тысячи специалистов. Обучение ведется на географических факультетах и в институтах 20 классических университетов, а также в педагогических университетах; магистерские программы реализуются в 26 университетах. УМС по экологии и устойчивому развитию объединяет 140 вузов, которые ежегодно выпускают около 7,5 тыс. специалистов-экологов.

Целью проведенного при поддержке РГО в 2013–2014 гг. исследования был сравнительный анализ структуры, содержания и учебно-методического обеспечения географического и эколого-географического образования в университетах зарубежных стран (прежде всего европейских) и России для разработки рекомендаций по совершенствованию отечественного образования⁷. В чем России стоит ориентироваться на опыт других стран, что применимо в нашей практике, а что следует оставить без изменений? — ответы на эти вопросы, видимо, еще будут обсуждаться в университетском сообществе. Наша задача — обозначить ключевые различия российского и европейского университетского географического образования и потенциальные направления его модернизации в отечественной высшей школе.

Материалы и методы исследований. В основу исследования положен сравнительный анализ. Для обследования были выбраны европейские вузы, которые можно условно разделить на две группы: ведущие университеты — “флагманы” высшего географического и эколого-географического образования в своих странах, а также репрезентативные университеты, занимающие средние позиции в национальных рейтингах.

Основными исходными материалами стали результаты интервью с преподавателями европейских университетов 10 стран: Бельгии, Германии, Великобритании, Италии, Испании, Нидерландов, Польши, Финляндии, Франции, Швеции. Всего проведено 28 интервью⁸ продолжительностью от 1,5 до 4 ч. Также по материалам, размещенным на сайтах университетов, выбранных в качестве “кейсов”, изучались учебные планы, программы курсов, образовательные технологии. Дополнительными источниками послужили монографии [Changing..., 2005; Robic, 2006], статьи в научно-методических журналах [Холлина, 2004; Blumhof, Holmes, 2008; Ottens, 2013],

⁶ Вместе с тем из 8 наиболее престижных университетов Северо-Востока США, входящих в “Лигу плюща”, география представлена только в Дартмутском колледже.

⁷ Сформулированные по итогам обсуждения результатов проекта рекомендации размещены на сайте РГО по ссылке: www.rgo.ru/ru/article/universitetskaya-geografiya

⁸ В проведении интервью и анализе материалов по отдельным европейским странам наряду с авторами статьи принимали участие сотрудники географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова Д.С. Елманова, Ю.Л. Мазуров, А.А. Пакина, Е.В. Романова, а также аспирант А.С. Городецкая.

данные мирового рейтинга университетов QS [QS World, 2014], сборники учебных программ и иные нормативные документы учебно-методического характера, изданные в России [Учебно-методические..., 2011a, б] и за рубежом [Benchmark..., 2007].

Анкета для интервьюирования зарубежных экспертов включала около 40 вопросов, ответы на которые позволили сделать выводы о том, *как и чему* учат будущих географов в европейских университетах. Вопросы касались истории и современного положения в университете структурных подразделений географического и экологического профиля, особенностей учебного плана, преобладающих видов занятий, характера выпускных работ и процедуры их защиты, критериев оценки студентов, практик и межвузовских обменов, учебников и учебных пособий, трудоустройства выпускников и т.п. Данные, полученные в ходе интервью, позволили критически оценить и существенно дополнить информацию, содержащуюся на сайтах университетов, и выявить основные проблемы географического образования в различных университетах и странах в целом.

Результаты исследований и их обсуждение. На первом этапе сравнивали общие параметры систем географического и эколого-географического образования в России и зарубежных странах Европы по общей трудоемкости и продолжительности обучения на разных уровнях. По общим параметрам выделено 3 группы образовательных систем:

- с коротким циклом обучения в бакалавриате и магистратуре (3 года + 1 год) (Великобритания, Ирландия, Дания, Нидерланды);

- со средним по продолжительности циклом обучения (3 года + 2 года) и большим разнообразием присваиваемых степеней (Италия, Испания, Португалия, Франция⁹);

- с длинным циклом (3–4 года + 1–2 года) и разнообразием направлений подготовки (Германия).

В соответствии со стандартом Европейской системы перевода и накопления кредитов (European Credit Transfer and Accumulation System, ECTS) трудоемкость 1 кредита или зачетной единицы (з.е.) для студента составляет 25–30 ч. [Libro Blanco..., 2004]. В этих единицах оцениваются все виды учебной деятельности: посещение лекций, учебно-ознакомительные экскурсии, работа в поле, консультации с преподавателем, занятия в библиотеке, выполнение практических работ и пр. За год при средней трудоемкости 60 з.е. общий объем учебной нагрузки в университетах Европы эквивалентен 1500–1800 академическим часам.

В России трудоемкость 1 кредита согласно ФГОС составляет 36 академических часов. При

пересчете российских кредитов на 60 з.е. годовая нагрузка студентов в России выше, чем в Европе, на 17–31%. Итоговая разница в часах за 4 года бакалавриата в России по сравнению с Европой выше на 1,4–2 тыс. ч., что эквивалентно еще одному «европейскому» учебному году.

В России, как и в Германии, самый длинный из рассмотренных цикл обучения, вместе с аспирантурой он составляет 10 лет. При поступлении в университет в возрасте 18 лет и последующем непрерывном обучении в бакалавриате, магистратуре и докторантуре (аналог российской аспирантуры) студент может учиться до 28 лет¹⁰. При кажущихся выгодах столь длительной подготовки для качества образования позднее попадание выпускников на рынок труда снижает их конкурентные преимущества по сравнению с теми, кто раньше приступил к работе по специальности¹¹.

На основании сравнительного анализа нами выявлены следующие общие черты и различия университетской географии в европейских странах и в России:

- высокая доля обязательных дисциплин, на которые приходится более 50% учебного времени (наиболее высока она в Италии и в России);

- присутствие дисциплин, направленных на формирование специализированных инструментальных навыков, в частности с использованием ГИС-технологий, аналитических, статистических и прочих методов исследований (наиболее высокая доля в структуре учебных планов в Великобритании, одна из самых низких — в России);

- наличие кредитов на проведение учебных практик и полевых исследований. Однако их количество и сама форма проведения практик сильно различаются. Нет единого правила в отношении того, в каком семестре проводятся практики, они могут быть привязаны к отдельным учебным курсам или к академическому году. В России доля учебной нагрузки, отводимая на практики, в несколько раз больше, чем в любом европейском университете [Kasimov et al., 2013]. За рубежом наиболее продолжительные по времени полевые практики (2 недели) сохранились во французских и британских университетах. Иногда в ходе практик студенты этих университетов выезжают не только в разные районы своей страны, но и в дальнее зарубежье (например, в Африку). Но в большинстве зарубежных вузов полевые практики — это ознакомительные экскурсии продолжительностью 1–2 дня. Они, как правило, оплачиваются за счет самих студентов; за год бывает всего 2–3 выезда. Впрочем, функцию практик на старших курсах отчасти выполняют академические обмены с зарубежными вузами по обще-

⁹ Во Франции эквивалентом степени бакалавра является лицензиат; наряду с классической двухгодичной магистратурой существуют одногодичные программы так называемой специальной и профессиональной (прикладной) магистратуры.

¹⁰ Отметим, что важнейшее отличие докторантуры европейских университетов от российской аспирантуры — существенно меньший объем обязательных курсов; ее основная задача — исследовательская работа по индивидуальному плану с целью написания диссертации PhD.

¹¹ Не исключается возможность работы части студентов по специальности и во время обучения.

европейским программам продолжительностью 1–2 семестра, в некоторых университетах в них участвуют до 40% всех студентов;

— повышенное внимание в европейских вузах к изучению основ и методов территориального планирования и управления, охраны окружающей среды. Соответствующие учебные курсы могут быть как вводными, так и формировать целостные модули в зависимости от направления специализации;

— увеличение диверсификации академических программ, появление смешанных и интегральных (естественнонаучных, гуманитарных) программ, особенно прикладной направленности (например, относящихся к популярным в последнее время за рубежом “наукам о жизни”) с включением географических дисциплин; увеличение числа “свободных” кредитов, которые могут быть выполнены на другом факультете. Максимально выражена эта тенденция в Великобритании. Россия пока находится в начале этого пути, хотя нормативная база (большая доля курсов по выбору, оговоренная в стандартах) уже создана.

Один год обучения в зарубежных европейских университетах делится на два семестра по 30 з.е., в каждом семестре 5–6 дисциплин, доля лекций обычно не превышает 20% от общей трудоемкости. Интервью с экспертами и анализ учебного расписания в зарубежных университетах показали, что объем лекционной нагрузки в них различается, но практически везде он существенно ниже российского. Например, в Школе географии и окружающей среды Университета Оксфорда (Великобритания) на 1-м курсе студенты слушают всего 7–8, а на 2-м курсе 4–5 ч. лекций в неделю; в Испании на 2-м курсе — 10 ч.; в России же на 2-м курсе географического факультета не менее 18 ч. в неделю.

За рубежом большое значение придается самостоятельной работе студентов: поиску информации, написанию эссе, выполнению практических заданий, работе в лабораториях [Datos..., 2014]. От преподавателя подобная организация работы студента требует значительных затрат времени на подготовку материалов, заданий, проверку работ. В случае большого числа студентов в преподавании предмета нередко участвуют несколько преподавателей. При высоком соотношении преподаватель/студент (от 1/11 в Кембридже и других наиболее престижных университетах до 1/25–1/50 в “средних” университетах) лекционная нагрузка на преподавателя обычно невелика (1 модуль в семестр). Это позволяет преподавателям заниматься научными исследованиями, участвовать в работе по грантам, выступать на научных конференциях. Кроме того, за рубежом преподавателям каждые 5 лет предоставляется “саббатикал” — оплачиваемый полугодовой отпуск для повышения квалификации в других университетах, путешествий, написания учебников и монографий.

Наряду с рассмотренными выше общими чертами у каждой страны есть отличительные осо-

бенности. Первая — наличие специализации в бакалавриате. Так, крайний случай представляют Нидерланды, где с самого начала у разных направлений нет общих дисциплин. В Великобритании и России профилизация начинается со 2-го курса, однако у каждой из этих стран своя стратегия. В Великобритании студенты с помощью тьюторов (научных руководителей) определяют индивидуальные образовательные траектории и компетенции, выбирая интересующие их модули (иногда на других факультетах) и темы выпускных работ. В России по новым правилам приема в вузы с 2014/15 учебного года уже на 1-й курс проводится набор на разные направления, однако впоследствии сохраняются общие предметы для этих направлений и профилей. Открытие нового профиля возможно, если отличается 25% дисциплин вариативной части, что означает значительную долю общих дисциплин для разных профилей.

Французская и испанская модели, напротив, демонстрируют высокую степень унификации подготовки; специализация формируется только на двух последних годах обучения за счет курсов по выбору. Французский географ готовится как специалист широкого профиля; предусмотрена сдача квалификационного экзамена, что позволяет выпускникам-географам преподавать курс географии и истории в средней школе.

Существенно различаются страны по количеству кредитов, отводимых на обязательное изучение негеографических общеобразовательных дисциплин. Различия здесь огромны — от полного отсутствия (в Великобритании, где их изучают до поступления в университет на высшей ступени школы — high school) до 45% в Италии; Россия по этому показателю занимает промежуточное положение. В странах с незначительной долей таких предметов (Нидерланды) обычно изучают дисциплины, которые важны для углубления специализации, например математическое моделирование. Во Франции, Италии и Испании существенно выше доля гуманитарных дисциплин, что объясняется тесными связями географии и истории. В учебных планах университетов Германии и России присутствуют экономика и социология. В России, Франции и Италии обязательно изучение иностранных языков.

Объем статьи не позволяет в полной мере осветить все особенности высшего географического образования в России и европейских странах. На наш взгляд, стоит подробнее остановиться на характеристике двух его систем — британской и итальянской. Образно говоря, это два “полюса” в спектре стран, которые были охвачены нашим исследованием. Высшее географическое образование в Великобритании занимает лидирующие позиции и служит примером наиболее успешного и динамичного развития. Италия, наоборот, являет пример глубокого кризиса, повторения которого желательно избежать. Наиболее близкие к российской классические модели университетской географии — фран-

цузская и особенно немецкая — в статье не рассматриваются, их описание можно найти в публикациях [Rahmenvorgaben..., 2010; Robic, 2012].

Великобритания. Курс географии читается в Оксфорде с 1886 г., в Кембридже — с 1888 г. [Geography..., 2014]. До конца XX в. география в этой стране рассматривалась как комплексная область, интегрирующая природную и социальную ветви; тематика исследований определялась интересами и возможностями университетов. Однако после введения нового режима финансирования, основанного на оценке исследовательской деятельности (Research Assessment Exercise, RAE), географические подразделения британских вузов стали дифференцироваться по рейтингу. Внешняя оценка научной деятельности через систему RAE и качества преподавания через систему оценки качества преподавания (Quality Assessment Audit, QAA), а также независимые рейтинговые оценки университетского образования¹² существенно повлияли на британскую университетскую географию. Это создало предпосылки, с одной стороны, к более глубокой диверсификации и фрагментации географии, а с другой — к сохранению ее традиций и повышению привлекательности для студентов [Yano, 2014].

В настоящее время география и науки об окружающей среде преподаются в 80 университетах Великобритании, где реализуется более 1400 соответствующих программ; общее число студентов географов и экологов в стране превышает 30 тыс., еще 3000 человек учатся в магистратуре и аспирантуре. По данным Королевского географического общества, набор на бакалаврские программы растет (в 2013 г. на 6,2%) [Geography..., 2014]; абитуриенты, зачисляемые на географические программы, как правило, имеют самые высокие проходные баллы по основным предметам (уровень AAA).

У британских университетов сложная организационная структура, в составе факультетов выделяются географические школы и/или департаменты. Например, в университете Сейнт-Эндрюса (Шотландия) есть Школа географии и наук о Земле с департаментами наук о Земле и окружающей среде, географии и устойчивого развития. В старейших университетах существуют многочисленные колледжи (в Кембридже географию изучают студенты 29 колледжей, в Оксфорде — 14), где занятия ведутся в малых группах. Структурные научно-исследовательские единицы представлены институтами, центрами¹³, лабораториями, но широко распространена практика создания исследовательских групп

по научным интересам или под проекты. Например, на факультете географии в Кембридже существует несколько междисциплинарных исследовательских групп (“Население, здоровье и история”, “Экологические системы и процессы” и др.) с участием преподавателей, научных сотрудников, докторантов; на их семинары приглашают студентов.

Выпускникам различных программ бакалавриата присваиваются степени бакалавра наук (BSc) и искусств (BA). Так, в Школе археологии, географии и окружающей среды Университета Рединга реализуются 5 программ BSc: по физической географии, социальной географии, комплексная программа по обоим направлениям, программа по устойчивому развитию и программа по окружающей среде. В Университетском колледже Лондона существуют международные программы подготовки бакалавров по географии, предусматривающие обучение на последнем году во многих университетах мира (от Франции и Швеции до Австралии и Сингапура).

В бакалавриате студенты получают широкую междисциплинарную подготовку и одновременно овладевают специальными знаниями в области географии и экологии¹⁴ (табл. 1). Для 1-го курса типичны вводные дисциплины и лекционная форма обучения, на 2-м и 3-м курсах лекции сочетаются с семинарами, возрастает число модулей по выбору, хотя остаются и обязательные. Например, в Кембридже это модуль “Географические идеи и концепции”, аттестация по которому включает оценку курсовой работы и письменный экзамен. Специализация определяется возможностью индивидуального выбора нескольких модулей со 2-го курса.

В ряде университетов на основе полученных на 1-м курсе навыков и компетенций второкурсники выполняют проект с использованием полевых, лабораторных и компьютерных методов. К каникулам приурочены недельные полевые практики, письменные работы по ним учитываются в годовой аттестации. На 3-м курсе основное время выделяется на подготовку диссертации, также студенты изучают несколько курсов по выбору и могут принять участие в программах обмена с другими университетами.

Одна из важнейших форм учебной деятельности — письменные работы. В Оксфорде студенты еженедельно пишут 3 эссе по 3 тыс. слов, в других университетах — до 4 эссе в семестр. По каждому практическому занятию сдаются письменные отчеты. Все экзамены проводятся только в письменной форме, при этом экзаменационные вопросы

¹² Например, независимые рейтинги газет “Гардиан”, “Таймс”, “Санди Таймс”. Согласно рейтингу “Гардиан” за 2013 г. в пятерку лидеров по географическим и эколого-географическим дисциплинам входят университеты Кембриджа, Оксфорда, Лондонская школа экономики, Университет Сейнт-Эндрюса (Шотландия) и Университетский колледж Лондона.

¹³ Например, Полярный научный институт имени В. Скотта и Центр гендерных исследований департамента географии Кембриджа.

¹⁴ В табл. 1 приведены названия курсов по выбору. Обязательные модули — “Получение и интерпретация данных”, “Географические идеи”, “Написание научных текстов и исследовательская работа в географии” (1-й год), “Практическая география” (2-й год), подготовка диссертации (3-й год).

Таблица 1

Учебный план программ бакалавриата Университетского колледжа Лондона: модули по выбору*

“География”	“География окружающей среды”
1-й год обучения	
Изменения окружающей среды Экологические системы и процессы Глобальная география Социальная экология: географические перспективы Лондон: географическое введение	Социальная экология: географические перспективы Лондон: географическое введение
2-й год обучения	
Методы социальной географии Методы физической географии Культурная и историческая география География развития География городов Окружающая среда и общество Дистанционное изучение окружающей среды ГИС и геодемография Гидрология и климатология Статистика для географов и экологов Палеорекострукция окружающей среды Политическая география и геополитика Экологические структуры и процессы	Геоморфология Экологическая структура и процессы ГИС и геодемография Статистика для географов и экологов Дистанционное изучение окружающей среды Гидрология и климатология Палеорекострукция окружающей среды
3-й год обучения	
Города Азии в глобализирующемся Юге Климатология Экосистемы побережий и эстуариев Сравнительная урбанистика Гендерная география Принципы и практика дистанционного зондирования Пресноводные экосистемы: восстановление и управление Полевые занятия за рубежом: Берлин или Греция	Управление окружающей средой: критические перспективы Климатология Экосистемы побережий и эстуариев Окружающая среда переувлажненных территорий Глобальные экологические изменения Глобальные экологические изменения прошлого Принципы и практика дистанционного зондирования Пресноводные экосистемы: восстановление и управление Полевые занятия за рубежом: Греция

* Составлена на основе академических планов 2013/14 учебного года.

нацелены на умение творчески интерпретировать пройденный материал. Большую роль в методическом обеспечении учебного процесса играет информационная среда на основе программных продуктов Blackboard, WebLearn, Moodle. Студенты обязаны зарегистрироваться на странице изучаемого модуля и активно работать с ним в течение семестра. На этих страницах вывешиваются презентации лекций, задания, тесты для самопроверки, графики встреч с преподавателями, списки литературы, ссылки на *online* каталоги библиотек, оценки за выполненные работы, комментарии преподавателей и т.д.

Италия. География как самостоятельное направление существует в итальянских университетах с 70-х гг. XIX в. В Италии преобладало тогда критическое отношение к так называемой общей географии, следствием чего стал разрыв между физической и социальной ветвями географической науки, спроецированный и на преподавание. Этому во многом способствовала популярность работ П. Видаля де ла Бланша и других французских географов, которые уделяли гораздо большее внимание проблемам общества, нежели особенностям природы. Положение стало меняться со сменой пара-

дигм в мировой географической науке в 70-е гг. XX в. В это время в Италии, вслед за другими странами, получили распространение новые направления географических исследований: количественная география, марксистская география (возникшая под влиянием И. Лакоста и других французских географов левой политической ориентации), география восприятия (когнитивная география), гуманитарная география.

Старейшая в Италии географическая школа в Римском университете Сапиенца между тем оставалась в рамках старых традиций, что негативно воспринимали как студенты, так и преподаватели. В этих условиях в 1980-е гг. в этом университете были предприняты усилия, направленные на развитие новых направлений географического образования, распространяющихся на межпредметные области. Была создана образовательная программа, ориентированная на изучение территориальных проблем здоровья населения и организации здравоохранения.

Введение этой новой программы стало едва ли не единственным позитивным примером. В целом в средней и высшей школе Италии часы на изучение географии и как самостоятельной дисципли-

ны, и как раздела интегральных курсов истории и литературы были сокращены. Преподаватели гуманитарного цикла, которым вменялось в обязанности выделять часть учебного времени на изучение географии, часто игнорировали географию. География как самостоятельное направление в университетском образовании столкнулась с сильной конкуренцией со стороны других областей профессионального образования — архитектуры, инженерных специальностей, антропологии.

По словам профессора К. Паладжиано, в последние годы географическое образование в Римском университете Сапиенца оказалось в глубоком кризисе. Налицо сокращение числа профессоров и студентов, потеря географией самоидентификации, ее несостоятельность как академического направления и непрестижность как профессиональной области. Существовавший при факультете филологии и философии Институт географии в 2004 г. был упразднен, на его основе образовали Департамент пространственных наук и культуры, к которому наряду с географией были отнесены антропология и музыковедение. В ходе очередной реорганизации в 2009–2010 гг. сохранилась только секция географии при департаменте историографии, лингво-филологических и географических наук.

В настоящее время обучение по географическим специальностям в рамках трехлетних программ очного обучения ведется всего в 5 университетах Италии: Сапиенца (направление “Географические науки”), Габриэле д’Аннунцио (направление “Территориальный анализ”); Флорентийском (направление “География человека и организация территории”); Миланском (направление “Гуманитарные науки, изучающие окружающую среду, территорию и ландшафт”) и Генуэзском (направление “Географические науки: территория, туризм, культурный ландшафт”). Докторантура по специальности “Физическая и экономическая география” сохранилась только в Университете Падуи, где есть три подразделения, в той или иной степени относящихся к географии: 1) наук о земле, 2) исторических, географических наук и изучения античности, 3) изучения территории, сельскохозяйственных и лесохозяйственных систем. Но в этом университете нет географического бакалавриата, а единственная географическая программа в магистратуре — “Местное развитие”.

Анализ программ обучения в университетах Италии приводит к печальным выводам. Набор учебных курсов эклектичен и неполон (табл. 2, 3). Налицо противоречие между стремлением сохранить разносторонность, присущую классическому географическому образованию, и в то же время руководствоваться тематикой, которую в состоянии предложить немногие оставшиеся преподаватели-географы. В программах не прослеживается логика выстраивания курсов по семестрам; курсов по выбору много, но некоторые из них трудно назвать

взаимозаменяемыми; преобладают общие (базовые) и тематические курсы, региональных (обзорных) курсов нет, за исключением курса по географии провинции Лацио и Рима.

Таблица 2

Модули и учебные дисциплины по направлению “География”* в Римском университете “Сапиенца” (трехгодичный курс *Laurea triennale in Geografia*)

Название	Семестр
Ландшафтная архитектура*	II
Экологическая и прикладная ботаника	
Фитогеография	II
Охрана природы и природных ресурсов	I
Экология ландшафта	II
Гражданское право	
История законодательства в области охраны природы и культурных ценностей	I
Экология	I
Политэкономия	
Основы политэкономии	I
Макроэкономика	II
География	
География окружающей среды	I
Океанология	I
Пространство и население	I
Пространство и религии	II
Гендерная география	I
География человека	I
Методы преподавания географии	I
Введение в географию	I
География	II
География Рима и области Лацио	II
Региональная география	I
Тематическая (отраслевая) география	I
География образования в Европе	I
Гуманистическая география	I
География языков	II
Медицинская география	II
Экономическая и политическая география	
Территориальная организация и территориальное планирование	II
Физическая география и геоморфология	
Метеорология и климатология	II
Земля как планета Солнечной системы	I
География новейших отложений и стратиграфия	
Геология	II
Социология экономических процессов и трудовых отношений	
Природная и историко-культурная ценность горных территорий	II
Социология трудового коллектива	II
Социология окружающей среды и территории	
Социология окружающей среды	II
Социально-экономические аспекты окружающей среды	II
Статистика	
Статистические вычисления	I
Общая статистика	II

История	
Новейшая история	II
Новейшая история Италии	I
История Средиземноморья (XVIII–XIX вв.)	II
История территориальной организации Лацио (XIII–XIX вв.)	II
Планирование развития городов	
Анализ городских территориальных систем	I

* Названия модулей выделены полужирным шрифтом.

Составлена на основе академического плана 2013/2014 учебного года.

Таблица 3

Модули и учебные дисциплины магистратуры в Римском университете “Сапиенца” по программе “Управление территориями и их валоризация” (первый год обучения)*

Название	Семестр
Коренные этносы Северной Америки и территория их обитания	I
География (курсы по выбору)	
Агрогеография	II
Пространство и религии	II
География миграций	I
Итальянская литература	I
Методы географических исследований	I
Геоинформатика и применение ГИС	
Геоинформатика	I, II
Использование ГИС в географических исследованиях	II
Население, хозяйство и территория	
Демографические и политические характеристики населения	II
Прикладная экономика	I
Геоботаника и динамика растительности	II

Примечания. Второй год посвящен в основном исследовательской работе и написанию диссертации.

* Составлена на основе академического плана 2013/14 учебного года.

Таким образом, анализ структуры и содержания географического образования Великобритании и Италии свидетельствует в первую очередь о необходимости расстановки приоритетов и определении четких целей высшего географического образования, а также формальных и прозрачных критериев оценки их достижения. В Великобритании очевидный импульс к реформированию содержания в сторону углубления и специализации дало введение рейтингов, но получение позитивных результатов было бы невозможно без заложенной ранее в стране многогранной научной базы фундаментальных географических исследований и поддержки со стороны среднего (школьного) образования. В Италии, напротив, налицо кризис целей географического образования, причины которого, возможно, лежат и вне сферы деятельности университетов. Однако отсутствие четких воплощенных

представлений о том, чем именно отличается география от остальных дисциплин, способствует углублению ее кризиса. Это проявляется в сокращении числа студентов и университетов, а также в размывании пространственной географической специфики, так, региональные курсы — традиционная обязательная составляющая географии — в учебных планах отсутствуют.

Выводы:

— Россия, как и ведущие европейские страны (Великобритания, Германия, Франция), имеет сложившуюся систему высшего географического образования, выстроенную на классических традициях, что составляет ее несомненное достоинство и хорошую базу для дальнейшего развития. Вместе с тем для российских вузов — по сравнению со многими рассмотренными зарубежными университетами — характерны больший консерватизм форм преподавания (преобладание лекций) и пока еще слабая восприимчивость к запросам общества и потребностям студентов. В то же время нормативные документы, оговаривающие значительный процент дисциплин по выбору и другие возможности диверсификации форм и содержания, в нашем образовании имеются, но наблюдается явный недостаток простых и прозрачных алгоритмов их реализации;

— в учебных планах отечественных вузов по сравнению с зарубежными недостаточно внимания уделяется формированию у российских студентов навыков самостоятельной исследовательской работы, что парадоксально, учитывая традиционно тесную связь высшего географического образования в России с фундаментальной наукой. В данном случае речь идет не столько об объеме кредитов, сколько об ориентации на формирование исследовательских навыков как в процессе всего процесса обучения, так и в рамках отдельных специальных курсов по планированию научно-исследовательской работы, написанию статей и т.д. В связи с этим однозначно негативно следует оценить, что индивидуальная работа преподавателей со студентами, подготовка учебно-методических комплексов, проверка студенческих работ по объему засчитываемых часов явно недооценена по сравнению с лекционной нагрузкой, а часть работы (например, консультация студентов по подготовке материалов к публикации) не учитывается;

— во всех рассмотренных нами странах прослеживается тесная взаимосвязь между состоянием высшего и среднего географического образования. Наиболее успешные системы университетской географии выстроены на мощном фундаменте школьных знаний, многие географические дисциплины из учебных планов российских университетов за рубежом изучают в профильной школе;

— как показывает опыт зарубежных стран, в той или иной степени эффективными могут быть разные модели университетской географии. Одно из обязательных условий — опора на рейтинговую

оценку качества преподавания и результатов научной деятельности, причем не стоит полностью перенимать критерии зарубежных рейтингов, не учитывая российские традиции и реалии. Перспективы университетской географии в России в ближайшие

10–20 лет зависят от способности найти свой путь адаптации к меняющимся социально-экономическим условиям и потребностям рынка труда, а также к появлению новых научных направлений и образовательных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ REFERENCES

Учебно-методические материалы по направлению 021000 “География”: для государственных университетов. Новосибирск: ООО “Новосибирский издательский дом”, 2011а.

Uchebno-metodicheskiye materialy po napravleniyu 021000 “Geografia” dlya gosudarstvennykh universitetov [Educational materials on Geography for Universities], Novosibirsk: Novosibirsky izdatelskiy dom, 2011a.

Учебно-методические материалы по направлению 022000 “Экология и природопользование”: для государственных университетов. Новосибирск: ООО “Новосибирский издательский дом”, 2011б.

Uchebno-metodicheskiye materialy po napravleniyu 022000 “Ecologia y ratsionalnoye prirodopolzovaniye” dlya gosudarstvennykh universitetov [Educational materials on Ecology and Nature Management for Universities], Novosibirsk: Novosibirsky izdatelskiy dom, 2011b.

Холина В.Н. География в системе университетского образования // Стандарты и мониторинг в образовании. 2004. № 3. С. 35–40.

Kholina V.N. Geografia v sisteme universitetskogo obrazovaniya [Geography in Russian Universities], *Standarty i Monitoring v Obrazovanii*, 2004, no 3, pp. 35–40 (in Russian).

Benchmark Statement, Geography. The Quality Assurance Agency for Higher Education. L., 2007.

Blumhof J., Holmes P. Mapping the Environmental Science Landscape — An investigation into the state of the environmental science subject in higher education, *Planet*, 2008, no 20, pp. 2–5.

Changing Horizons in Geography Education, Ed. by K. Donert, P. Charzynski. Torun, 2005.

Datos Básicos del Sistema Universitario Español. Curso 2013/2014. URL: http://www.mecd.gob.es/dms/mecd/educacion-mecd/areas-educacion/universidades/estadisticas-informes/datos-cifras/DATOS_CIFRAS_13_14.pdf (Accessed: 05.03.2014).

Geography in the UK. URL: <http://www.rgs.org/GeographyToday/Geography+in+the+UK.htm> (Accessed: 10.11.2014).

Kasimov N.S., Chalov S.R., Panin A.V. Multidisciplinary field training in undergraduate Physical Geography: Russian experience, *J. Geogr. Higher Education*, 2013, V. 37, iss. 3, pp. 416–431.

Libro Blanco. Título de grado en geografía y ordenación del territorio. Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación. Madrid, mayo 2004. URL: http://www.aneca.es/var/media/150444/libroblanco_jun05_geografia.pdf (Accessed: 09.03.2014).

Ottens H. Reflections on Geography Education in Europe, *J. Res. and Didactics in Geography (J-Reading)*, 2013, V. 2, no 2, pp. 97–100.

QS World University Rankings by Subject 2014 — Geography & Area Studies // QS topuniversities. URL: <http://www.topuniversities.com/university-rankings/university-subject-rankings/2014/geography> (Accessed: 11.02.2014).

Rahmenvorgaben für die Lehrerausbildung im Fach Geographie an deutschen Universitäten und Hochschulen, Karl-Heinz Otto und Leif O. Mönter (federführend), Bonn, 2010.

Robic M-C. (dir.). Couvrir le monde. Un grand XXe siècle de géographie française, P., 2006.

Yano K. Geography in the United Kingdom, *J. Geogr. (Chigaku Zasshi)*, 2012, V. 121, no 4, pp. 586–600.

Поступила в редакцию
21.08.2014

N.N. Alekseeva, O.A. Klimanova, A.S. Naumov

COMPARATIVE ANALYSIS OF HIGHER GEOGRAPHICAL AND ENVIRONMENTAL-GEOGRAPHICAL EDUCATION IN RUSSIA AND THE COUNTRIES OF FOREIGN EUROPE

Topical problems of organization and development of geographical and ecological-geographical education in foreign countries were studied basing on the inquiry of the leading European universities, questioning their professors and analysis of various informational sources. Principal models of education development in the countries under study were identified, systems of geographical and ecological training in Russian and foreign universities were compared and basic difference of domestic educational system was revealed. Best practices based on the advanced methodical and practical experience of organization of the university geography in European countries are recommended as a model for modernization of structure and content of the higher geographical and ecological-geographical education in Russia.

Key words: geographical and ecological-geographical education, universities, Bologna process, curriculum, educational program, field training, credits.

МЕТОДИКА ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.465 (262.5)

А.Ю. Медведева¹, В.С. Архипкин², С.А. Мысленков³, С.С. Зилитинкевич⁴ВОЛНОВОЙ КЛИМАТ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНОЙ МОДЕЛИ SWAN⁵

Рассмотрено применение модели ветрового волнения SWAN (с входными данными ветра реанализа NCEP/NCAR) для Балтийского моря. Высокое пространственное разрешение для всей акватории и один из самых длительных периодов (более 60 лет), за который получены поля основных характеристик ветрового волнения, отличают исследования от предыдущих работ. Полученные результаты представляют собой хороший фундамент для дальнейшего изучения климатической изменчивости ветрового волнения. Выполнено сравнение натурных данных с заякоренных буйев с известными оперативными моделями Балтийского региона и с результатами исследований других авторов [Лопатухин и др., 2006; Jönsson et al., 2003; Kriezi, Broman, 2008; Räämet, 2010; Räämet, Soomere, 2010; Saremi, 2010; Soomere, 2003; Soomere et al., 2008]. Результаты показали, что совпадение измерений и модельных данных высокое, однако модель SWAN в среднем занижает значения значительной высоты волн и пиковые периоды. По оценкам точности модели подсчитанные статистические характеристики (коэффициент корреляции, средняя систематическая, среднеквадратическая и относительная среднеквадратическая ошибки) попадают в средний диапазон по сравнению с другими численными экспериментами. Отдельно был рассмотрен экстремально сильный шторм, вызванный ураганом Гадран (2005). Результаты анализа показали, что модель адекватно отображает реальные условия, т.е. ее применение для Балтийского моря целесообразно. По полученным результатам за 63-летний период выделены штормовые ситуации по критерию превышения значительной высотой волн 2 м, что позволило исследовать климатическую изменчивость ветрового волнения в Балтийском море. За 63 года выявлено 2943 штормовых ситуации, т.е. в среднем около 50 штормов в год. В межгодовом ходе выявлены тенденции усиления штормовой активности и двадцатилетняя периодичность с максимумами в 70-х и 90-х гг. XX в.

Ключевые слова: Балтийское море, ветровое волнение, модель SWAN, NCEP/NCAR, волновой климат, ураган Гадран, значительная высота волн, пиковый период.

Введение. Морские ветровые волны — одно из наиболее очевидных проявлений взаимодействия океана и атмосферы. Межгодовая изменчивость характеристик ветрового волнения — это отражение климатических изменений на Земле. Ветровое волнение имеет большое значение для судоходства, строительства в прибрежной зоне, проведения морских работ и освоения нефтегазоносных районов шельфа. Одна из основных задач лаборатории оценки природных рисков географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова — изуче-

ние изменчивости режимного и экстремального штормового волнения в морях России [Natural..., 2014].

Для исследования изменчивости ветрового волнения, волнового климата необходимы длительные ряды данных, покрывающие всю акваторию моря. Эта задача решается путем применения численного моделирования с использованием волновой спектральной модели третьего поколения SWAN (Simulating WAVes Nearshore), разработанной в Делфтском университете (Нидерланды) [SWAN...,

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, аспирант; ИО РАН, лаборатория цунами, мл. науч. с.; *e-mail:* alisa.bannikova@gmail.com

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

³ Метеорологический институт Финляндии, профессор; Университет г. Хельсинки, физический факультет, кафедра атмосферных исследований; Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, радиофизический факультет; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет; *e-mail:* sergej.zilitinkevich@fmi.fi

⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 11.G34.31.0048; ФЦП “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы” соглашение № 14.578.21.0033 от 05.06.2014 г.), РФФИ (грант № 14-05-91769), Российской федеральной программы развития научно-технологической инфраструктуры России в 2014–2020 гг. (контракт № 14.578.21.0033, 2014–2016); Европейского научно-исследовательского совета ERC-Ideas PoC 632295-INMOST (2014–2015); Финского научного фонда Академии Финляндии: ABBA (contract N 280700, 2014–2017).

2014] для шельфовой зоны Мирового океана. Для каждого моря требуются отдельная проверка и калибровка численных моделей по данным наблюдений.

В ходе работы для всей акватории были рассчитаны поля характеристик ветрового волнения с 1948 по 2010 г. с помощью модели SWAN. Цель исследований — оценка качества полученных результатов на основе сравнения с данными измерений, определение целесообразности применения модели SWAN с использованием полей реанализа NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research), установление особенностей волнового климата [Earth..., 2014; Kriezi, Broman, 2008] для Балтийского моря.

Постановка проблемы. Балтийское море — почти полностью замкнутое внутриконтинентальное шельфовое море с максимальной глубиной до 453 м. Относительно небольшие размеры акватории практически полностью исключают наличие длиннопериодной зыби, сложная геометрия бассейна и высокая изменчивость ветровых полей приводят к большому временному и пространственному разнообразию ветровых волн [Leppäranta, Myrberg, 2009]. Глобальные волновые базы данных, такие, как атлас волнения KNMI/ERA-40 (с разрешением $1,5 \times 1,5^\circ$) [Sterl, Caires, 2005], дают лишь обобщенное представление о волнении в Балтийском море. Сложная картина волновых полей требует составления долгосрочного прогноза и изучения общих тенденций и специфических особенностей долгопериодной изменчивости режимных и экстремальных характеристик волнения. Волновые условия здесь значительно изменяются в зависимости от времени года и региона. Шторм в некоторых районах может стать очень сильным всего за 6 ч., поэтому необходимо обладать средствами для его прогноза [Jönsson et al., 2003].

Нами при помощи модели SWAN по данным реанализа NCEP/NCAR были восстановлены поля характеристик ветровых волн для Балтийского моря с 1948 по 2010 г. с пространственным разрешением $0,05^\circ$. Полученные результаты позволяют исследовать изменения волнового климата и штормовой активности. Модель SWAN для условий Балтийского моря применяли ранее [Kriezi, Broman, 2008; Saremi, 2010], однако использование в качестве ветрового форсинга реанализа NCEP/NCAR в сочетании с этой моделью за столь длительный период сделано впервые.

Материалы и методы исследований. При исследованиях использована спектральная модель ветрового волнения третьего поколения SWAN [SWAN..., 2014]. В ее основе лежит решение уравнения баланса энергии волнового поля:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma}, \quad (1)$$

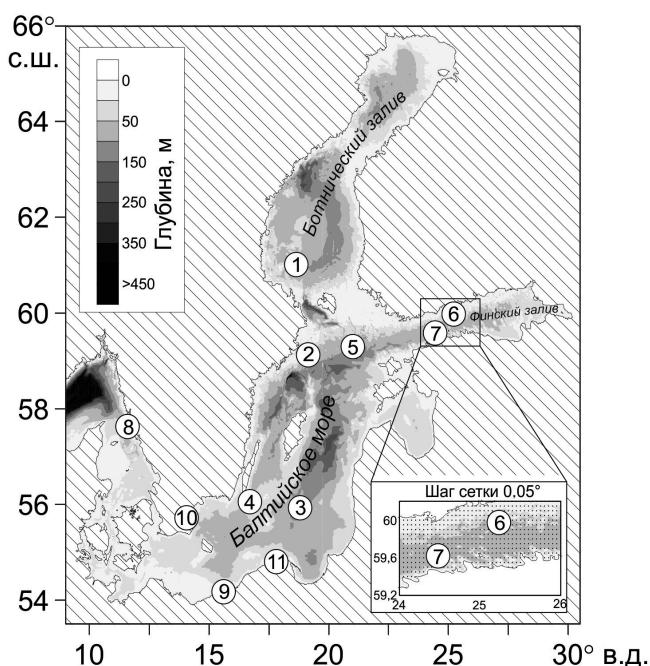


Рис. 1. Батиметрическая карта Балтийского моря с положением буйковых станций. На врезке — пространственное покрытие акватории расчетными узлами

где N — удельная спектральная плотность; x, y — пространственные координаты; t — время; σ — волновая частота; θ — волновой угол; c_σ, c_θ — скорость распространения в спектральном пространстве (σ, θ) ; S_{tot} — функция источника, которая включает следующие физические процессы: генерацию волн за счет энергии ветра, нелинейный перенос энергии волн при взаимодействии 3-х и 4-х волн (гармоник), уменьшение волн из-за образования пены и брызг, трение о дно и обрушение волн на критической глубине. Модель SWAN ориентирована на решение задач для шельфовых вод, к которым относится Балтийское море. Основное отличие этой волновой модели от других заключается в том, что она учитывает нелинейные взаимодействия трех волн, характерные для закрытых и мелководных акваторий, а также эффекты обрушения и дифракции волн.

При расчетах использована прямоугольная сетка с шагом $\sim 0,05^\circ$ (всего 23 345 узлов непосредственно для моря, рис. 1). В результате получены поля характеристик ветрового волнения для Балтийского моря за каждые 3 ч. (шаг вычислений — 15 мин.) с 1948 по 2010 г. (всего 63 года): значительная высота волн H_s (среднее значение высоты от 1/3 наиболее высоких волн в спектре волнения), среднее направление распространения волн, средний период волн, средняя длина волны, средняя высота зыби, пиковый период волн, перенос энергии.

В качестве вынуждающего воздействия использованы поля ветра на высоте 10 м над уровнем моря по данным реанализа NCEP/NCAR [Earth..., 2014; Kalnay et al., 1996]. Поля реанализа представляют собой компоненты ветра u и v с временным

шагом 6 ч. и пространственным разрешением $\sim 1,875^\circ$ (всего 70 узлов для акватории).

В качестве входных данных о рельефе дна и конфигурации береговой линии Балтийского моря за основу была взята база данных GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) [General..., 2014] с пространственным разрешением 1 морская миля ($\sim 0,014^\circ$) (рис. 1). Расчеты выполнялись с использованием ресурсов суперкомпьютерного комплекса МГУ имени М.В. Ломоносова [Parallel..., 2014].

Для верификации модели использованы инструментальные данные буев Шведского метеорологического института с дискретностью 1 ч. (табл. 1, № 1–4) [Environment..., 2014] (рис. 1).

Кроме того, сравнение проводилось с данными оперативных моделей Балтийского региона для трех станций (табл. 1, № 5–7 [Soomere et al., 2008]) — моделью Германского института DWD (Deutscher Wetterdienst), моделью Финского института мор-

ских исследований FIMR (Finnish Institute of Marine Research) и моделью Датского метеорологического института DMI (Danish Meteorological Institute) (табл. 2) [Soomere et al., 2008]. В основе всех вышеперечисленных оперативных моделей лежит спектральная модель ветрового волнения третьего поколения WAM (WAVes Modelling) [WAMDI..., 1988], которая отличается от SWAN механизмом генерации волн.

Модели SWAN и DMI не учитывают ледовый покров. Для периода ледостава полученные результаты адекватно отображают ситуацию только для центральной и южной частей Балтийского моря, где лед появляется крайне редко [Kahma et al., 2003]. В моделях DWD и FIMR ледовый покров при расчетах принимается за земную поверхность. Реанализ MESAN Klimat (MESoscale wind field ANalysis) [Häggmark et al., 1997, 2000] основан на традиционном прогнозе погоды и инструментальных из-

Таблица 1

Используемые в исследовании буйковые и береговые станции

Номер буй	Название	Период наблюдений	С.ш., град.	В.д., град.	Глубина, м
1	Буй “Финнгрундет” [Environment..., 2014]	2010	61,00	18,67	30,6
2	Буй “Алмагрундет” [Environment..., 2014]	1992	59,15	19,13	39,7
3	Буй “Содра Остерсейон” [Environment..., 2014]	2010	55,92	18,78	111,7
4	Буй “Оландс Содра Грунд” [Environment..., 2014]	1992	56,07	16,68	35,9
5	Буй 1 в [Soomere et al., 2008]	07–14.01.2005	59,25	21,00	62,2
6	Буй 2 в [Soomere et al., 2008]	07–14.01.2005	59,98	25,23	56,6
7	Буй 3 в [Soomere et al., 2008]	07–14.01.2005	59,62	24,49	14,4
8	Буй “Трубадурен” [Jönsson et al., 2003]	1990–1999, 2001, 2002, 2008, 2010	57,60	11,63	9,0
9	Колобжег [Blomgren et al., 2001]		54,20	15,63	
10	Косеберг [Blomgren et al., 2001]		55,74	14,00	
11	Любятово [Blomgren et al., 2001]		54,81	17,84	

Примечания. Прочерк — в [Blomgren et al., 2001] не указано.

Таблица 2

Характеристики модели SWAN и оперативных моделей, с которыми проводилось сравнение

Волновая модель		Атмосферные данные (модель)		
Название	С.ш.?	Название	Временной шаг, ч.	С.ш.?
SWAN	0,05?	NCEP/NCAR	6	1,875?
FIMR [Soomere et al., 2008]	0,08?	FMI-HIRLAM 6.2.1	1	0,08?
DMI [Soomere et al., 2008]	0,17?	DMI-HIRLAM [Källén, 1996]	1	0,05?
DWD [Soomere et al., 2008]	0,1?	Local Model	3	0,06250,0625
WAVAD [Blomgren et al., 2001]	15?	Измерения	3	0,14?
HYPAS [Jönsson et al., 2003]	11?	MESAN Klimat [Häggmark et al., 1997, 2000]	3	0,2?

мерениях, но, к сожалению, его данные покрывают всего 6 лет. HYPAS и WAVAD — спектральные модели ветрового волнения второго поколения для глубокой и мелкой воды. В отличие от модели SWAN они учитывают взаимодействие между волнами в более упрощенном виде.

Для оценки адекватности воспроизведения моделью реальных условий для 4-х станций были рассчитаны взаимные статистические характеристики [Руководящий..., 2011] — средняя систематическая ошибка (Bias), среднеквадратическая ошибка (RMSE), относительная среднеквадратическая ошибка (SI) и коэффициент корреляции (R):

$$\text{Bias} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} (P_i - Q_i), \quad (2)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (P_i - Q_i)^2}, \quad (3)$$

$$\text{SI} = \frac{\text{RMSE}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Q_i}, \quad (4)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N ((P_i - \bar{P})(Q_i - \bar{Q}))}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P})^2 \right) \left(\sum_{i=1}^N (Q_i - \bar{Q})^2 \right)}}, \quad (5)$$

где N — число значений, P — модельное значение, Q — фактическое значение, $\bar{P}$ — среднее модельное значение, $\bar{Q}$ — среднее фактическое.

Результаты исследований и их обсуждение. Сравнение с данными наблюдений. На первом этапе исследования проводилась верификация модели: результаты численных расчетов сравнивали с данными инструментальных измерений. Для этого были выбраны станции с длительными непрерывными рядами измерений в разных частях Балтийского моря и на разной глубине. На рис. 2 показаны результаты сравнения модельных расчетов в ближайшем узле и данных измерений со станции № 3 “Содра Остресйон” (табл. 1), расположенной в открытой части Балтийского моря на юго-восток от о. Готланд (рис. 1). Величина H_s , рассчитанная по результатам численных экспериментов, меньше измеренной (рис. 2), что, вызвано использованием данных реанализа NCEP/NCAR. Локальные флуктуации, наблюдающиеся в данных натурных измерений, отсутствуют в модельных расчетах. Это связано с относительно низким временным разрешением реанализа (6 ч.).

Значение коэффициента корреляции (5) между измерениями на станции № 3 и результатами моделирования в ближайшем узле расчетной сетки довольно высокое и составляет 0,88 (табл. 3). Для

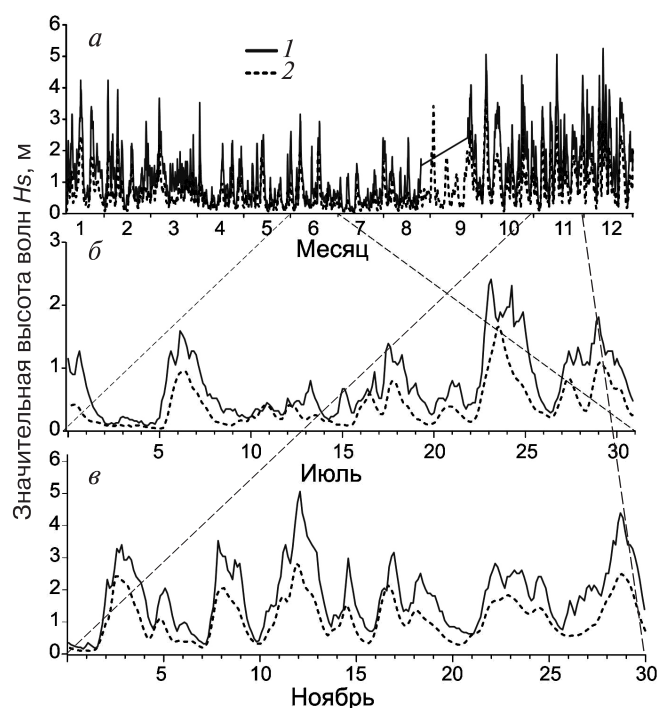


Рис. 2. Значительная высота волн (м) по данным наблюдений со станции № 3 “Содра Остресйон” и по результатам модели SWAN: а — для всего 2010 г., б — для июля 2010 г., в — для ноября 2010 г.; 1 — измеренная H_s ; 2 — SWAN

оценки полученных результатов для разных сезонов были выбраны отдельные месяцы с развитым волнением (январь, ноябрь) и с более спокойным состоянием морской поверхности (май, июль). В июле и мае значения R , Bias, RMSE для всех станций (кроме буя № 2) меньше, чем в осенне-зимний период. В целом для “спокойных” месяцев результаты моделирования лучше согласуются с измерениями.

Значение R для анализируемых рядов изменяется от 0,73 до 0,91, наклон линейного тренда — от 0,69 до 1,39 (рис. 3). Полученные статистические характеристики попадают в средний диапазон разброса значений по сравнению с исследованиями других авторов (табл. 4). Согласно [Bouws et al., 1998], типичная величина SI варьирует в пределах 0,25–0,3. По результатам нашей работы она составила ~0,5. Для Средиземного моря, почти полностью замкнутого, как и Балтийское море, SI также выше типичных значений, а значения SI, лежащие в пределах 0,25–0,3, характернее для открытых морей [Pontes et al., 1997]. Определяющим фактором, вероятнее всего, является влияние береговой линии [Jönsson et al., 2003]. Как видно на рис. 3, совпадение рядов достаточно высокое. Для всех использованных в работе станций (кроме станции № 2) модель SWAN в среднем занижает значения H_s .

Сравнение с другими оперативными моделями на примере экстремального шторма, вызванного циклоном Гадран. В рамках исследования отдельно был рассмотрен экстремальный шторм, вызванный внетропическим циклоном Гадран (Эрвин) со

Таблица 3

Статистические характеристики сравнения значительной высоты волн (H_s) по модельным и измеренным данным по формулам (2–5)

Номер буя	Название	Период наблюдений	R	RMSE	Bias	SI
1	“Финнгрундет”	январь–декабрь 2010	0,83	0,51	–0,33	0,53
		ноябрь 2010	0,88	0,64	–0,50	0,45
		июль 2010	0,77	0,33	–0,20	0,48
2	“Алмагрундет”	январь–декабрь 1992	0,81	0,39	0,04	0,45
		январь 1992	0,71	0,59	0,032	0,61
		май 1992	0,83	0,30	0,02	0,45
3	“Содра Остерсейон”	январь–декабрь 2010	0,88	0,72	–0,53	0,58
		ноябрь 2010	0,91	0,89	–0,73	0,49
		июль 2010	0,87	0,44	–0,34	0,60
4	“Оландс Содра Грунд”	январь–декабрь 1992	0,84	0,48	–0,30	0,50
		январь 1992	0,85	0,51	–0,18	0,37
		май 1992	0,83	0,31	–0,14	0,48

Примечания. Полужирным выделены наилучшие значения по статистическому показателю.

скоростью ветра $>33\text{--}43$ м/с над Северным морем. Балтийского моря он достиг уже в ослабленном виде со скоростью ветра $25\text{--}27$ м/с. Вызванный им шторм стал для Балтики одним из самых сильных за последние 40 лет. В северной глубоководной части моря максимальная измеренная высота волны составила 7,2 м, в Финском заливе — 4,5 м [Soomere et al., 2008]. Согласно данным этой работы, H_s вблизи побережья о. Сааремаа составила $\sim 9,5$ м, пиковый период в центральной части моря достиг 12 с. Согласно расчетам, выполненным нами с помощью модели SWAN, значение H_s достигло у о. Сааремаа 8,6 м (рис. 4, ж), максимальный период — 8 с. Скорость ветра на момент максимального развития штормового волнения достигала 26,5 м/с в центральной глубоководной части Балтийского моря (рис. 4, з).

Для штормовой недели с 7 по 14 января 2005 г. проведено сравнение полученных результатов с данными трех буйев и с оперативными моделями (рис. 4). Для буя № 5 (рис. 4, а), расположенного в открытой центральной части моря, значение H_s в начале шторма для первого пика занижено примерно на 0,8 м; для момента максимального развития шторма (9 января) оно завышено на 0,2 м. В период затишья ветрового волнения модель SWAN занижает значения H_s в среднем на 0,5 м. Разница более существенна для Финского залива (буй № 6), а также для акватории на северо-западе от о. Хьяумаа вблизи Таллина (станция № 7) (рис. 4, б). Внутри залива ошибка более существенна.

Значения пикового периода модель SWAN значительно занижает в моменты затухания волнения (приблизительно на 2–4 с) и менее существенно для периодов усиления волнения (примерно на

0,5–2 с). В реальных условиях волнение морской поверхности ослабевает медленнее, чем по результатам моделирования. Занижение периодов волн — характерная проблема для модели SWAN, которую пытались решить другие авторы [Kriezi, Broman, 2008].

На рис. 4, ж, к приведено распределение H_s (м) и скорости ветра для всей акватории Балтики, которое соответствует моменту максимального развития шторма Гадран 9 января в 06:00 по Гринвичу (рис. 4, а–в, 2-й пик), а на рис. 4, з, л — другому шторму 13 января в 12:00 по Гринвичу (рис. 4, а–в, 4-й пик). Наиболее сильное волнение обрушилось на западное побережье о-вов Сааремаа и Хийумаа — по результатам модели DMI H_s в эпицентре достигла 9 м (рис. 4, и, м), а по модели SWAN ~ 7 м. Модель DMI [Soomere et al., 2008] показала, что волны с $H_s \geq 6$ м распространялись намного дальше в глубь Финского залива. В Ботническом заливе, по данным модели DMI, присутствуют локальные области усиленного волнения (~ 4 м); по нашим данным, максимальное значение H_s для данного района составило 2,5 м. Для всей акватории картина ветрового волнения, полученная с помощью модели SWAN, намного более спокойная.

Сравнение с результатами исследований других авторов. Существует множество исследований, посвященных изучению волновых условий Балтийского моря [Лопатухин и др., 2006; Jönsson et al., 2003; Kriezi, Broman, 2008; Räämet, 2010; Räämet, Soomere, 2010; Saremi, 2010; Soomere, 2003; Soomere et al., 2008]. Наиболее широко применяется модель ветрового волнения третьего поколения WAM в сочетании с различными входными данными о ветре (табл. 2), спектральная модель SWAN использова-

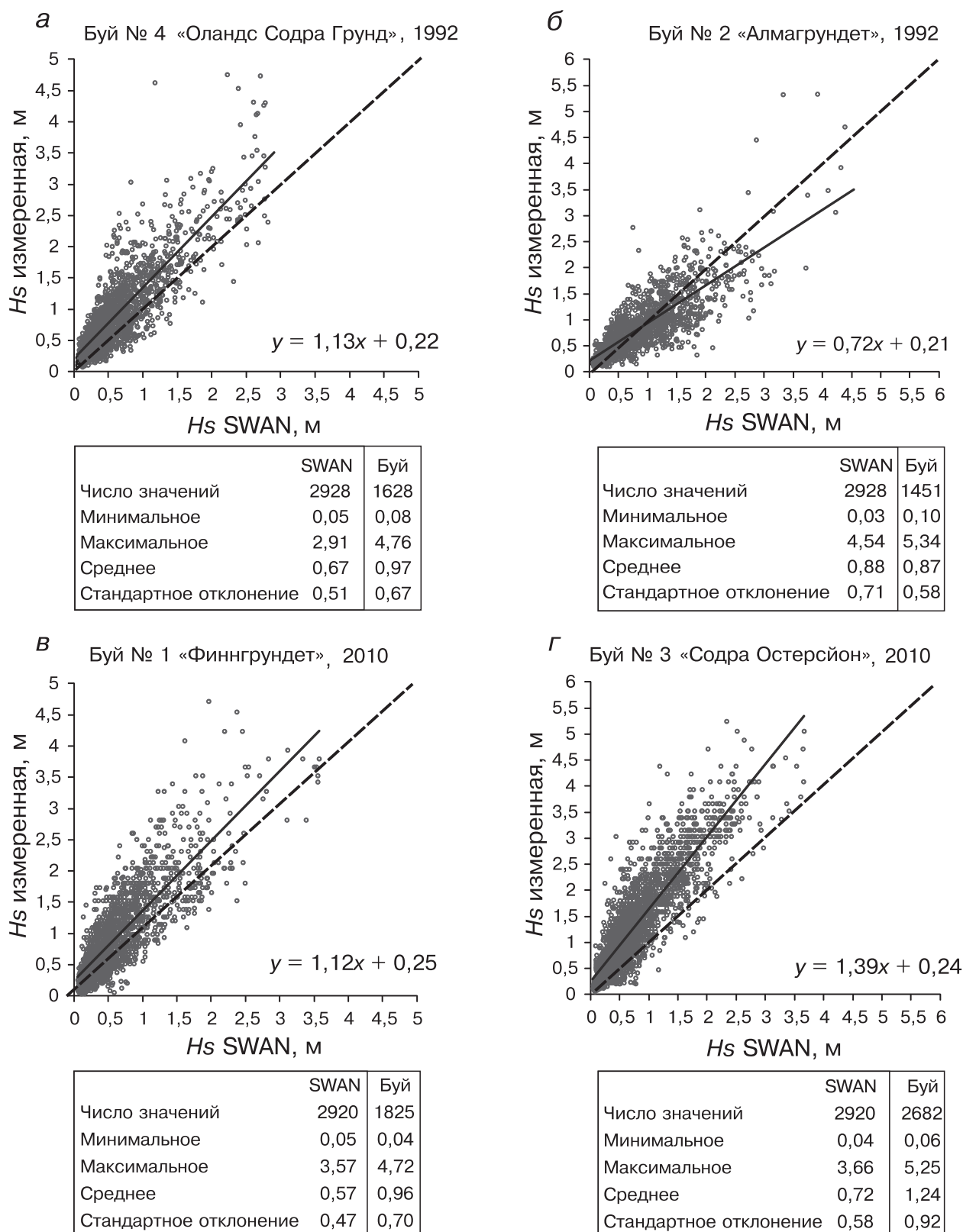


Рис. 3. Скаттер-диаграммы по измеренным и по модельным данным для станций: а — № 4 «Оландс Содра Грунд», 1992 г.; б — № 2 «Алмагрундет», 1992 г.; в — № 1 «Финнгрундет», 2010 г.; г — № 3 «Содра Остерсейон», 2010 г. и основные статистические характеристики. Сплошная линия — линейный тренд, штриховая линия (y) — уравнение линии тренда

лась не так часто [Kriezi, Broman, 2008; Saremi, 2010]. В табл. 4 приведены статистические характеристики сравнения результатов моделирования с измерениями различных авторов для Балтийского

моря. Нашу работу от предшествующих отличает более длительный период численных расчетов (63 года), а также входные данные о ветре. В сочетании с реанализом NCEP/NCAR модель SWAN

Таблица 4

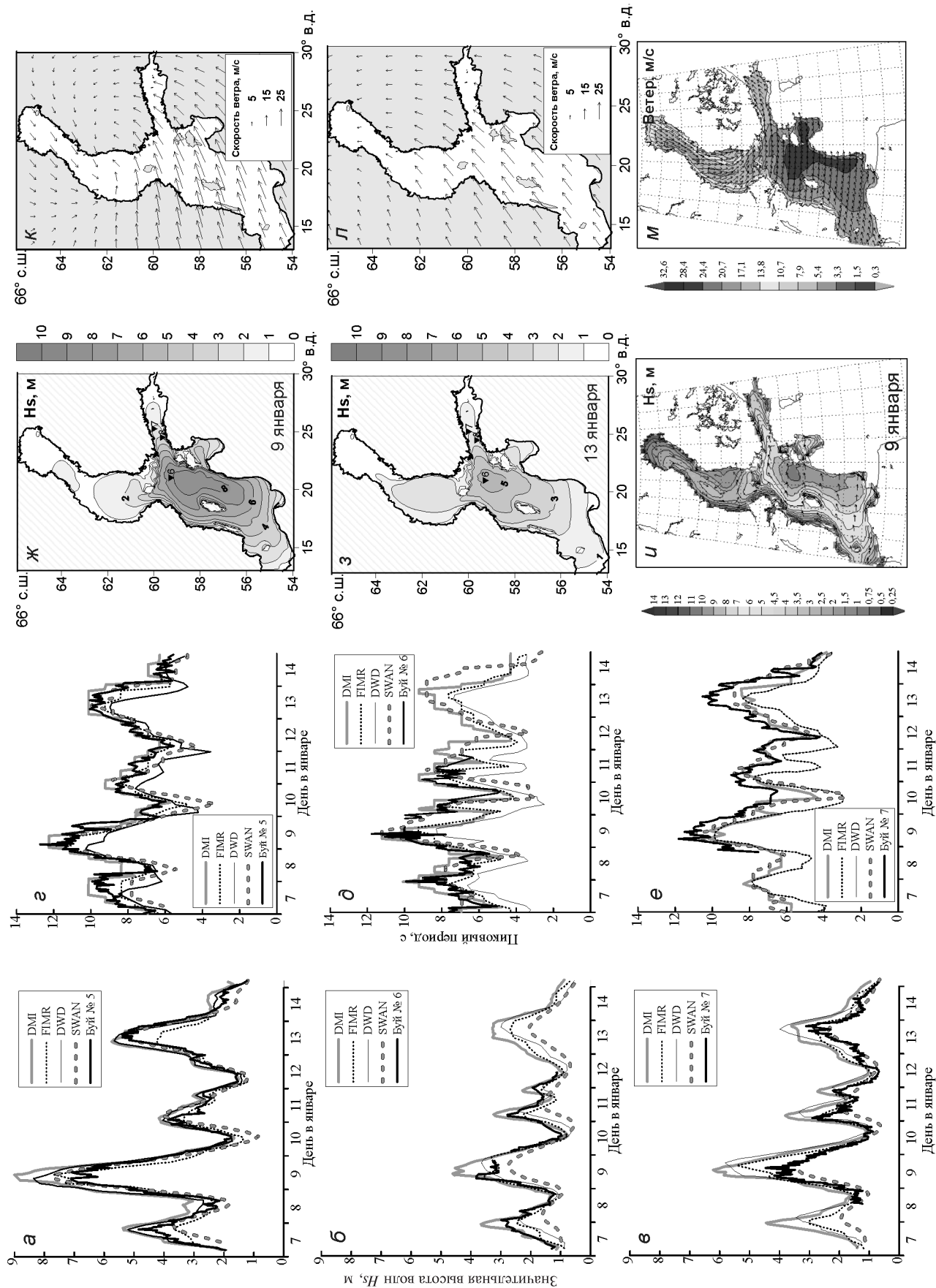
Статистические характеристики по формулам (2–5) для H_s , м

Модель волновая/атмосферная	Буй № 2		Буй № 4		Буй № 8		Период
	R	RMSE	R	RMSE	R	RMSE	
	Bias	SI	Bias	SI	Bias	SI	
SWAN/MESAN [Kriezi, Broman, 2008]	—	0,5	—	—	—	—	1999
	0,13	0,13	—	—	—	—	
SWAN/RCA* [Kriezi, Broman, 2008]	—	0,79	—	0,63	—	0,5	21.11—12.12.1999
	0,27	0,45	0,09	0,09	0,09	0,09	
HYPAS/MESAN [Kriezi, Broman, 2008]	0,88	0,45	0,87	0,40	0,90	0,26	1999
	—	0,44	—	0,42	—	0,37	
WAVAD/Измерения [Blomgren et al., 2001]	Станция № 9		Станция № 10		Станция № 11		—
	0,85	0,32	0,94	0,32	0,86	0,32	
	—	0,52	—	0,41	—	0,31	
Модель волновая/атмосферная	Буй № 2		Буй № 4		Буй № 8		Период
	R	SI	R	SI	R	SI	
SWAN (0,1×0,1°)/RCA [Saremi, 2010]	0,69	0,53	0,49	0,67	0,65	0,64	2008
SWAN (0,05×0,05°)/ RCA [Saremi, 2010]	0,78	0,49	0,51	0,65	0,66	0,63	1990/2001/ 2002, для каждого буя соответственно
	0,72	0,49	0,51	0,65	0,66	0,63	1999/2010/ 2010, для каждого буя соответственно
WAM/FIMR (HIRLAM) [Soomere et al., 2008]	Буй № 5		Буй № 6		Буй № 7		Период
	Bias	RMSE	Bias	RMSE	Bias	RMSE	
	−0,36	0,53	−0,23	0,33	0,32	0,49	7—14.01.2005
	−0,35	0,66	0	0,22	0,66	0,86	9.01.2005
WAM/DMI (HIRLAM) [Soomere et al., 2008]	0,39	0,59	0,16	0,42	0,71	0,86	7—14.01.2005
	0,87	1,06	0,4	0,64	1,12	1,31	9.01.2005
WAM/DWD (Local Model) [Soomere et al., 2008]	0,24	0,46	−0,26	0,39	0,59	0,83	7—14.01.2005
	0,7	0,83	−0,05	0,38	1,12	1,33	9.01.2005
Модель волновая/атмосферная	Сетка, град.						Период
SWAN/RCA [Saremi, 2010] (Буй № 2)	0,033×0,033		0,01×0,01		Неструктурная сетка		
	R	SI	R	SI	R	SI	
	0,78	0,49	0,64	0,76	0,74	0,48	

* RCA (Rossby Centre Regional Atmospheric Climate model) — региональная атмосферная климатическая модель, покрывающая большую часть Европы с пространственным разрешением 25 или 50 км.

Рис. 4. Сравнение результатов, полученных с помощью модели SWAN, с оперативными моделями и данными измерений: a, e — для буя № 5; b, d — для буя № 6; c, e — для буя № 7 [23] по H_s (a, b, e) и пиковому периоду (c, d, e).

Момент максимального развития шторма в 06:00 по Гринвичу 9 января, вызванного ураганом Гадран, по результатам модели SWAN: распределение значительных высот волн ($ж$) и скорости ветра ($к$) и по результатам модели DMI: распределение значительных высот волн ($и$) и скорости ветра ($м$); шторм 13 января в 12:00 по Гринвичу по модели SWAN: распределение значительных волн ($з$) и скорости ветра ($л$)



не применялась для воспроизведения столь длительного периода для Балтийского моря. До этого максимально анализируемый период составил около 40 лет [Soomere, Räämet, 2014].

Наиболее высокое значение коэффициента корреляции (0,94) получено по результатам моделирования с помощью модели WAVAD (станция № 10) (табл. 4) [Blomgren et al., 2001]. Хорошее совпадение показывает также модель HYPAS/MESAN Klimat [Jönsson et al., 2003]. Для этой же модели выявлена наименьшая RMSE (для станции “Оскарсгундет”). Изучение постоянных ветров показало, что если их направление станет северо-восточным, то в некоторых районах волны будут сильнее, чем при нынешнем ветровом режиме [Soomere et al., 2008].

В целом лучшее совпадение с натурными данными показывают модели HYPAS/MESAN и SWAN/RCA (Rossby Centre Regional Atmospheric Climate model) с откалиброванными метеоданными. Авторы работы [Kriezi, Broman, 2008] эмпирически подбирали ветровой коэффициент при параметризации ветра [Gill, 1969]. В рамках нашей работы такой подбор не осуществлялся, в будущем планируется провести численные эксперименты с разными эмпирическими коэффициентами. Исследования других авторов отличаются входными данными о ветре и обладают меньшим пространственным разрешением. Используемый в них ветровой форсинг, адаптированный специально для европейского региона, достовернее отображает реальные условия для акватории Балтийского моря, чем реанализ NCEP/NCAR. Однако для исследования межгодовой изменчивости штормовой активности достаточно высокая корреляция и относительно небольшие

статистические ошибки показывают целесообразность использования полученных полей характеристик ветрового волнения. Преимущество реанализа NCEP/NCAR заключается в том, что он наиболее продолжительный среди существующих (более 60 лет), что больше подходит для изучения климатических особенностей ветрового волнения.

Волновой климат. Волновой климат Балтийского моря характеризуется: локализацией периода сильных штормов в осенне-зимние месяцы, значительной пространственной и временной неоднородностью свойств полей ветровых волн, преобладанием относительно коротких и крутых волн, наличием волн с такой высотой, как в гораздо большем Средиземном море. Месяцы с наиболее сильными ветрами необязательно совпадают с месяцами наиболее мощной волновой активности Балтийского моря, существует некий период “запаздывания” [Räämet, 2010; Räämet, Soomere, 2010].

За 63 года (1948–2010) выявлено 2943 штормовых ситуации, т.е. ~50 штормов в год. Случаи, когда H_s достигала 2 м, рассматривались как штормовые ситуации. По полученным результатам четко выделяется однонаправленный линейный тренд усиления штормовой активности в Балтийском море (рис. 5). В межгодовой изменчивости штормовой активности выявляется двадцатилетняя периодичность с увеличением числа штормов в конце 1970-х и в 1990-х гг. и уменьшением в конце 1980-х, середине 2000-х гг. Типичные периоды интенсификации и ослабления ветрового волнения составляют для Балтики 10–12 лет [Soomere, 2005], что подтверждается полученными результатами. Для разных районов Балтийского моря характерно несоответ-

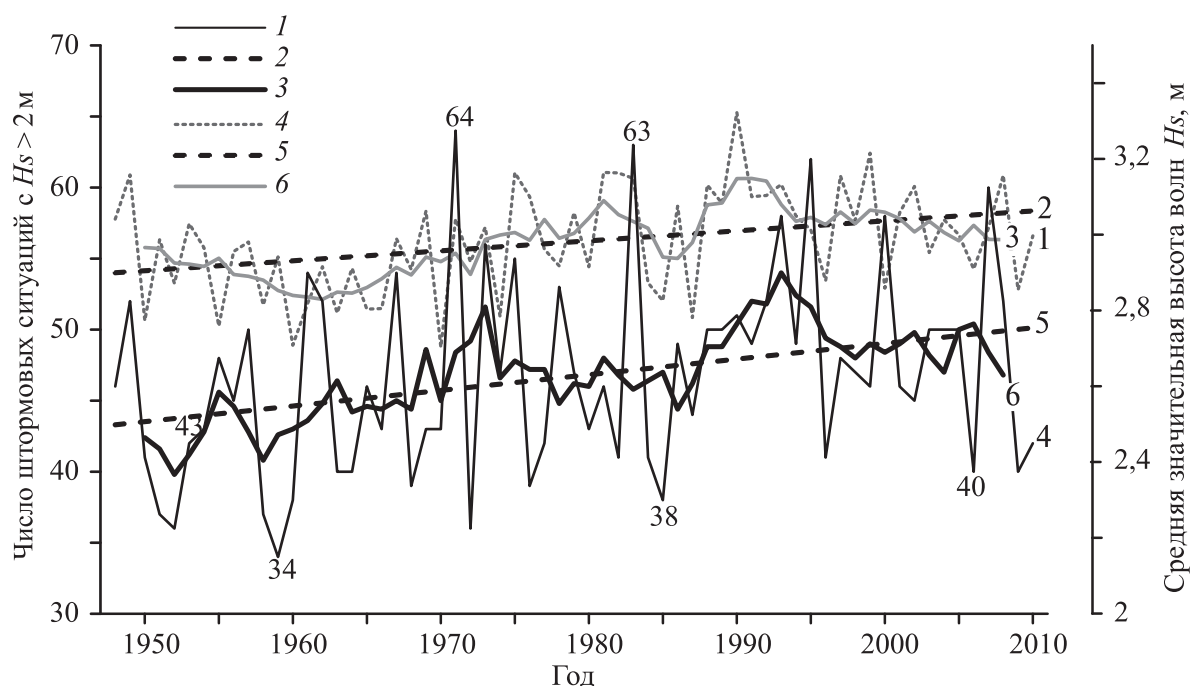


Рис. 5. Средняя за год значительная высота волн H_s (1), линейный тренд (2) и скользящее среднее (3) по H_s , число штормовых ситуаций с 1948 по 2010 г., отобранных по критерию $H_s > 2$ м (4), линейный тренд (5) и скользящее среднее (6) по ним

ствие между трендами десятилетней изменчивости. Отметим также стремительный характер изменения спадов и усиления волновой активности в течение одного десятилетия [Broman et al., 2006; Soomere, 2008; Soomere, Räämet, 2014; Zaitseva-Pärnaste et al., 2009]. Причина этого может заключаться в чувствительности волновых полей Балтийского моря к изменению траекторий циклонов.

Среднегодовая величина H_s также возрастает во второй половине XX в. (рис. 5), ее значения колеблются от 2,4 до 3,3 м, но такая четкая периодичность, как для штормовых ситуаций, не проявляется. При этом наблюдается межгодовое смещение области максимальных значений H_s .

Согласно аналогичным исследованиям для других западных морей России, которые проводятся в лаборатории оценки природных рисков [Arkhipkin et al., 2014] такими же методами, двадцатилетняя периодичность подобного рода выявлена для Каспийского и Азовского морей. Однако в них в отличие от Балтийского моря, штормовая активность снижается.

В наших исследованиях ледовый фактор при расчетах полей ветрового волнения не учитывался, но это планируется сделать в будущем. Для периодов ледостава полученные результаты адекватно отображают только центральную глубоководную, юго-восточную и южную части моря. Увеличение пространственного разрешения при расчетах и использование неструктурной сетки не всегда улучшают качество результатов (табл. 4) [Saremi, 2010]. В дальнейшем предполагается в качестве вынуждающей силы использовать базы данных о ветре с более высоким пространственным и временным

разрешением, осуществить подбор калибровочных коэффициентов для этих данных, а также выполнить ряд численных экспериментов на неструктурной сетке.

Выводы:

— спектральная модель SWAN была применена для Балтийского моря. Оценка качества моделирования на основе инструментальных данных наблюдений показала, что значения коэффициента корреляции для анализируемых рядов достаточно высокие, а статистические ошибки в среднем незначительны. Таким образом, качество полученных полей ветрового волнения отвечает поставленным задачам. В рамках исследования волнового климата Балтийского моря целесообразно применять спектральную модель для шельфовых вод SWAN в сочетании с реанализом NCEP/NCAR. Полученные статистические характеристики попадают в средний диапазон значений по сравнению с исследованиями других авторов. Однако модель SWAN в большинстве случаев занижает пиковые значения высот и пиковых периодов волн;

— за более чем 60-летний период выявлено более 2900 штормовых ситуаций, т.е. в среднем 50 штормов в год. Штормовая активность в Балтийском море за исследованный период возрастает согласно линейному тренду. В ее межгодовой изменчивости обнаружена 20-летняя периодичность с увеличением числа штормов в конце 1970-х и в 1990-х гг., четкая периодичность в среднегодовых значениях H_s не проявляется. Подобная периодичность, но на фоне снижения штормовой активности, характерна для Каспийского и Азовского морей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Иванов С.В., Чернышева Е.С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей // Российский морской регистр судоходства. СПб., 2006. 450 с.
- Lopatoukhin L.I., Boukhanovsky A.V., Ivanov S.V., Tchernysheva E.S. Spravochnye dannye po rezhimu vetra i volneniya Baltijskogo, Severnogo, Chernogo, Azovskogo i Sredizemnogo morej [Reference data about wind and wave regimes of the Baltic, North, Black, Azov and Mediterranean Seas], Saint-Petersburg, Russian maritime register of shipping, 2006, 450 p.
- Руководящий документ 52.27.759–2011, Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Ч. III. Служба морских гидрологических прогнозов. М.: Триада ЛТД, 2011. 194 с.
- Rukovodjashhij dokument 52.27.759–2011. Nastavlenie po sluzhbe prognozov. Razdel 3. Ch. III. Sluzhba morskih gidrologicheskikh prognozov [Management directive 52.27.759–2011, Forecast service manual, pt 3, chpt III. Maritime hydrological forecast service], Moscow: Triada LTD, 2011, 194 p.
- Arkhipkin V.S., Gippius F.N., Koltermann K.P., Surkova G.V. Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study. Nat. Hazards and Earth System Scie. Discuss., 2014, V. 14, pp. 2883–2897.
- Blomgren S., Larson M., Hanson H. Numerical Modeling of the Wave Climate in the Southern Baltic Sea, J. Coastal Res., 2001. V. 17, no 2, pp. 342–352.
- Bouws E., Draper L., Laing A.K. et al. Guide to Wave Analysis and Forecasting. WMO–No 702, World Meteorological Organization. Geneva, 1998, 159 p.
- Broman B., Hammarklint T., Rannat K. et al. Trends and extremes of wave fields in the north-eastern part of the Baltic Proper, Oceanologia, 2006, V. 48 (S), pp. 165–184.
- Earth system research laboratory. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/reanalysis/reanalysis.shtml> (Accessed: 14.05.2014).
- Environment climate data Sweden. URL: <http://www.smhi.se/ecds> (Accessed: 23.03.2014).
- General bathymetric chart of the oceans (GEBCO). URL: <http://www.gebco.net> (Accessed: 13.01.2014).
- Gill G.C. Comments on “The variation of Gust Factors with Mean wind Speed and with Height”, J. Appl. Meteorology, 1969, V. 8, no 1, pp. 167–167.
- Häggmark L., Ivarsson K.I., Olofsson P.O. MESAN—Mesoscale analysis, SMHI Rapp., Meteorol. och Klimatol. (Sweden), 1997, ser.: RMK 75.
- Häggmark L., Ivarsson K.-I., Gollvik S., Olofsson P.O. Mesan, an operational mesoscale analysis system, Tellus A, 2000, V. 52, no 1, pp. 2–20.

Jönsson A., Broman B., Rahm L. Variations in the Baltic Sea wave fields, *Ocean Engineering*, 2003, V. 30, no 1, pp. 107–126.

Kahma K., Pettersson H., Tuomi L. Scatter diagram wave statistics from the northern Baltic Sea, MERI—Report Series of the Finnish Institute of Marine Res., 2003, V. 49, pp. 15–32.

Källén E. Hirlam documentation manual system 2.5, The Swedish Meteorological and Hydrological Institute (Available from SMHI, S-60176 Norrköping, Sweden), 1996. 243 p.

Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 1996, V. 77, no 3, pp. 437–471.

Kriezi E.E., Broman B. Past and future wave climate in the Baltic Sea produced by the SWAN model with forcing from the regional climate model RCA of the Rossby Centre, US/EU-Baltic International Symposium, 2008 IEEE/OES, 2008, pp. 1–7.

Leppäranta M., Myrberg K. Physical oceanography of the Baltic Sea, Berlin: Springer, 2009, 378 p.

Natural Risk Assessment Laboratory. URL: <http://www.nral.org/ru> (Accessed: 20.06.2014).

Parallel.ru. URL: <http://parallel.ru> (Accessed: 27.05.2014).

Pontes M.T., Barstow S., Bertotti L. et al. Use of numerical wind-wave models for assessment of the offshore wave energy resource, *J. Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 1997, V. 119, no 3, pp. 184–190.

Räämet A. Spatio-temporal variability of the Baltic Sea wave fields, Thesis on Civil Engineering, Tallin: TUT Press, 2010.

Räämet A., Soomere T. The wave climate and its seasonal variability in the northeastern Baltic Sea, *Eston. J. Earth Sci.*, 2010, V. 59, no 1, pp. 100–113.

Saremi S. Development of a wave database in coastal areas around Sweden using the SWAN wave model: evaluation of the influence of grid resolutions and bathymetric data, Gothenburg: Chalmers University of Technology, 2010.

Soomere T. Anisotropy of wind and wave regimes in the Baltic Proper, *J. Sea Res.*, 2003, V. 49, no 4, pp. 305–316.

Soomere T. Extremes and decadal variations of the northern Baltic Sea wave conditions, *Extreme Ocean Waves*, Amsterdam: Springer Netherlands, 2008, pp. 139–157.

Soomere T. Wind wave statistics in Tallinn Bay, *Boreal Env. Res.*, 2005, V. 10, no 2, pp. 103–118.

Soomere T., Behrens A., Tuomi L., Nielsen J.W. Wave conditions in the Baltic Proper and in the Gulf of Finland during windstorm Gudrun, *Natural Hazards & Earth System Sci.*, 2008, V. 8, no 1, pp. 37–46.

Soomere T., Räämet A. Decadal changes in the Baltic Sea wave heights, *J. Mar. Syst.*, 2014, V. 129, pp. 86–95.

Sterl A., Caires S. Climatology, variability and extrema of ocean waves: The Web-based KNMI/ERA-40 wave atlas, *Int. J. Climatol.*, 2005, V. 25, no 7, pp. 963–977.

SWAN SourceForge. URL: <http://swanmodel.sourceforge.net> (Accessed: 04.01.2014).

WAMDI Group: Hasselmann S., Hasselmann K., Bauer E. et al. The WAM Model — a Third Generation Ocean Wave Prediction Model, *J. Phys. Oceanogr.*, 1988, no 18, pp. 1775–1810.

Zaitseva-Pärnaste I., Suursaar Ü., Kullas T. et al. Seasonal and long-term variations of wave conditions in the northern Baltic Sea, *J. Coast. Res.*, 2009, V. SI 56, pp. 277–281.

Поступила в редакцию
21.07.2014

A.Yu. Medvedeva, V.S. Arkhipkin, S.A. Myslenkov, S.S. Zilitinkevich

WAVE CLIMATE OF THE BALTIC SEA FOLLOWING THE RESULTS OF THE SWAN SPECTRAL MODEL APPLICATION

Application of the SWAN wind wave model (with input data Reanalysis NCEP/NCAR) for the Baltic Sea is discussed. High spatial resolution for the whole area of the sea and a longest period (over 60 years) of calculated wind wave parameters are characteristic of the study. The results of simulation are a good basis for further investigation of the climatic variability of wind waves. The results were compared with the data from the anchored buoys, available operative models of the Baltic Sea and the results of other researchers. High correlation of simulated and observed values was revealed, however the SWAN model on the average undervalue maximum wave height and peak periods. Statistical characteristics, such as correlation, mean regular error and standard deviation) were calculated to validate the model; their values are similar to those of other numerical experiments. The extremely severe storm caused by the Gudrun hurricane of 2005 is discussed more in detail. It was shown that the SWAN model adequately represents the real conditions, thus it is applicable for the shallow Baltic Sea. The storm situations were identified for the 63-year period, allowing the analysis of the climate variability of wind waves in the Baltic Sea. The overall trend of increasing storm intensity was revealed, as well as the 20-year periodicity with maxima in the 1970-s and 1990-s.

Key words: Baltic Sea, wind waves, wave simulation, SWAN, model validation, wave climate, Gudrun hurricane, high waves.

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.054, 550.46

Д.В. Власов¹, Н.С. Касимов², Н.Е. Кошелева³ГЕОХИМИЯ ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ (ВОСТОЧНЫЙ ОКРУГ МОСКВЫ)⁴

Определены основные физико-химические свойства и геохимическая специализация дорожной пыли Восточного округа г. Москва. С ростом интенсивности движения в пыли увеличивается процент песка и доля в нем тяжелых металлов и металлоидов; доля элементов в мелкой, средней и крупной пыли уменьшается, в илистой фракции — не изменяется. На малых дорогах с экологически наиболее опасными частицами PM_{10} и PM_{1-10} связано 93% Ag; 51–60% Cd, Bi, As, Sb, Sn; 31–50% Cr, Mo, Pb, Ni, Zn, Co, Cu; до 30% W, V, Fe, Mn, Be, Ti, Sr. По сравнению с верхней частью континентальной коры дорожная пыль округа обогащена $Cd_{12}Sb_{10}Sn_7Zn_6Cu_6Mo_6Pb_5Ag_5W_5Bi_5$. Обогащение дорожной пыли тяжелыми металлами и металлоидами предложено оценивать с помощью суммарного показателя Z_e .

С увеличением интенсивности движения транспорта обогащенность частиц PM_{1-10} , PM_{10-50} , $PM_{>50}$ ТМ возрастает, а PM_1 , напротив, уменьшается, что связано с различием химического состава выбросов и структуры автопарка на разных типах дорог. В зависимости от характера связи с интенсивностью транспортной нагрузки все элементы образуют 5 групп. При эколого-геохимических оценках воздействия транспорта на окружающую среду важно уделять внимание не только крупным шоссе, но и небольшим внутриквартальным улицам. В первую очередь необходимо контролировать уровень содержания Cd, Sb, Zn, Ag и Sn, формирующих наиболее контрастные геохимические аномалии в гранулометрических фракциях дорожной пыли.

Ключевые слова: дорожная пыль, автотранспорт, тяжелые металлы, металлоиды, гранулометрические фракции, PM_1 , PM_{1-10} , PM_{10-50} , $PM_{>50}$.

Введение. Пыль наряду с пищей и водой является одним из главных источников тяжелых металлов и металлоидов (ТМ) в живых организмах. Дорожная пыль, мигрируя с ливневыми стоками, негативно влияет на городские водные объекты путем увеличения в них концентрации взвешенных частиц, большинства ТМ, солей и питательных веществ [Zhao et al., 2009]. В виде сухих осадений она поступает в городские почвы, способствуя их загрязнению.

Изучение химического состава дорожной пыли становится все актуальнее, так как она представляет собой информативный объект геохимического мониторинга городов в теплый период года или круглогодично при отсутствии снежного покрова. Анализ химического и изотопного состава пыли позволяет выявить основные источники поступления элементов в городскую окружающую среду [Ладонин, Пляскина, 2009; Varrica et al., 2003]. Подробно исследованы отдельные физико-химические

свойства дорожной пыли в городах мира, ее минералогический, гранулометрический и химический состав [DUST 2014, 2014]. В элементном плане лучше изучено распределение Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, меньше — платиноидов и Au, Sb, Bi, Mo, Ag, As [Farago et al., 1996; Gao et al., 2012; Nazzari et al., 2013; Quiroz et al., 2013]. В России геохимические особенности дорожной пыли проанализированы лишь в нескольких городах Пермского края и в отдельных районах Москвы [Кайгородов и др., 2009; Ладонин, Пляскина, 2009; Gietl et al., 2010].

Изучение гранулометрического и химического состава дорожной пыли важно при оценке загрязнения атмосферы городов частицами разного диаметра, поскольку движение автотранспорта приводит к их выдуванию с дорожного полотна [Chen et al., 2012]. Этот процесс обуславливает поступление около 37% PM_{10} , 15% $PM_{2,5}$ и 3% PM_1 от общей массы выбросов автотранспорта⁵ [Amato et al., 2009].

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

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

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

⁴ Полевые и лабораторные исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Русского географического общества (проект № 13–05–41191). Изучение влияния интенсивности движения транспорта на обогащенность гранулометрических фракций дорожной пыли ТМ финансировалось Российским научным фондом (грант № 14–27–00083).

⁵ Для обозначения пылевых частиц в воздухе используют символы PM_1 , PM_{10} и т.д., где PM — аббревиатура от “particulate matter”, а цифра — максимальный диаметр частиц в мкм, например концентрация PM_1 показывает содержание всех частиц диаметром <1 мкм. При наличии в обозначении двух цифр (PM_{1-10} , PM_{10-50} и т.д.) учитываются частицы с размером в указанном диапазоне (1–10, 10–50 мкм и т.д.). Эти символы применимы и к дорожной пыли, поскольку она является одним из источников поступления частиц в атмосферу [Amato et al., 2009; Chen et al., 2012].

Количество и химический состав дорожной пыли зависят от интенсивности эрозии придорожных почв, объема выбросов передвижных источников, абразии дорожного покрытия и разметки, истирания шин и тормозных колодок транспортных средств, коррозии их металлических частей, а также от режима движения, включая тип, скорость и число маневров, связанных с остановкой [Nazzal et al., 2013]. Около 90% частиц, образующихся при истирании тормозных колодок автомобилей, имеет размер $< 2,5$ мкм [Iijima et al., 2007]. Концентрация Zn, Cu и Cd максимальна в пыли, аккумулирующейся вблизи бордюрного камня, а Pb, Fe и Ni — на расстоянии 1 м от него [Pal et al., 2011]. Количество накопившейся пыли определяется числом дней с момента последнего удаления частиц с поверхности дорожного полотна ветром или при уборке дороги [Zafra et al., 2008].

Повышенный интерес проявляется к таким важным характеристикам дорожной пыли, как ее гранулометрический состав, интенсивность накопления и выноса гранулометрических фракций с дождевым стоком [DUST 2014..., 2014]. Доля мелких фракций увеличивается с ростом числа дней без дождя; около 27% прочно закрепленных на поверхности дорожного покрытия частиц имеет размер < 63 мкм [Zafra et al., 2008]. Но химический состав гранулометрических фракций пыли, в частности содержание в них ТМ, исследован недостаточно. В большинстве работ анализируются фракции < 63 , 63–250, 250–500, 500–1000, 1000–2000 мкм, выделяемые методом ситования [Irvine et al., 2009]. Менее изучены тонкие фракции пыли и ила, представляющие наибольшую экологическую опасность ($PM_{2,5}$ и PM_1), способные проникать в бронхи, легочные альвеолы и бронхиолы [Pagano et al., 1996].

Цель нашей работы — выявить особенности накопления ТМ гранулометрическими фракциями пыли на разных по интенсивности движения дорогах Восточного административного округа (ВАО) Москвы. Ландшафтно-геохимические исследования ВАО как модельной урбанизированной территории ведутся на географическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова с 1990-х гг. За 20-летний период накоплен большой объем геохимических данных, установлены особенности миграции и динамика накопления ТМ в разных функциональных зонах и депонирующих средах [Касимов и др., 2012а, б; Никифорова и др., 2010, 2011; Экогеохимия..., 1996], но геохимия дорожной пыли как индикатора экологического состояния городских ландшафтов рассматривается впервые. Для этого решались следующие задачи:

- определение основных физико-химических свойств дорожной пыли ВАО;
- оценка доли ТМ, связанных с гранулометрическими фракциями (PM_1 , PM_{1-10} , PM_{10-50} и $PM_{>50}$) дорожной пыли на малых, средних, крупных дорогах и МКАД;

— выявление обогащенности пыли ТМ на дорогах с разной интенсивностью движения;

— анализ связи суммарной величины обогащения пыли ТМ и ее гранулометрических фракций с интенсивностью транспортной нагрузки.

Материалы и методы исследования. Исследовалась южная, наиболее загрязненная часть Восточного округа (районы Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино, Косино-Ухтомский), где расположен ряд крупных промышленных зон и автомагистралей. Основным источником загрязнения городских ландшафтов ВАО — автотранспорт, поставляющий около 80% суммарных выбросов. Это несколько меньше по сравнению со средним их количеством по Москве (92%), что связано с воздействием 50 промышленных предприятий и двух крупных ТЭЦ [Государственный..., 2014].

Изучали дорожную пыль автомобильных дорог с разной интенсивностью движения (автомобилей в сутки): МКАД (~250 тыс.), крупных (80–100 тыс.), средних (40–55 тыс.) и малых улиц (20–25 тыс.). Пробы пыли ($n = 16$) отбирали пластиковыми щеткой и совком с поверхности дорожного полотна с трехкратной повторностью в июле 2013 г. после пятидневного сухого периода (рис. 1). Из них составляли одну смешанную пробу. Для каждого типа дорог отобрано от 3 до 5 проб пыли массой 150–300 г (в скобках — точки отбора проб на рис. 1): на МКАД (3, 5, 8), на крупных улицах — шоссе Энтузиастов (2, 16) и Носовихинское (4), на средних улицах — Б. Косинской (6), Вешняковской (9, 11), Свободном проспекте (13), на перекрестке Зеленого проспекта, улиц Перовской и Плеханова (15); на малых улицах — Новогиреевской (1), Дмитриевского (7), на перекрестке улиц Молдагуловой и Снайперской (10), Союзном проспекте (12), перекрестке улиц Metallургов и Мартеновской (14).

Пробы дорожной пыли вошли в коллекцию образцов почв, техногенных отложений, растительности и других компонентов природных и природно-техногенных ландшафтов, которая создана в эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова для лабораторных исследований и наполнения Банка геохимических данных.

Для диспергирования образцов применялось влажное растирание, затем гранулометрические фракции выделяли методом отмучивания [Вадюнина, Корчагина, 1986], после чего полученные растворы фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Выделены 4 фракции частиц: ил (диаметр < 1 мкм, PM_1), мелкая и средняя пыль (1–10 мкм, PM_{1-10}), крупная пыль (10–50 мкм, PM_{10-50}), песок (50–1000 мкм, $PM_{>50}$).

В водной вытяжке из дорожной пыли потенциометрическим методом измеряли величину pH (при соотношении массы почвы и объема воды

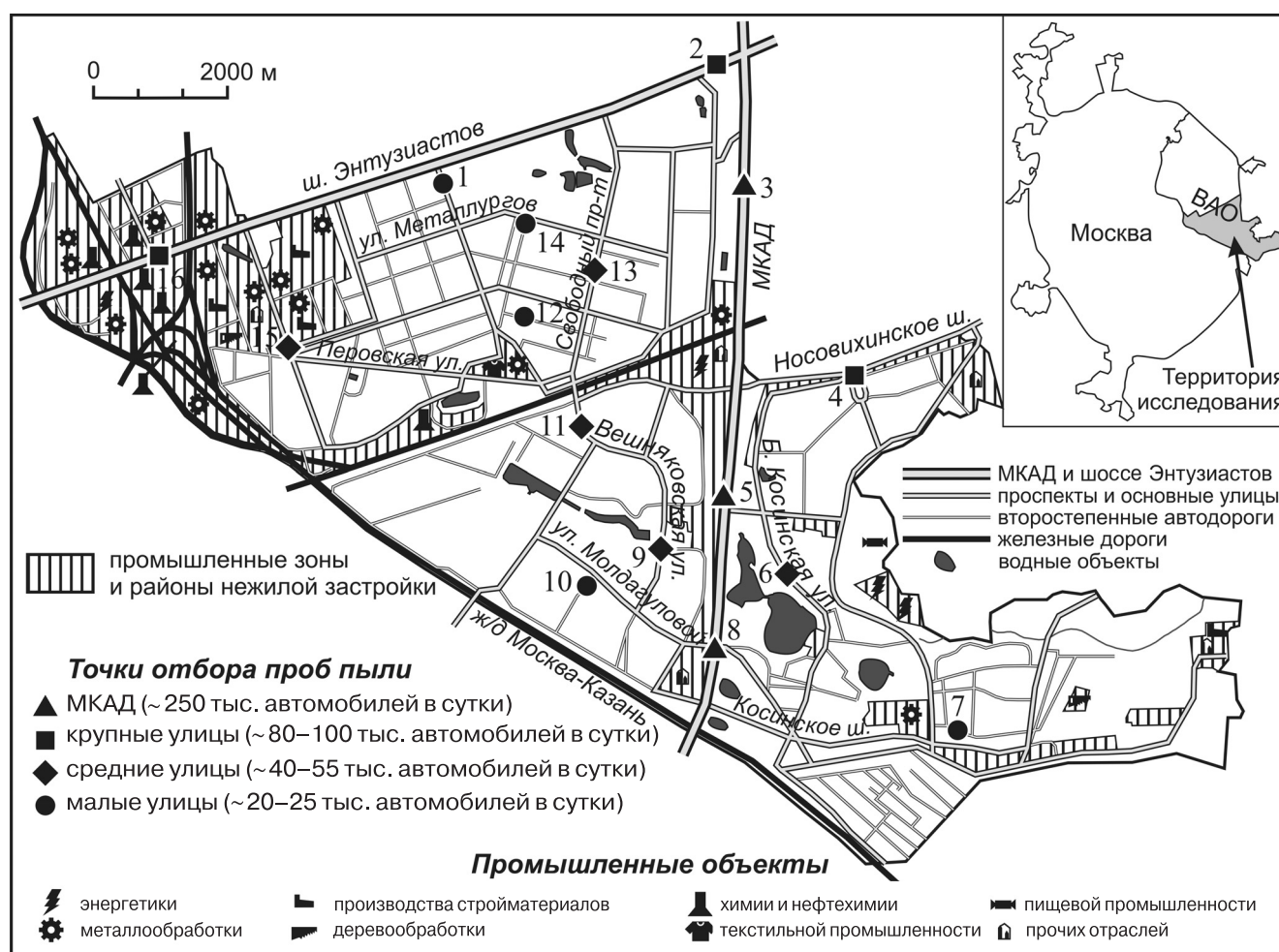


Рис. 1. Точки отбора проб пыли на дорогах ВАО с разной интенсивностью транспортного потока

1:5) и электропроводность (1:2,5). Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) определяли методом Тюринга с титриметрическим окончанием. Гранулометрический состав исследовался на лазерном гранулометре “Analysette 22. MicroTec plus” (“Fritsch”, Германия) в лаборатории кафедры литологии и морской геологии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Содержание Cd, As, Zn, Pb, Cr, Cu, Ni, Sb, Co, Mo, Mn, Sr, V, W (I–III класс опасности), а также Be, Sn, Ag, Ti, Fe, Bi анализировали во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского масс-спектральным (ICP/MS) и атомно-эмиссионным методами (ICP/AES) с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре “Elan–6100” и атомно-эмиссионном спектрометре “Optima–4300” (“Perkin Elmer”, США) соответственно.

Результаты исследований и их обсуждение. Основные физико-химические свойства пыли. Дорожная пыль разных городов мира, как правило, имеет рН в пределах 7–9 [Ладонин, Пляскина, 2009; Acosta et al., 2011; Bhattacharya et al., 2011]. На востоке Москвы она также щелочная (в среднем 8,2), увеличиваясь в ряду малые < средние < МКАД < крупные дороги. На дорогах с разной интенсивностью движения различие средних величин рН пыли

незначительно — 0,1–0,4 (табл. 1). Щелочная реакция пыли, по-видимому, определяется в основном перераспределением загрязняющих веществ, выбрасываемых автотранспортом, — подкисляющие газообразные соединения, среди которых основное место занимают оксиды азота, мигрируют за пределы дорожного полотна, в то время как подщелачивающие пылевые частицы остаются на дороге, т.е. велика вероятность поступления карбонатов и увеличения рН в составе противогололедных смесей (мраморная крошка) и при абразии бордюрного камня.

Пыль автомобильных дорог отличается высокой электропроводностью — в ее составе присутствует значительное количество водорастворимых соединений, имеющих техногенное (выпадение загрязняющих веществ от автотранспорта, промышленных предприятий, абразия дорожного покрытия, применение противогололедных реагентов и т.д.) и природное (фоновые выпадения из атмосферы) происхождение. Электропроводность пыли изменяется от 112 на ул. Металлургов до 1011 мкСм/см на ул. Вешняковская и в среднем составляет ~300 мкСм/см (табл. 1), что согласуется с данными других исследователей [Acosta et al., 2011; Bhattacharya et al., 2011].

Таблица 1

Основные физико-химические свойства дорожной пыли ВАО

Свойства	Автомобильные дороги и интенсивность потока автомобилей, тыс. авт. в сутки				ВАО (n = 16)
	малые, ~20–25 (n = 5)*	средние, ~40–55 (n = 5)	крупные, ~80–110 (n = 3)	МКАД, ~250 (n = 3)	
pH	8,1 (8,0–8,2)**	8,2 (8,0–8,8)	8,5 (8,3–8,9)	8,3 (8,1–8,5)	8,2 (8,0–8,9)
ЕС, мкСм/см	324 (112–856)	350 (142–1011)	253 (201–325)	245 (183–298)	304 (112–1011)
C _{орг} , %	1,9 (1,4–2,6)	2,4 (1,3–4,0)	1,6 (1,0–2,2)	1,3 (0,8–1,5)	1,9 (0,8–4,0)
Доля, %	PM ₁	2,7 (1,6–4,9)	1,6 (1,0–2,5)	1,2 (0,9–1,7)	1,8 (0,7–4,9)
	PM _{1–10}	20,0 (11–40)	11,5 (6,1–18)	8,3 (6,4–12)	12,8 (4,0–40)
	PM _{10–50}	22,5 (13–34)	18,1 (8,2–26)	11,2 (5,5–20)	16,3 (3,5–34)
	PM _{>50}	54,8 (31–74)	68,8 (53–85)	79,3 (66–87)	69,1 (31–92)

* n — число проб; ** в скобках — минимальные и максимальные значения.

Содержание C_{орг} в пыли варьирует от 0,8% на МКАД рядом со съездом на ул. Николая Старостина почти до 4% на Свободном проспекте (табл. 1), что близко к данным по другим городам [там же], и увеличивается в ряду МКАД < крупные < малые < средние дороги.

Доля PM₁ в дорожной пыли составляет в среднем 1,8%, PM_{1–10} — 13%, PM_{10–50} — 16%, а PM_{>50} — 69% (табл. 1). При увеличении интенсивности движения в дорожной пыли повышается доля песка при одновременном сокращении доли остальных частиц в результате выдувания (табл. 1, рис. 2), что подтверждается повышенной долей PM_{1–10} и PM_{10–50} в придорожных почвах по сравнению с дорожной пылью [Никифорова и др., 2011]. На PM_{1–10} в почвах

приходится ~16,5%, в пыли — 13%; на PM_{10–50} 34,6–16% соответственно; а доля PM_{>50} меньше в почвах по сравнению с пылью (45,2 против 69%).

Распределение тяжелых металлов и металлоидов в гранулометрических фракциях пыли. Концентрация ТМ в дорожной пыли разных городов отличается достаточно сильно, что обусловлено различиями в интенсивности транспортной нагрузки и характере движения транспортного потока, структуре автопарка, применении разного по составу топлива, составе дорожного покрытия и т.д. [Кайгородов и др., 2009; Irvine et al., 2009; Pal et al., 2011]. Так, выхлопные газы содержат Cu, Pb, Sr, моторное масло — Fe, Mo, Zn, Cu, Pb, Sb; истирание шин служит источником Cd, Mn, Fe, Zn, Pb, Co, Ni, Cr, Cu и Sb, износ тормозных колодок — Fe, Cu, Sb, Mn, Zn, Ti, Pb [Adachi, Tainosho, 2004; Gietl et al., 2010; Iijima et al., 2007; Limbeck, Puls, 2011; Quiroz et al., 2013]. При производстве подшипников используют антифрикционные сплавы на основе Sn и Pb, в состав которых также входят Sb, Cu, Cd, Ni, As [ГОСТ 1320-74..., 2001].

Элементный состав гранулометрических фракций дорожной пыли ВАО неодинаков. Из-за повышенной сорбционной емкости мелких частиц содержание практически всех элементов уменьшается при увеличении размера частиц (табл. 2). Наибольшее содержание Ti и Sr приурочено к фракциям песка и крупной пыли, что, вероятно, связано не с выбросами автотранспорта, а с поступлением частиц из придорожных почв, обогащенных этими элементами, это может быть и причиной увеличения концентрации W, Cr, V, Fe и Mn в крупной пыли по сравнению с мелкой и средней.

Распределение ТМ по гранулометрическим фракциям пыли отражают доли элементов (Д), рассчитываемые по формуле $D_i = [(C_i \cdot P_i) / (100 \cdot C_{\text{пыль}})] \cdot 100\%$, где D_i — доля элемента в i-й фракции дорожной пыли, %; C_i — концентрация элемента в i-й фракции,

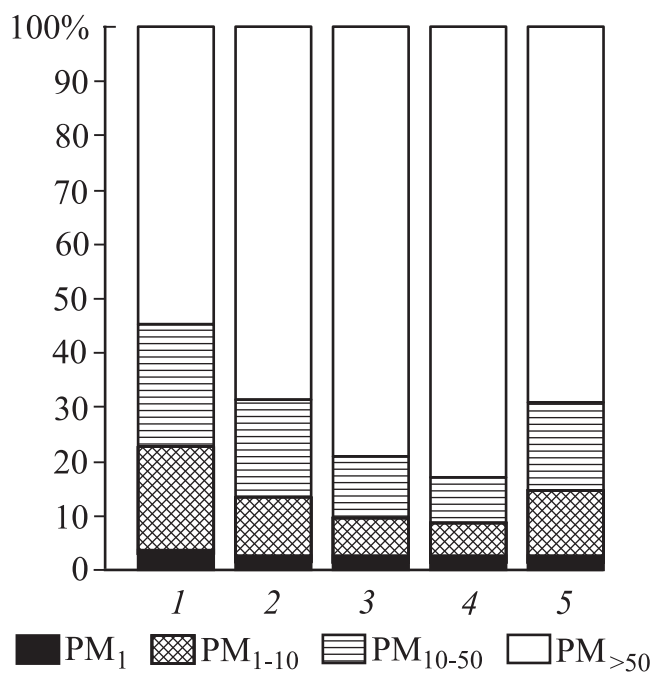


Рис. 2. Доля гранулометрических фракций в дорожной пыли. Автодороги: 1 — малые, 2 — средние, 3 — крупные, 4 — МКАД, 5 — дороги ВАО в среднем

Таблица 2

Содержание ТМ в гранулометрических фракциях дорожной пыли и их кларки (K) в верхней части континентальной земной коры, мг/кг, Fe и Ti — в г/кг

Элемент	Фракция				Пыль в среднем	K
	PM_1	PM_{1-10}	PM_{10-50}	$PM_{>50}$		
Ag	2,9 (0,45–8,2)	0,75 (0,38–1,6)	0,19 (0,003–1,3)	0,004 (0,002–0,01)	0,15 (0,08–0,34)	0,053
Cd	2,3 (1,8–3,9)	1,8 (1,3–2,3)	0,76 (0,41–1,4)	0,35 (0,11–0,83)	0,61 (0,27–1,5)	0,09
W	21 (2,8–54)	5,7 (0,5–17)	9,4 (0,2–27)	3,4 (0,6–7,3)	5,3 (1,1–10)	2,03
Bi	2,0 (1,6–2,8)	1,8 (1,4–2,8)	0,88 (0,51–1,8)	0,31 (0,07–0,90)	0,61 (0,21–1,0)	0,23
As	10 (6,5–19)	7,9 (4,9–12)	3,2 (1,7–6,5)	1,6 (0,41–3,2)	2,8 (1,4–4,2)	5,6
Sb	20 (14–26)	15 (6,8–25)	6,1 (2,9–14)	2,3 (1,3–5,5)	4,6 (2,7–6,8)	0,81
Sn	32 (25–45)	24 (16–34)	11 (6,4–21)	6,3 (3,7–17)	9,5 (5,4–15)	2,5
Cr	158 (126–206)	65 (13–128)	70 (40–143)	40 (22–63)	50 (32–74)	92
Mo	7,2 (5,2–9,9)	6,7 (4,0–14)	4,4 (2,5–14)	2,9 (1,2–7,5)	3,5 (1,7–6,4)	1,1
V	131 (117–141)	57 (12–106)	75 (42–117)	48 (13–84)	55 (23–79)	106
Pb	176 (112–576)	123 (65–412)	64 (32–146)	35 (10–83)	53 (20–130)	17
Fe	54 (42–65)	24 (4,5–46)	30 (16–54)	19 (6,8–32)	22 (11–31)	40,6
Ni	73 (61–117)	54 (42–79)	34 (17–57)	19 (7,3–35)	26 (13–46)	50
Zn	1180 (769–4167)	455 (81–1350)	350 (177–1036)	190 (119–619)	262 (160–705)	75
Co	24 (20–30)	16 (14–20)	9,5 (4,8–15)	5,8 (2,3–9,2)	8,0 (3,8–12)	15
Mn	838 (577–1261)	373 (90–753)	433 (265–650)	295 (116–493)	339 (176–473)	770
Cu	308 (194–567)	218 (141–372)	113 (53–269)	65 (26–125)	93 (40–181)	27
Be	1,2 (1,0–1,6)	0,87 (0,60–1,1)	0,71 (0,35–1,4)	0,70 (0,38–1,4)	0,75 (0,43–1,4)	2,3
Ti	1,4 (1,0–1,8)	0,71 (0,15–1,4)	2,1 (0,87–4,3)	1,8 (0,43–3,2)	1,7 (0,56–2,8)	3,9
Sr	73 (56–131)	35 (6,4–81)	118 (43–209)	153 (90–301)	133 (87–251)	270

Примечание. В скобках — минимальные и максимальные значения.

мг/кг фракции; P_i — доля i -й фракции в пыли, %; $C_{\text{пыль}}$ — концентрация элемента в пыли в целом, мг/кг. Значения D для ТМ в гранулометрических фракциях дорожной пыли на разных по интенсивности движения дорогах приведены на рис. 3.

С ростом интенсивности движения транспорта для большинства элементов доля, связанная с песчаной фракцией, увеличивается, с фракциями мелкой, средней и крупной пыли — уменьшается, с илистой фракцией практически не изменяется

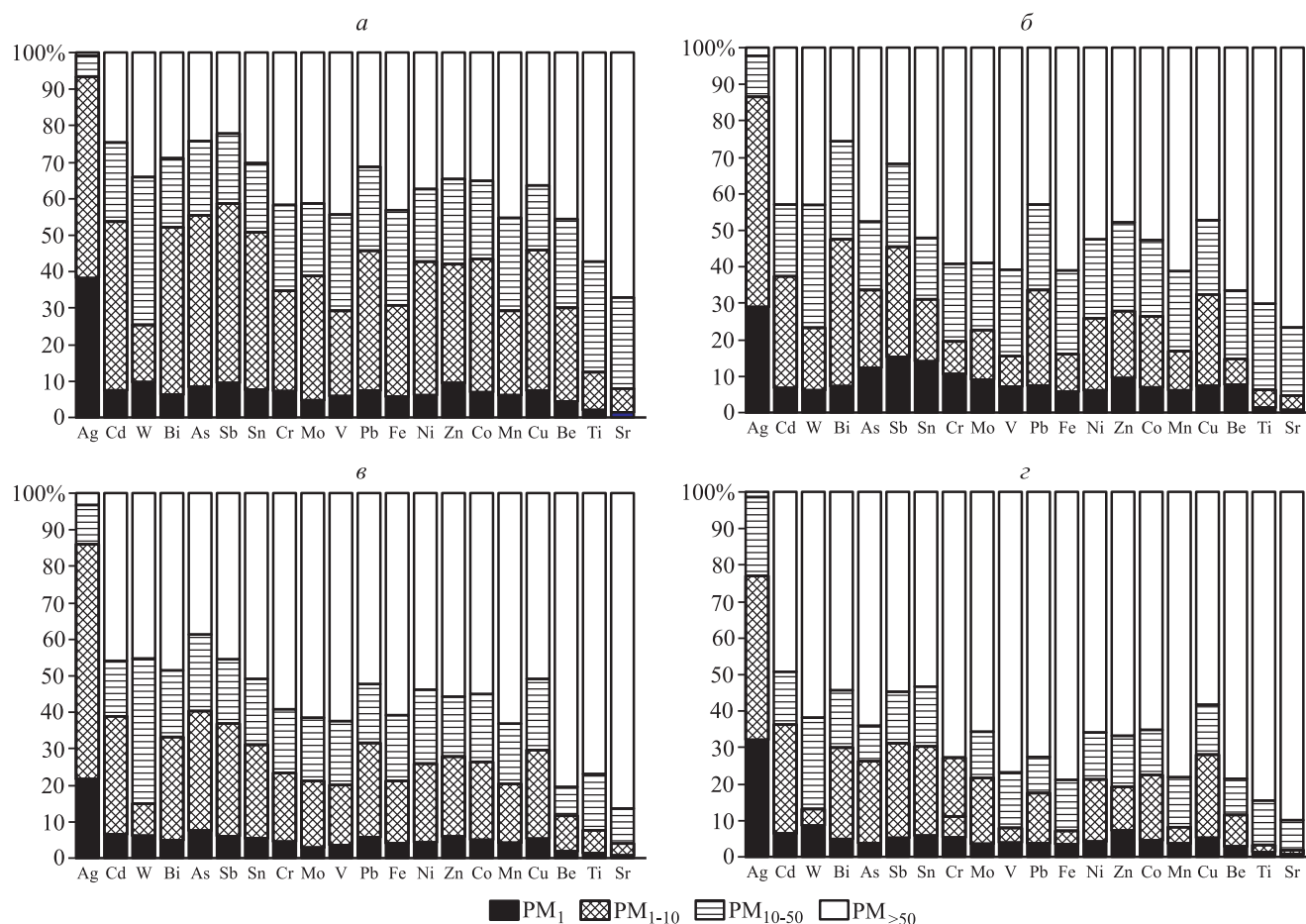


Рис. 3. Доля ТМ в гранулометрических фракциях дорожной пыли: *а* — малые дороги, *б* — средние дороги, *в* — крупные дороги, *г* — МКАД

(рис. 3). Так, в пыли малых дорог с фракцией песка ($D > 50\%$) связаны преимущественно Ti и Sr; средних и крупных дорог — Fe, Mn, Be, Ti, Sr, Sn, Cr, Mo, V; МКАД — W, Bi, As, Sb, Sn, Cr, Mo, V, Pb, Fe, Ni, Zn, Co, Mn, Cu, Be, Ti, Sr. На малых дорогах на наиболее экологически опасные частицы PM_1 и PM_{1-10} приходится 93% Ag; 51–60% Cd, Bi, As, Sb, Sn; 31–50% Cr, Mo, Pb, Ni, Zn, Co, Cu; до 15–30% W, V, Fe, Mn, Be, Ti, Sr. На более крупных дорогах доля всех элементов, связанных с PM_1 и PM_{1-10} , уменьшается. Так, в пыли МКАД на них приходится 78% Ag; 31–35% Cd, Sb; 16–30% Bi, As, Sn, Mo, Pb, Ni, Zn, Co, Cu; 6–15% W, Cr, V, Fe, Mn, Be; 2–5% Ti, Sr (рис. 3).

Техногенное обогащение фракций дорожной пыли

ТМ. Дорожная пыль представляет собой специфический техногенный объект. При отсутствии фонового аналога в качестве общепринятого эталона сравнения нами использованы кларки элементов в верхней части континентальной земной коры. Для характеристики геохимической специализации дорожной пыли рассчитан коэффициент обогащения ТМ: $K_e = (C/C_{\text{норм}})_{\text{проба}} / (C/C_{\text{норм}})_{\text{земн. кора}}$, где C и $C_{\text{норм}}$ — содержание интересующего и нормирующего элементов соответственно в пробе или в земной коре. Нормирующий элемент выбирается с учетом того, что он практически не поступает в атмосферные аэрозоли из антропогенных источ-

ников. В качестве нормирующих элементов часто используют Al, Li, Zr, Ti, Sc, La, иногда Fe и Mn. Этот коэффициент был предложен для выяснения происхождения элементов в морской воде, атмосферном воздухе и осадках, затем его стали применять при изучении геохимических особенностей почв, озерных отложений, торфа, хвостохранилищ и других объектов окружающей среды [Zhao et al., 2009].

Использование K_e предполагает, что при протекании природных процессов соотношение изучаемого и нормирующего элементов остается практически неизменным и равно отношению в земной коре, а изменение происходит только при техногенном воздействии. Сравнение с распределением элементов в земной коре резонно, поскольку взвешенное вещество в воздухе состоит из частиц почв и пород, выдуваемых ветром [Olmez et al., 1985]. В нашей работе нормирующим элементом выбран La, кларки Mo, Cd и Ag в верхней части континентальной коры — по [Rudnick, Gao, 2003], Cu, Bi, V, Co — по [Hu, Gao, 2008], Sn — по [Wedepohl, 1995], остальных элементов — по [Григорьев, 2009]. Поскольку разброс в кларках некоторых химических элементов, по данным разных авторов, велик, то в качестве эталонов сравнения использовались указанные данные, близкие к средним между этими оценками.

Таблица 3

Обогащение гранулометрических фракций дорожной пыли ТМ

Фракция	Дороги	K_e				Z_e
		> 20	20–10	10–5	5–1,5	
PM ₁	М	Ag ₆₃ Cd ₂₂ Sb ₂₁	Zn ₁₁ Sn ₁₁	Cu ₉ W ₉ Pb ₈ Bi ₈ Mo ₆	As ₂	160
	С	Ag ₄₀ Cd ₃₀ Sb ₂₅	Pb ₁₄ Sn ₁₄ Cu ₁₂ Zn ₁₂ W ₁₁ Bi ₁₀	Mo ₇	Cr ₂ As ₂	166
	К	Ag ₃₇ Sb ₂₄ Cd ₂₃	Cu ₁₄ Sn ₁₃ Zn ₁₂	Pb ₈ Bi ₈ Mo ₇ W ₅	As ₂ Cr ₂	144
	МКАД	Ag ₆₂ Zn ₃₀ Cd ₂₁ Sb ₂₁	W ₁₃ Sn ₁₀	Pb ₉ Cu ₈ Bi ₈ Mo ₆	Cr ₂ As ₂	181
	BAO	Ag ₅₁ Cd ₂₅ Sb ₂₃	Zn ₁₅ Sn ₁₂ Cu ₁₁ Pb ₁₀	W ₉ Bi ₈ Mo ₆	As ₂ Cr ₂	163
PM _{1–10}	М	Cd ₂₂	Sb ₁₈ Ag ₁₄ Sn ₁₀	Bi ₈ Cu ₇ Pb ₇ Mo ₆	Zn ₄ W ₂ As ₂	90
	С	Cd ₂₅ Sb ₂₂	Ag ₁₅ Pb ₁₂ Sn ₁₂ Bi ₁₁ Cu ₁₀	Mo ₇ Zn ₆ W ₆	—	118
	К	Sb ₂₇ Cd ₂₂ Ag ₂₁	Sn ₁₄ Cu ₁₃ Zn ₁₀ Mo ₁₀ Bi ₁₀	Pb ₇	As ₂ W ₂	129
	МКАД	Sb ₂₂ Cd ₂₁	Ag ₁₈ Zn ₁₀	Sn ₉ Cu ₈ Bi ₈ Pb ₇ Mo ₆	W ₂ As ₂	104
	BAO	Cd ₂₃ Sb ₂₂	Ag ₁₇ Sn ₁₂	Cu ₉ Bi ₉ Pb ₈ Zn ₇ Mo ₇	W ₃ As ₂	109
PM _{10–50}	М	—	Cd ₁₃	Sb ₈ W ₈ Sn ₅ Zn ₅ Pb ₅	Cu ₄ Mo ₄ Bi ₄ Ag ₂	50
	С	—	Cd ₁₂ Sb ₁₀	W ₇ Pb ₇ Cu ₆ Sn ₆ Zn ₅ Mo ₅ Bi ₅	Ag ₄	57
	К	—	Sb ₁₄ Cd ₁₃ Cu ₁₁ Mo ₁₁	Sn ₉ Bi ₈ Zn ₇ W ₆ Pb ₅	Ag ₄	78
	МКАД	—	Sb ₁₃ Ag ₁₂ Cd ₁₂ Zn ₁₁	Sn ₇ Cu ₆ W ₆ Bi ₆ Mo ₅ Pb ₅	—	73
	BAO	—	Cd ₁₂ Sb ₁₁	Zn ₇ Sn ₇ W ₇ Cu ₆ Mo ₆ Ag ₅ Pb ₅ Bi ₅	—	62
PM _{>50}	М	—	—	Cd ₉ Mo ₆ Cu ₅ Sn ₅ Sb ₅	Zn ₄ W ₄ Pb ₄ Bi ₃	37
	С	—	—	Cd ₈ Sn ₆ Cu ₅ Mo ₅	Sb ₄ Zn ₄ W ₄ Pb ₄ Bi ₂	33
	К	—	—	Sb ₈ Cd ₇ Cu ₇ Mo ₇ Sn ₆ Zn ₅	Pb ₄ Bi ₄ W ₂	41
	МКАД	—	—	Zn ₉ Sb ₈ Cd ₅ Pb ₅	Mo ₄ W ₄ Cu ₃ Sn ₃ Bi ₃	37
	BAO	—	—	Cd ₈ Sb ₆ Zn ₅ Cu ₅ Mo ₅ Sn ₅	Pb ₄ W ₃ Bi ₃	36
Пыль в среднем	М	—	Cd ₁₄ Sb ₁₀	Ag ₇ Sn ₇ Cu ₆ Bi ₆ Zn ₅ Mo ₅ W ₅ Pb ₅	—	60
	С	—	Cd ₁₂	Sb ₉ Sn ₇ Cu ₆ Mo ₆ Pb ₆ W ₅	Zn ₄ Ag ₄ Bi ₄	53
	К	—	Sb ₁₂ Cd ₁₀	Cu ₉ Mo ₈ Sn ₈ Zn ₇ Bi ₅	Pb ₄ Ag ₄ W ₃	61
	МКАД	—	Zn ₁₁ Sb ₁₀	Cd ₈ Pb ₆ Sn ₅ Bi ₅	Cu ₄ Mo ₄ Ag ₄ W ₄	51
	BAO	—	Cd ₁₂ Sb ₁₀	Sn ₇ Cu ₆ Zn ₆ Mo ₆ Pb ₅ Ag ₅ W ₅ Bi ₅	—	56

Примечание. Дороги: М — малые, С — средние, К — крупные. Прочерк — в градацию K_e не попадает ни один элемент.

Судя по величине K_e (табл. 2, 3), дорожная пыль не обогащена As, Cr, Co, Ni, Fe, Sr, V, Mn, Ti и Be ($K_e < 1,5$), что указывает на преобладание для этих элементов природных источников — почвообразующих пород, почв, природных строительных материалов, используемых для создания дорожного полотна и т.д. В эту ассоциацию входят почти исключительно литофильные элементы, которые слабо используются в промышленности и не накапливаются ни в промышленных пылях и твердых отходах, ни в выбросах электростанций [Геохимия..., 1990].

Частицы пыли PM₁ на всех дорогах очень сильно обогащены ($K_e > 20$) Ag, Cd, Sb, а на МКАД еще и Zn. Для Sn, Bi, Mo, Cr и As разница в величине

K_e для дорог с разной интенсивностью движения невелика, для V, Fe, Mn, Be, Co, Ni, Ti и Sr обогащение не выявлено ($K_e < 1,5$). В среднем частицы PM₁ на транспортных объектах BAO обогащены (нижний индекс — величина K_e) Ag₅₁Cd₂₅Sb₂₃Zn₁₅Sn₁₂Cu₁₁Pb₁₀W₉Bi₈Mo₆Co₂As₂Cr₂.

PM_{1–10} очень сильно обогащены Cd на всех дорогах, Sb — на всех дорогах, кроме малых, Ag — на крупных магистралях. Для Ag разница в величине K_e между малыми, средними дорогами и МКАД, а для Sn между дорогами с разной транспортной нагрузкой практически отсутствует. В то же время частицы PM_{1–10} на всех автотранспортных объектах BAO не концентрируют Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe,

Co, Ni и Sr. По сравнению с PM_{10} частицы дорожной пыли PM_{1-10} меньше обогащены Ag, Zn и W — $Cd_{23}Sb_{22}Ag_{17}Sn_{12}Cu_9Bi_9Pb_8Zn_7Mo_7W_3Co_2As_2$.

Особенность PM_{10-50} — более интенсивная обогащенность ТМ на крупных магистралях и МКАД по сравнению с дорогами, где интенсивность движения меньше. При этом на МКАД K_e для Ag, Mo и Zn, а на крупных дорогах для Cu и Mo в 1,5–2 раза выше, чем на других дорогах. Средний состав частиц PM_{10-50} дорожной пыли БАО характеризуется рядом $Cd_{12}Sb_{11}W_7Sn_7Zn_7Cu_6Mo_6Bi_5Ag_5Pb_5$, что указывает на их меньшую обогащенность практически всеми ТМ по сравнению с PM_1 и PM_{1-10} .

Песчаная фракция $PM_{>50}$ слабо концентрирует значительно меньшее число элементов: $Cd_8Sb_6Zn_5Cu_5Mo_5Sn_5Pb_4W_3Bi_3$. При этом для Sb характерно накопление в $PM_{>50}$ крупных автомагистралей и МКАД, тогда как для Zn и Pb значения K_e максимальны в дорожной пыли МКАД, а Cd, Sn, Cu и Mo — на малых, средних и крупных транспортных линиях. Соотношение Be, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, As, Sr, Ag и La в $PM_{>50}$ практически не отличается от соотношения этих элементов в верхней части континентальной коры (K_e близок к 1).

В среднем дорожная пыль БАО обогащена $Cd_{12}Sb_{10}Sn_7Zn_7Cu_6Mo_6Pb_5Ag_5W_3Bi_5$. В зависимости от характера связи с интенсивностью транспортной нагрузки все элементы были разделены на 5 групп. К первой относится Cd, у которого при увеличении интенсивности движения транспорта K_e уменьшается; вторая включает Zn, K_e которого повышается с ростом транспортной нагрузки; в третью входят Be, Sn, Cu, Cr, Ni и Mo с возрастанием значений K_e в ряду МКАД < малые < средние < крупные дороги; четвертая представлена элементами, K_e которых не обнаружил закономерного изменения в зависимости от размера автодороги, это Ag, Bi, W, Pb, Sb, As и Sr; в пятую группу входят Co, V, Ti, Fe и Mn, K_e которых не отличается на разных типах дорог.

Обогащенность гранулометрических фракций пыли ТМ на дорогах с разной интенсивностью транспортного потока можно объяснить двумя основными причинами. Первая причина — “механическая” — из-за выдувания мелких частиц с дорожного полотна при увеличении скорости движения транспорта и большей продуваемости крупных магистралей по сравнению с малыми в дорожной пыли постепенно увеличивается доля крупных частиц. На малых и средних улицах выбросы транспорта содержат повышенное количество мелких частиц за счет истирания тормозных колодок, шин и дорожного покрытия в результате частого прерывания движения из-за большого числа светофоров, остановок общественного транспорта, дорожных пробок и т.д. Вторая причина — “химическая”, заключается в разной химической специализации выбросов транспорта разного типа. Так, на малых и средних внутриквартальных дорогах велика доля

пассажирского транспорта (автобусы, троллейбусы, микроавтобусы и т.д.), в то время как на крупных магистралях и МКАД их доля снижается одновременно с ростом числа грузовых и легковых автомобилей.

Таким образом, при эколого-геохимических оценках воздействия транспорта на окружающую среду необходимо уделять внимание не только крупным шоссе, но и небольшим внутриквартальным улицам, на которых величина транспортного потока невелика, но где из-за небольшой скорости ветра накапливаются концентрирующие ТМ и металлоиды PM_1 и PM_{1-10} , которые усиливают загрязнение воздуха.

Суммарное обогащение пыли ТМ. Обогащение фракций дорожной пыли ТМ оценивалось с помощью суммарного показателя $Z_e = \sum K_e - (n - 1)$ при $K_e > 1,5$, где n — число элементов с $K_e > 1,5$. Этот коэффициент аналогичен суммарному показателю загрязнения пылевой составляющей снежного покрова $Z_c = \sum K_c - (n - 1)$ при $K_c > 1,5$, где n — число элементов с $K_c > 1,5$; $K_c = C_i / C_f$, C_i — концентрация элемента в снеговой пыли города, C_f — на фоновой территории [Геохимия..., 1990]. Как отмечалось ранее, в качестве эталона сравнения для дорожной пыли применяют кларки элементов в верхней части континентальной земной коры, поэтому при расчете Z_e вместо K_e используются кларки концентрации $KK = C_i / K$, где K — кларк элемента; тогда $Z_c = \sum KK - (n - 1)$ при $KK > 1,5$. В этом виде Z_e очень близок Z_c , за исключением того, что последний показывает уровень накопления химических элементов в результате исключительно техногенного воздействия (химическая причина), без учета эффекта выдувания частиц почв и пород (механическая причина), что важно при исследовании состава дорожной пыли.

Поэтому в качестве градаций экологической опасности для величины Z_e можно принять уровни Z_c , разработанные для пылевой составляющей снежного покрова: <32 — неопасный, 32–64 — умеренно опасный, 64–128 — опасный, 128–256 — очень опасный, >256 — чрезвычайно опасный [Геохимия..., 1990], с изменениями по [Касимов и др., 2012a].

Расчеты Z_e для гранулометрических фракций дорожной пыли и дорог с разной интенсивностью транспортного потока приведены на рис. 4. Наиболее обогащена ТМ илистая фракция ($Z_e = 160 \div 181$), затем Z_e закономерно уменьшается с увеличением размера частиц — от мелкой и средней (90–129) к крупной пыли (50–78) и песку (33–41).

Особенности распределения Z_e указывают на специфический геохимический диссонанс гранулометрических фракций дорожной пыли, когда с увеличением интенсивности движения транспорта от малых до крупных дорог возрастает обогащенность всех фракций ТМ за исключением PM_1 , для которой характерен минимум обогащенности на крупных дорогах и постепенное увеличение Z_e на малых

и средних улицах. Кроме того, в дорожной пыли МКАД суммарное обогащение PM_{1-10} , PM_{10-50} , $PM_{>50}$ ТМ снижается по сравнению с крупными автомагистралями на 5–25, тогда как для PM_1 Z_e на МКАД возрастает на 37, что, по-видимому, связано с различиями химического состава выбросов и структуры автопарка на разных типах дорог.

Гранулометрические фракции дорожной пыли сильно отличаются одна от другой как по величине суммарного обогащения ТМ, так и по химизму сформированных в них геохимических аномалий. Для PM_1 ($Z_e > 140$, очень высокий уровень обогащения) характерны контрастные Ag–Cd–Sb–Zn–Sn–Cu и менее контрастные Pb–W–Bi–Mo аномалии; для PM_{1-10} ($Z_e = 90 \div 130$, высокий уровень) — контрастные Cd–Sb–Ag–Sn и менее контрастные Bi–Cu–Pb–Mo–W аномалии; для PM_{10-50} ($Z_e = 50 \div 80$, средний–высокий уровень) — контрастные Cd–Sb и слабоконтрастные Cu–Mo–Zn–Sn–W аномалии; а для $PM_{>50}$ ($Z_e = 30 \div 40$, средний уровень) — слабоконтрастные Cd–Sb–Mo–Sn–Cu аномалии (табл. 3). При этом суммарное обогащение частиц PM_1 поллютантами соответствует очень опасному, PM_{1-10} — опасному, а PM_{10-50} и $PM_{>50}$ — умеренно опасному экологическому уровню. Наиболее контрастные аномалии в дорожной пыли связаны с Cd, Sb, Zn, Ag и Sn, поэтому при оценке техногенного геохимического воздействия транспорта на окружающую среду необходимо особое внимание уделять этим элементам. Из этих элементов с геохимических позиций в городах наименее изучено поведение Sb.

Выводы:

— основные физико-химические свойства пыли дорог с разной интенсивностью движения транспорта отличаются мало; рН увеличивается в ряду малые < средние < МКАД < крупные дороги, содержание $C_{орг}$ и электропроводность изменяются в ряду МКАД < крупные < малые < средние дороги. С ростом интенсивности движения в дорожной пыли увеличивается доля песка, что связано с выдуванием мелких частиц;

— при большей интенсивности движения транспорта увеличивается доля элементов, связанных с песчаной фракцией, и уменьшается — с мелкой, средней и крупной пылью; с илистой фракцией практически не изменяется. На малых дорогах на экологически наиболее опасные PM_1 и PM_{1-10} приходится 93% Ag; 51–60% Cd, Bi, As, Sb, Sn; 31–50%

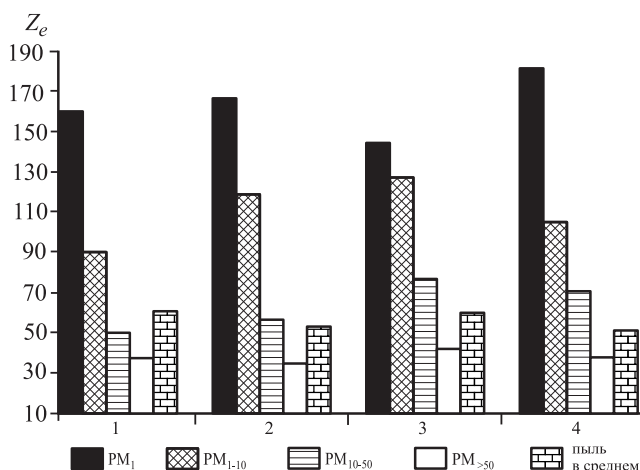


Рис. 4. Суммарные коэффициенты обогащения (Z_e) частиц дорожной пыли ТМ. Автодороги: 1 — малые, 2 — средние, 3 — крупные, 4 — МКАД

Cr, Mo, Pb, Ni, Zn, Co, Cu; до 15–30% W, V, Fe, Mn, Be, Ti, Sr; на более крупных дорогах доля всех элементов, связанных с PM_1 и PM_{1-10} , уменьшается;

— дорожная пыль ВАО обогащена $Cd_{12}Sb_{10}Sn_7Zn_6Cu_6Mo_6Pb_5Ag_5W_5Bi_5$ по сравнению с верхней частью континентальной коры. В зависимости от характера связи с интенсивностью транспортной нагрузки все элементы образуют 5 групп: Cd (уменьшение K_e с ростом интенсивности движения); Zn (K_e возрастает с ростом транспортной нагрузки); Be, Sn, Cu, Cr, Ni и Mo (минимум K_e на МКАД); Ag, Bi, W, Pb, Sb, As и Sr (высокая вариабельность K_e вне зависимости от размера дороги); Co, V, Ti, Fe и Mn (с примерно постоянным K_e);

— обогащение дорожной пыли ТМ предложено оценивать с помощью суммарного показателя Z_e . С увеличением интенсивности движения транспорта обогащенность частиц PM_{1-10} , PM_{10-50} , $PM_{>50}$ ТМ возрастает, а PM_1 , напротив, уменьшается, что связано с разным химическим составом выбросов и структурой автопарка на разных типах дорог;

— при эколого-геохимических оценках воздействия транспорта на окружающую среду необходимо уделять внимание не только крупным шоссе, но и небольшим внутриквартальным улицам. В первую очередь необходимо контролировать уровень содержания Cd, Sb, Zn, Ag и Sn, формирующих наиболее контрастные геохимические аномалии в гранулометрических фракциях дорожной пыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv [Methods of study of the physical properties of soils], Agropromizdat, Moscow, 1986, 416 p. (in Russian).

- Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
Geohimija okruzhajushhej sredy [Environmental geochemistry], Moscow, Nedra, 1990, 335 p. (in Russian).
ГОСТ 1320-74 (ИСО 4383-91). Баббиты оловянные и свинцовые. Технические условия. М.: ИПК Изд-во стандартов, 2001. 9 с.

GOST 1320–74. Babbity olovjannye i svincove. Tehnicheskie uslovija [Tin and lead babbitts. Specifications], Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, 2001, 9 p. (in Russian).

Государственный доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2013 году. М.: "ЛАРК ЛТД", 2014, 222 с.

Gosudarstvennyj doklad o sostojanii okruzhajushhej sredy v gorode Moskve v 2013 godu. [State report on the state of environment in Moscow in 2013], Moscow, "LARK LTD", 2014, 222 p. (in Russian).

Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

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

Кайгородов Р.В., Тиунова М.И., Дружинина А.В. Загрязняющие вещества в пыли проезжих частей дорог и в древесной растительности придорожных полос городской зоны // Вестн. Пермского ун-та. Сер. Биология. 2009. Вып. 10 (36). С. 141–146.

Kaygorodov R.V., Tiunova M.I., Druzshina A.V. Zagrjaznjajushhie veshhestva v pyli proezzhih chastej dorog i v drevesnoj rastitel'nosti pridorozhnyh polos gorodskoj zony [Polluting substances in a roadside dust and in wood vegetation of roadside strips of a city zone], Vestnik Permskogo Universiteta, seria Biologija, 2009, V. 10 (36), pp. 141–146 (in Russian).

Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2012а. № 4. С. 14–24.

Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Vlasov D.V., Terskaya E.V. Geohimija snezhnogo pokrova v Vostochnom okruge Moskvy [Geochemistry of snow cover within the Eastern district of Moscow], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria Geografiya, 2012a, no 4, pp. 14–24 (in Russian).

Касимов Н.С., Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Хайбрахманов Т.С. Геоинформационное ландшафтно-геохимическое картографирование городских территорий (на примере ВАО Москвы). 1. Картографическое обеспечение // Геоинформатика. 2012б. № 4. С. 37–45.

Kasimov N.S., Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Khaibrakhmanov T.S. Geoinformacionnoe landshaftno-geohimicheskoe kartografirovanie gorodskih territorij (na primere VAO Moskvyy). 1. Kartograficheskoe obespechenie [Geoinformation landscape and geochemical mapping of city territories (the case of Eastern District of Moscow) 1. Cartographic support], Geoinformatika, 2012b, no 4, pp. 37–45 (in Russian).

Ладонин Д.В., Пляскина О.В. Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москвы // Почвоведение. 2009. № 1. С. 106–118.

Ladonin D.V., Plyaskina O.V. Isotopic composition of lead in soils and street dust in the Southeastern administrative district of Moscow, Eurasian Soil Sci., 2009, V. 42, no 1, pp. 93–104.

Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Навикова О.В. Пространственно-временные тренды загрязнения городских почв и растений соединениями свинца (на примере Восточного округа Москвы) // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 1. С. 11–20.

Nikiforova E.M., Kasimov N.S., Kosheleva N.E., Navikova O.V. Prostranstvenno-vremennye trendy zagrjaznenija gorodskih pochv i rastenij soedinenijami svinca (na primere Vostochnogo okruga Moskvyy) [Spatial-temporal trends in pollution of urban soils and vegetation with lead compounds (case study of the Eastern district of Moscow)], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria Geografiya, 2010, no 1, pp. 11–20 (in Russian).

Никифорова Е.М., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв Восточного округа г. Москвы (по данным 1989–2010 гг.) // Инженерная геология. 2011. № 3. С. 34–45.

Nikiforova E.M., Kosheleva N.E., Kasimov N.S. Ocenka zagrjaznenija tjazhelymi metallami pochv Vostochnogo okruga g. Moskvy (po dannym 1989–2010 gg.) [Analysis of pollution with heavy metals in soils of the Eastern district of Moscow (based on data collected during 1989–2010)], Inzhenernaya Geologia, 2011, no 3, pp. 34–45 (in Russian).

Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 336 с.

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

Acosta J.A., Faz A., Kalbitz K. et al. Heavy metal concentrations in particle size fractions from street dust of Murcia (Spain) as the basis for risk assessment, J. Environ. Monit., 2011, V. 13, pp. 3087–3096.

Adachi K., Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust, Environ. Int. 2004, V. 30, pp. 1009–1017.

Amato F., Pandolfi M., Escrig A. et al. Quantifying road dust re-suspension in urban environment by multilinear engine: a comparison with PMF2, Atmos. Environ. 2009, V. 43, pp. 2770–2780.

Bhattacharya T., Chakraborty S., Fadadu B., Bhattacharya P. Heavy metal concentrations in street and leaf deposited dust in Anand City, India, Res. J. Chem. Sci., 2011, V. 1, pp. 61–66.

Chen J., Wang W., Liu H., Ren L. Determination of road dust loadings and chemical characteristics using resuspension, Environ. Monit. Assess., 2012, V. 184, pp. 1693–1709.

DUST 2014: Book of abstracts. International conference on atmospheric dust. Catellaneta-Marina (Taranto), Italy. 1–6 June, 2014. URL: <http://www.dust2014.org/download/BoA.pdf> (Accessed: 10.11.2014).

Farago M.E., Kavanagh P., Blanks R. et al. Platinum metal concentrations in urban road dust and soil in the United Kingdom, Fresenius J. Anal. Chem., 1996, V. 354, pp. 660–663.

Fedotov P.S., Ermolin M.S., Karandashev V.K., Ladonin D.V. Characterization of size, morphology and elemental composition of nano-, submicron and micron particles of street dust separated using field-flow fractionation in a rotating coiled column, Talanta, 2014, V. 130, pp. 1–7.

Gao B., Yu Y., Zhou H., Lu J. Accumulation and distribution characteristics of platinum group elements in roadside dusts in Beijing, China, Environ. Toxicol. Chem., 2012, V. 31, no 6, pp. 1231–1238.

Gietl J.K., Lawrence R., Thorpe A.J., Harrison R.M. Identification of break wear particles and derivation of a quantitative tracer for brake dust at a major road, Atmos. Environ., 2010, V. 44, pp. 141–146.

Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update, Chem. Geology, 2008, V. 253, iss. 3–4, pp. 205–221.

Iijima A., Sato K., Yano K. et al. Particle size and composition distribution analysis of automotive brake abrasion dusts for the evaluation of antimony sources of airborne particulate matter, *Atmos. Environ.*, 2007, V. 41, pp. 4908–4919.

Irvine K.N., Perrelli M.F., Ngoen-klan R., Droppo I.G. Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications, *J. Soils Sedim.*, 2009, V. 9, pp. 328–341.

Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles // *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts*, ed. by F. Zereini, C.L.S. Wiseman. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011, pp. 63–79.

Nazal Y., Rosen M.A., Al-Rawabden A.M. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada, *Environ. Monit. Assess.*, 2013, V. 185, pp. 1847–1858.

Olmez I., Gulovali M.C., Gordon G.E. Trace element concentrations in lichens near a coal-fired power plant, *Atmos. Environ.*, 1985, V. 19, pp. 1663–1669.

Pagano P., De Zaiacomo T., Scarcella E. et al. Mutagenic activity of total and particle-sized fractions of urban particulate matter, *Environ. Sci. Technol.*, 1996, V. 30, pp. 3512–3516.

Pal S.K., Wallis S.G., Arthur S. Assessment of heavy metals emission from traffic on road surfaces, *Cent. Eur. J. Chem.*, 2011, V. 9, iss. 2, pp. 314–319.

Reimann C., de Caritat P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors, *Sci. Tot. Environ.*, 2005, V. 337, pp. 91–107.

Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. In *Treatise on Geochemistry*, V. 3, *The Crust*. Elsevier Science, 2003, pp. 1–64.

Quiroz W., Cortes M., Astudillo F. et al. Antimony speciation in road dust and urban particulate matter in Valparaiso, Chile: analytical and environmental considerations, *Microchem. J.*, 2013, V. 110, pp. 266–272.

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

Wedepohl K.H. The composition of the continental crust // *Geochim. et Cosmochim. Acta*, 1995, V. 59, no 7, pp. 1217–1232.

Zafra C.A., Temprano J., Tejero I. Particle size distribution of accumulated sediments on an urban road in rainy weather, *Environ. Technol.*, 2008, V. 29, pp. 571–582.

Zhao H., Yin C., Chen M., Wang W. Risk assessment of heavy metals in street dust particles to a stream network, *Soil Sedim. Contam.*, 2009, V. 18, pp. 173–183.

Поступила в редакцию
20.12.2014

D.V. Vlasov, N.S. Kasimov, N.E. Kosheleva

GEOCHEMISTRY OF THE ROAD DUST IN THE EASTERN DISTRICT OF MOSCOW

Principal physical and chemical properties and the geochemical specialization of the road dust in the Eastern district of Moscow were analyzed. Under the increasing intensity of traffic the percentage of sand rises in the dust, and the sand contains more heavy metals and metalloids. Concentrations of these elements became lower in fine, medium and coarse dust and show no changes in the silt fraction. At the small roads 93% Ag, 51–60% Cd, Bi, As, Sb and Sn, 31–50% Cr, Mo, Pb, Ni, Zn, Co and Cu, up to 30% W, V, Fe, Mn, Be, Ti and Sr are associated with the ecologically most hazardous PM_1 and PM_{1-10} . As compared to the upper part of the continental crust the road dust in the Eastern district is enriched with $Cd_{12}Sb_{10}Sn_7Zn_6Cu_6Mo_6Pb_5Ag_5W_5Bi_5$. The authors suggest using the integral index Z_e to evaluate the enrichment of the road dust with heavy metals and metalloids.

Under the increasing intensity of traffic the enrichment of PM_{1-10} , PM_{10-50} and $PM_{>50}$ with heavy metals increases, while that of PM_1 became lower, as a result of different chemical composition of emissions and traffic structure. According to their correlation with the transport load all elements could be classified into 5 groups. While assessing ecological-geochemical aspects of the environmental impact of transport it is important to survey both large highways and small driveways. Of priority monitoring are the concentrations of Cd, Sb, Zn, Ag and Sn which form the most contrasting geochemical anomalies in different particle-size fractions of the road dust.

Key words: road dust, motor transport, heavy metals, metalloids, particle-size fractions, PM_1 , PM_{1-10} , PM_{10-50} , $PM_{>50}$.

УДК 911.52+574.42

К.А. Корзников¹

ГРЯЗЕВЫЕ ВУЛКАНЫ О. САХАЛИН В СИСТЕМЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕГИОНА

Деятельность грязевых вулканов обуславливает существование специфических местообитаний и экосистем, поэтому грязевые вулканы интересны и с точки зрения геологии экологических дисциплин. В контексте управления особо охраняемыми природными территориями рассматриваются редкие геологические объекты — грязевые вулканы, обсуждаются оптимальные подходы использования их использования. Все грязевые вулканы — особо охраняемые природные территории регионального значения. Грязевые вулканы Сахалина помимо природоохранной функции обладают высоким туристическим и рекреационным потенциалом. На вулканах Магунтан, Малый Северный и Малый Южный (Пугачевские вулканы) сформировались уникальные растительные сообщества с доминированием узколокальных эндемичных видов: *Artemisia limosa*, *Deschampsia tzelevii*, *Gentianella sugawarae*, *Primula sachalinensis*. Ареал этих таксонов ограничен территорией грязевых полей вулканов, поэтому группу Пугачевских вулканов нужна рассматривать как ценный природный резерват. Южно-Сахалинский вулкан благодаря близости к г. Южно-Сахалинск, а также постоянной активности и отсутствию редких и охраняемых видов может стать хорошим экскурсионным и туристическим объектом. Использование Дагинского грязевого вулкана перспективно с точки зрения развития лечебно-оздоровительного направления, поскольку этот грязевой вулкан сопряжен с выходами термоминеральных вод.

Ключевые слова: грязевой вулкан, особо охраняемые природные территории, управление окружающей средой, Сахалин.

Введение. Грязевые вулканы — геологические образования, возникающие в результате выхода глинистых масс, минерализованных вод и газов на дневную поверхность или морское дно [Лимонов, 2004; Холодов, 2002]. На территории России грязевые вулканы функционируют лишь в Керченско-Таманском регионе и на Сахалине [Korǵ, 2002]. В настоящее время на острове действуют три центра грязевого вулканизма. В северной части Сахалина, на побережье Ныйского залива расположен Дагинский грязевой вулкан; в южной части острова, у пос. Пугачево — группа Пугачевских грязевых вулканов, включающая наиболее крупный вулкан острова Магунтан и вулканы Малый Северный и Малый Южный; в окрестностях областного центра — Южно-Сахалинский вулкан [Мельников, 2002; Сырьк, 1970] (рисунок). Лесновский грязевой вулкан, впервые проявивший активность в конце 80-х гг. прошлого столетия, указывается как четвертый центр грязевого вулканизма [Мельников, Ильев, 1989; Сорочинская и др., 2009], но перестал функционировать несколько лет назад.

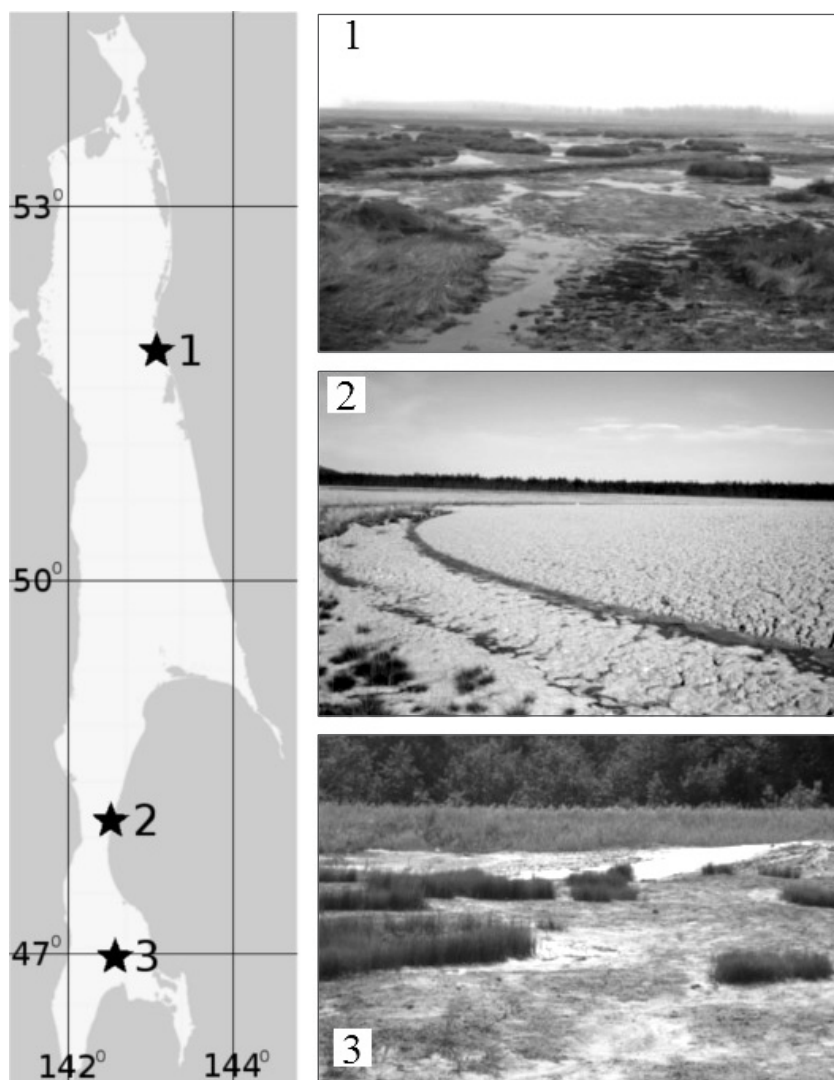
Периодически извергающийся водогрязевой субстрат (сопочная брекчия, или грязь) обладает необычным химическим составом и формирует своеобразные местообитания, к которым приурочены специфические сообщества, резко отличающиеся по составу и структуре от зональных. На грязевых вулканах Пугачевской группы произрас-

тают узкоэндемичные виды растений. Схожие закономерности прослеживаются для других популярных объектов туризма — гейзеров, сольфатар, геотермальных полей, составляющих части национальных систем особо охраняемых природных территорий (ООПТ) в России, США, Новой Зеландии. Вопросам изучения экосистем таких объектов, прогнозированию их развития и менеджменту территорий уделяется большое внимание [Boothroyd, 2009; Burns et al., 2013].

Грязевые вулканы активно изучают с геологических позиций в качестве спутников нефтяных и газовых месторождений, возможных индикаторов сейсмичности, источников эмиссии парниковых газов в атмосферу [Лимонов, 2004]. В то же время почти полностью отсутствуют сведения о природных комплексах, формирующихся в своеобразных грязевулканических местообитаниях.

Грязевые вулканы Сахалина имеют статус ООПТ регионального значения — памятников природы [Государственный кадастр..., 2012], это потенциальные узловые точки сети ООПТ [Корзников, 2013]. Однако они до сих пор не имеют ни постоянного научного сопровождения, ни стратегии развития, которая учитывала бы специфику экосистем и предусматривала компромиссный вариант реализации природоохранного, научно-просветительского и рекреационного потенциала.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра геоботаники, аспирант; e-mail: korzki@mail.ru



Грязевые вулканы Сахалина: 1 — Дагинский, 2 — Магунтан из группы Пугачевских вулканов, 3 — Южно-Сахалинский

Постановка проблемы. Несмотря на то что все три центра развития грязевого вулканизма представляют собой проявления одного геологического процесса, каждый грязевый вулкан характеризуется присущими только ему чертами морфологического строения и активности, особенностями формирующихся на грязевых полях сообществ и рекреационно-туристическим потенциалом. Цель работы заключалась в анализе специфических черт природных комплексов грязевых вулканов Сахалина для выработки стратегии их охраны и управления в рамках системы ООПТ острова. В задачи исследования входили сбор и систематизация сведений об экосистемах трех центров развития грязевого вулканизма на Сахалине, рекомендации по изменению существующих мер охраны и поиску путей управления, которые обеспечат сохранение и стабильное существование ценных природных комплексов.

Материалы и методы исследований. Мониторинговые геоботанические наблюдения за растительными сообществами грязевых вулканов были начаты в 2009 г. Работы включали фиксацию извержений вулканов и составление планов грязевых

полей с помощью GPS, предварительные рекогносцировочные флористические изыскания и исследования по методикам, принятым в геоботанике. Всего в 2013 г. сделано 384 описания участков растительного покрова вулканов на пробных площадях разного размера (1×1, 5×5, 10×10 м): 185 участков на вулкане Магунтан, 105 на Южно-Сахалинском, 48 на Дагинском и его окрестностях, 46 на Малом Северном и Малом Южном. Пробные площадки были размещены в пределах визуально отличающихся контуров растительного покрова, определенных в ходе предварительного обследования вулканов в 2009–2012 гг. Местоположение каждой площадки в контурах намеченных участков определялось случайным образом. Фиксировали видовой состав и проективное покрытие сосудистых растений. В 2011 и 2013 гг. на вулканах Магунтан, Южно-Сахалинский и Дагинский проведен учет растений на трех радиальных линейных трансектах, направленных от центра вулкана к периферии. Для определения основных средовых градиентов выполнен химический анализ грязевого субстрата разного возраста.

Результаты исследований и их обсуждение. Группа Пугачевских грязевых вулканов. Вулканы Пугачевской группы (Центральный, или Магунтан, и два Малых вулкана-спутника — Северный и Южный) отличаются своеобразием флоры и растительности. На грязевых полях общей площадью около 35 га обитают 4 узкоэндемичных вида сосудистых растений, 3 из которых описаны японскими ботаниками в первой трети XX в. (*Primula sachalinensis*, *Gentianella sugawarae*, *Artemisia limosa*) [Баркалов и др., 2006; Попов, 1949], а четвертый (злак *Deschampsia tzvelevii*) — Н.С. Пробатовой в 1984 г. [Пробатова, 1984]. Вулканические эндемы включены в региональную и федеральную Красные книги [Красная книга..., 2005]. Специфическая природная обстановка вулканов способствует формообразованию и у других таксонов вулканической флоры [Баркалов и др., 2006]. Эндемики вулкана произрастают вблизи основных эруптивных центров и периферических грифонов, формируют пионерные группировки растений на молодом субстрате, где интенсивность стрессовых воздействий наивысшая. Другая группа растений из флоры вулкана, занимающая переувлажненные микроэкотопы, представлена приморскими галофитами *Eleocharis kamtschatica*, *Triglochin palustre* и ситниками *Juncus gracillimus* и *Juncus nodulosus*, на Сахалине обычно встречающимися на песчаных берегах, плавневых лугах, маршах. В центральных и периферических частях грязевых полей в качестве доминанты выступает ива побеголистая (*Salix fuscescens*). На Сахалине группа Пугачевских грязевых вулканов — самое южное местонахождение этого вида. В периферических частях вулканов вместе с ивой может содоминировать копеечник сахалинский (*Hedysarum sachalinense*) — эндемик Сахалина, обычно встречающийся в каменистых местообитаниях в горах. Общее число видов сосудистых растений, обнаруженных нами на вулкане², невелико и равно 29, но эндемизм флоры высок и составляет 17%.

Виды и образованные ими сообщества выстраиваются вдоль градиента суровости условий местообитаний, образуют микрозоны растительного покрова, что является характерной чертой и растительности геотермалей [Нешатаева и др., 2013; Burns et al., 2013]. Поскольку подогрева поверхности не происходит, микрозональность растительного покрова Пугачевских вулканов обусловлена исключительно химическими особенностями субстрата, а ведущую роль, по-видимому, играет уровень засоления субстрата. В центральной части вулкана, в сопочной брекчии, извергнутой зимой 2005 г., на которой развивается одновидовое пионерное сообщество, образованное *Deschampsia tzvelevii*, концентрация солей достигает 0,76%. Тип засоления хлоридно-сульфатный, pH 9,4.

Окружающий территорию грязевого поля вулкана лиственничный лес (*Larix cajanderii*) имеет необычную структуру и состав [Таран, 2003] — с доминированием *Phragmites australis* в травяно-кустарничковом ярусе и наличием других растений с грязевых полей (*Salix fuscescens*, *Parnassia palustris*, *Hedysarum sachalinense*, *Ptarmica alpina*, *Calamagrostis neglecta* и др.). Флористическая композиция окружающего вулкан леса не укладывается в существующую систему эколого-флористической классификации лиственничных лесов Дальнего Востока [Krestov et al., 2009]. Поскольку лиственничник сформировался на отложениях эруптивного материала вулканов, то своеобразие флористических комбинаций можно объяснить незавершившимися процессами вытеснения доминирующих видов предшествующих стадий сукцессии.

Центральный вулкан группы ежегодно посещают туристы. Флористический состав сообществ вулкана не подвержен инвазиям и остается постоянным в течение длительного времени. В то же время растительные сообщества вулкана уязвимы к нарушениям в виде механических воздействий и вытаптывания. Например, колея от трактора, много лет назад проехавшего по грязевому полю, не заросла до сих пор. Поэтому, учитывая особую роль редких экотопов для поддержания разнообразия растительности [Крестов, Верхолат, 2003], их небольшую площадь и уникальность сформировавшегося природного комплекса, режим охраны памятника природы следует ужесточить или организовать на его месте заказник.

Южно-Сахалинский грязевой вулкан лишен специфических черт растительного покрова, связанных с эндемизмом. Общее число найденных видов составляет 33, редких, охраняемых или эндемичных среди них нет. Остальные виды распространены широко и преимущественно относятся к R-стратегии (рудералы) согласно системе, приведенной в работе [19]: *Artemisia montana*, *Aster glehnii*, *Hieracium aurantiacum*, *Senecio cannabifolius*, *Sonchus arvensis*, *Tussilago farfara* и др.

Отсутствие эндемичных растений, по всей видимости, вызвано рядом причин, главная из которых — расположение вулкана в привершинной части невысокого холма, что обуславливает распространение сопочных брекчий во время сильных извержений вниз по склону и исключает долговременное существование разновозрастных грязевых полей. Иначе говоря, каждое новое сильное извержение перекрывает предшествующие и не оставляет “микрорефугиумов”, на которых могли бы сохраниться участки растительного покрова. Южно-Сахалинский вулкан и вулкан Магунтан имеют лишь два общих вида растений — *Phragmites australis* и *Triglochin palustre*. Триостренник болотный — пионерный вид при зарастании свежего субстрата, а тростник

² Авторские фотографии растений с вулкана Магунтан размещены на сайте <http://www.plantarium.ru/>

доминирует на более старом субстрате вплоть до окаймляющего вулкан лесного массива. Далее сукцессия на грязевых отложениях проходит через стадию с высоким участием сахалинского крупнотравья (*Filipendula camtschatica*) под пологом быстрорастущих видов лиственных пород ольхи (*Alnus hirsuta*) и ивы (*Salix* spp.) и заканчивается формированием леса из пихты сахалинской (*Abies sachalinensis*) с участием ели аянской (*Picea ajanensis*) [Корзников, 2014].

Динамическая смена растительных сообществ происходит при градиенте суровости условий — постепенном снижении засоления субстрата по мере увеличения его возраста. Содержание солей в сопочной брекчии с возрастом несколько лет, отобранной неподалеку от грязевого грифона, на участке, который только начинает зарастать *Triglochin palustre*, составляет 0,58%, рН 10,2, тип засоления содово-хлоридный. Для субстрата с возрастом несколько десятилетий, на котором доминирует *Phragmites australis*, уровень засоления определен в 0,15%, рН 9,0, тип засоления хлоридно-гидрокарбонатный.

В целом с точки зрения охраны природы природный комплекс Южно-Сахалинского вулкана по сравнению с Пугачевскими вулканами менее ценен, но может стать местом для изучения механизмов сукцессионной динамики. Близкое расположение к областному центру и развитость инфраструктуры обуславливают высокую популярность грязевого вулкана в качестве места экскурсионной и туристической деятельности [Мельников, 2002].

Дагинский грязевой вулкан сопряжен с функционированием одноименных термоминеральных источников вблизи устья р. Дага на побережье Ныйского залива. У этого вулкана отсутствует центральный эруптивный канал. Выброс грязевого субстрата и газов происходит из грязевых сальз распределенных по всей территории вулкана. Грязевые поля и сальзы во время приливов заливаются водами Охотского моря. Из-за приливов влияние грязевого вулкана на экотоп затухает. На краях грязевых полей формируются приморские луга с доминированием бескильницы ползучей (*Puccinellia phryganodes*), осок (*Carex subspathacea*, *Carex mackenziei*) и других приморских галофитных видов (*Triglochin palustre*, *Arctanthemum arcticum*), постепенно переходящих в лиственный лес, местами поврежденный пожарами. На отдельных сильнообводненных площадях, ближе к грязевым сальзам, сплошные заросли формирует *Scirpus tabernaemontani*, по мере удаления от сальз доминирование переходит к *Phragmites australis*.

Дагинский вулкан может стать интересной площадкой для микробиологических и гидробиологических исследований. В месте постоянного повышенного теплового фона контактируют морские воды и специфические выбросы из грязевых сальз и минеральных источников, что должно от-

разиться на формировании необычных сообществ гидробионтов и микробных комплексов, подобных тем, которые существуют на подводных грязевых вулканах [Niemann et al., 2006].

Район Дагинского грязевого вулкана испытывает наибольшую антропогенную нагрузку по сравнению с другими грязевыми вулканами Сахалина. Популярным местом отдыха является не сам вулкан, а расположенные на юго-востоке от грязевых полей горячие источники. Антропогенное воздействие на грязевые поля невысоко, основное влияние приходится на окрестности стихийно обустроенных мест для купания в местах выхода горячих минерализованных вод. Эти места захламлены бытовым мусором, растительный покров вытоптан, а его состав сильно трансформировался за счет заноса и распространения рудеральных видов.

Памятник природы “Дагинские термальные источники” требует дифференцированного подхода к управлению. Режим особо охраняемой территории — памятника природы целесообразно оставить для грязевых полей вулкана и примыкающих к ним участков маршей. Термоминеральным источникам, учитывая их высокий туристический потенциал, антропогенную нагрузку и нарушенность растительного покрова, целесообразнее придать статус лечебно-оздоровительной местности.

Выводы:

— грязевые вулканы Сахалина ценны не только как редкие геологические объекты, но и как специфические местообитания, обуславливающие формирование уникальных природных комплексов;

— грязевые вулканы в полной мере оправдывают определение “естественной природной лаборатории”, поскольку дают возможность изучать свойства живых организмов и сообществ в условиях своеобразного экотопического стресса;

— группа Пугачевских грязевых вулканов ценна с природоохранной позиции как местообитание ряда узкоэндемичных видов растений, растительных сообществ с необычной флористической композицией, пространственной структурой и динамикой. Для этой территории целесообразно ужесточить меры охраны и контроля и изменить природоохранную категорию на более высокую;

— Южно-Сахалинский вулкан в силу особенностей морфологии и эруптивной активности, а также близкого расположения к областному центру обладает высоким туристическим потенциалом и является хорошим объектом для организации экскурсионной и учебной деятельности, направленной на ознакомление с геологической природой грязевого вулканизма;

— Дагинский грязевой вулкан и его окрестности перспективны для развития бальнеологической и рекреационной деятельности. Территория в его окрестностях требует зонирования и разделения на природоохранный и лечебно-оздоровительный кластеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Баркалов В.Ю., Кожевников А.Е., Смирнов А.А., Царенко Н.А. Особенности растительного покрова грязевого вулкана Пугачева (Южный Сахалин) // Комаровские чтения. 2006. Вып. 52. С. 127–147.
- Barkalov V.Yu., Kozhevnikov A.E., Smirnov, A.A., Tsarenko N.A. Osobennosti rastitelnogo pokrova gryazeвого vulkana Pugacheva (Yuzhnyy Sakhalin) [Features of vegetation cover at Pugachevo mud volcano (south Sakhalin)], Komarov's Lectures, 2006, V. 52, pp. 127–147 (in Russian).
- Государственный кадастр особо охраняемых природных территорий регионального значения Сахалинской области. Южно-Сахалинск, 2012. 170 с. URL: <http://les.admsakhalin.ru/?page=645> (дата обращения: 01.04.2014).
- Gosudarstvennyy kadastr osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriy regional'nogo znacheniya Sakhalinskoy oblasti [List of protected areas in Sakhalin region], Yuzhno-Sakhalinsk, 2012, 170 p. URL: <http://les.admsakhalin.ru/?page=645> (Accessed: 01.04.2014) (in Russian).
- Корзников К.А. Развитие сети особо охраняемых природных территорий юга острова Сахалин // Проблемы региональной экологии. 2013. № 3. С. 173–177.
- Korznikov K.A. Razvitie seti osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriy yuga ostrova Sakhalin [Network development of protected areas in the south of Sakhalin], Problemy regional'noy ekologii, 2013, no 3, pp. 173–177 (in Russian).
- Корзников К.А. Растительные сообщества Южно-Сахалинского грязевого вулкана // Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. 2014. № 1 (25). С. 56–65.
- Korznikov K.A. Rastitel'nye soobshchestva Yuzhno-Sakhalinskogo gryazeвого vulkana [Plant communities of the Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano], Tomsk State University Journal of Biology, 2014, no 1 (25), pp. 56–65 (in Russian).
- Красная книга Сахалинской Области: Растения / Отв. ред. В.М. Еремин. Южно-Сахалинск: Сахалинское книж. изд-во, 2005. 348 с.
- Krasnaya kniga Sakhalinskoy Oblasti: Rasteniya [Sakhalin region red data list of plants]. V.M. Yeregin (ed.), Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalinskoe knizhnoye izdatel'stvo, 2005, 348 p. (in Russian).
- Крестов П.В., Верхолат В.П. Редкие растительные сообщества Приморья и Приамурья. Владивосток: ДВО РАН, 2003. 200 с.
- Krestov P.V., Verkholat V.P. Redkie rastitel'nye soobshchestva Primor'ya i Priamur'ya [Rare Plant Communities of Amur Region], Vladivostok: DVO RAN, 2003 p. (in Russian).
- Лимонов А.Ф. Грязевые вулканы // Сетевой образовательный журн. 2004. Т. 8, № 1. С. 63–69.
- Limonov A.F. Gryazevyye vulkany [Mud volcanoes], Setevoy obrazovatel'nyy zhurnal, 2004, V. 8, no 1, pp. 63–69 (in Russian).
- Мельников О.А. Южно-Сахалинский газоводолитокластитовый (“грязевой”) вулкан — уникальный объект природы на Дальнем Востоке: Путеводитель экскурсии на вулкан для участников междунар. научн. симп. 24–28 сентября 2002 г. Южно-Сахалинск: Институт морской геологии геофизики Сахалинского НЦ ДВО РАН, 2002. 48 с.
- Mel'nikov O.A. Yuzhno-Sakhalinskiy gazovodolitoklastitovyy (“gryazevoy”) vulkan — unikal'nyy ob'ekt prirody na Dal'nem Vostoke: Putevoditel' ekskursii na vulkan dlya uchastnikov mezhdunar. nauchn. simp. 24–28 sentyabrya 2002 goda [The Yuzhno-Sakhalinsk mud volcano — unique geological object on Russian Far East: scientific symposium guidebook, 24–28 September 2002], Yuzhno-Sakhalinsk: IMGIG DVO RAN, 2002, 48 p. (in Russian).
- Мельников О.А., Ильев А.Я. О новых проявлениях грязевого вулканизма на Сахалине // Тихоокеан. геология. 1989. № 3. С. 42–49.
- Mel'nikov O.A., Il'yev A.Ya. O novykh proyavleniyakh gryazeвого vulkanizma na Sakhaline [New manifestations of mud volcanism in Sakhalin islands], Russian J. of Pacific Geology, 1989, no 3, pp. 42–49 (in Russian).
- Нешатаева В.Ю., Пестеров А.О., Кораблев А.П. Растительность термальных полей кальдеры вулкана Узон (восточная Камчатка) // Тр. Карельского НЦ РАН. 2013. № 2. С. 22–38.
- Neshataeva V.Yu., Pesterov A.O., Korablyov A.P. Rastitel'nost' termal'nykh poley kal'dery vulkana Uzon (vostochnaya Kamchatka) [Plant communities of the hot springs surroundings in the Uzon volcano caldera (Eastern Kamchatka)], Trudy karel'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2013, no 2, pp. 22–38 (in Russian).
- Попов М.Г. Эндемичные виды грязевого вулкана Магунтан (Южный Сахалин) // Ботанический журн. 1949. Т. 34, № 5. С. 486–492.
- Popov M.G. Endemichnyye vidy gryazeвого vulkana Maguntan (Yuzhnyy Sakhalin) [Endemic species of the Maguntan mud volcano (Southern Sakhalin)], Botanicheskiy Zhurnal, 1949, V. 34, no 5, pp. 486–492 (in Russian).
- Пробатова Н.С. Новые таксоны сем. Poaceae с Дальнего Востока СССР // Ботанический журн. 1984. Т. 69, № 2. С. 251–259.
- Probatova N.S. Novyye taksony sem. Poaceae s Dal'nego Vostoka SSSR [New taxa of the family Poaceae from USSR's Far East], Botanicheskiy Zhurnal, 1984, V. 69, no 2, pp. 251–259 (in Russian).
- Сирьк И.М. Грязевые вулканы // Геология СССР. Т. 33. Остров Сахалин. М.: Недра, 1970. С. 355–368.
- Siryk I.M. Gryazevyye vulkany (Mud volcanoes). Geologiya SSSR, V. 33, Ostrov Sakhalin [Geology of USSR. Sakhalin Island], Moscow: Nedra, 1970, pp. 355–368 (in Russian).
- Сорочинская А.В., Шакиров Р.Б., Обжиров А.И. Грязевые вулканы о. Сахалин (газогеохимия и минералогия) // Региональные проблемы. 2009. № 11. С. 39–44.
- Sorochinskaya A.V., Shakirov R.B., Obzhirov A.I. Gryazevyye vulkany o. Sakhalin (gazogeokhimiya i mineralogiya) [Mud volcanoes of Sakhalin island (gases and mineralogy)], Regional'nye problem, 2009, no 11, pp. 39–44 (in Russian).
- Таран А.А. Флора и растительность районов, примыкающих к трассе магистрального трубопровода на острове Сахалин. Южно-Сахалинск: Сахалинский ботанический сад ДВО РАН, 2003. 187 с.
- Taran A.A. Flora i rastitel'nost' rayonov, primykayushchikh k trasse magistral'nogo truboprovoda na ostrove Sakhalin [Vegetation cover of areas adjacent to the route of the main pipeline on Sakhalin Island], Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalinskiy botanicheskiy sad DVO RAN, 2003, 187 p. (in Russian).
- Холодов В.Н. О природе грязевых вулканов // Природа. 2002. № 11. С. 47–58.
- Kholodov V.N. O prirode gryazevykh vulkanov [Mud volcanoes], Priroda, 2002, no 11, pp. 47–58 (in Russian).

Boothroyd I.K.G. Ecological characteristics and management of geothermal systems of the Taupo Volcanic Zone New Zealand, *Geothermics*, 2009, V. 38, no 1, pp. 200–209.

Burns B.R., Ward J., Downs T.M. Trampling Impacts on Thermotolerant Vegetation of Geothermal Areas in New Zealand, *Environ. Management*, 2013, V. 52, no 6, pp. 1463–1473.

Grime J.P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory, *Amer. Naturalist*, 1977, V. 111, no 982, pp. 1169–1194.

Kopf A.J. Significance of mud volcanism, *Rev. Geophysics*, 2002, V. 40, no 2, pp. 1–52.

Krestov P.V., Ermakov N.B., Osipov S.V., Nakamura Yu. Classification and phytogeography of larch forests of north-east Asia, *Folia Geobotanica*, 2009, V. 44, no 4, pp. 323–363.

Niemann H., Lösekann T., de Beer D. et al. Novel microbial communities of the Haakon Mosby mud volcano and their role as a methane sink, *Nature*, 2006, V. 443, pp. 854–858.

Поступила в редакцию
10.04.2014

K.A. Korznikov

MUD VOLCANOES OF THE SAKHALIN ISLAND WITHIN THE REGIONAL SYSTEM OF NATURE PROTECTION AREAS

Mud volcanoes support specific habitats and ecosystems; therefore they are of particular interest for both geology and environmental sciences. Mud volcanoes of the Sakhalin Island are discussed in relation to nature protection areas management. All of them are regional nature protection areas and require the efficient use. Their nature protection function is combined with high tourist and recreational potential. The Maguntan, Maly Severny and Maly Yuzhny volcanoes of the Pugachev group have unique plant communities with local endemics, such as *Artemisia limosa*, *Deschampsia tzelevii*, *Gentianella sugawarae* and *Primula sachalinensis*. Thus the Pugachev group of volcanoes should be managed as a valuable nature reserve. The Yuzhno-Sakhalinsky volcano could become an attractive excursion and tourist site — it is located close to the regional centre, is permanently active and has no rare and protected species. The Darginsky mud volcano is promising for medical and health-improving use because its area is rich in thermal and mineral springs.

Key words: mud volcano, nature protection areas, environment management, the Sakhalin Island.

ГЕОГРАФИЯ МИРОВОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 911.3

А.М. Фаддеев¹

ФАКТОРЫ И ПРЕДПОСЫЛКИ РАЗМЕЩЕНИЯ ГАЗОТУРБИННЫХ И ПАРОГАЗОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РОССИИ

Представлены результаты исследования факторов и предпосылок размещения новых для электроэнергетики России типов генерирующих установок — газотурбинных и парогазовых (ГТУ и ПГУ). Определены технически обусловленные факторы их размещения. Проведен обзор их размещения в 1970–1980-х гг. Рассмотрены базовые объективные причины и дополнительные частные предпосылки активного строительства этих типов генерирующих установок в России в период с 2000 г. Продemonстрировано, что ввод в эксплуатацию ГТУ и ПГУ позволил приостановить процесс увеличения средней изношенности генерирующего оборудования в России. Определены различия в размещении ГТУ и ПГУ в 1970–1980-е гг. и в период с 2000 по 2014 г. Показано, что в настоящее время они размещаются не столько в регионах Крайнего Севера, как в советское время, а преимущественно в крупногородских агломерациях европейской части страны. Показано, что распространение новых типов генерирующих установок в энергодефицитных регионах до 2011 г. способствовало сокращению дальних перетоков электроэнергии, но с 2011 г. начали вступать в строй более крупные энергоблоки, расположенные преимущественно в энергоизбыточных регионах страны.

Ключевые слова: газотурбинные, парогазовые установки, электроэнергетика, генерация электроэнергии, факторы размещения.

Введение. В начале 2000-х гг. после десятилетнего периода застоя возобновилось развитие электроэнергетики России — сначала в рамках РАО «ЕЭС России», а затем и в условиях приватизированной отрасли. Одним из компонентов этого процесса стал ввод в эксплуатацию генерирующих мощностей, как для замещения устаревших фондов, так и для обеспечения электроснабжения новых потребителей.

Среди генерирующих установок особенно широкое распространение в течение последних 15 лет получили газотурбинные и парогазовые установки (ГТУ и ПГУ соответственно), которые по технико-экономическим показателям радикально отличаются от традиционных паротурбинных установок (ПТУ). Эти объекты ограниченно возводились в советское время, при этом не на всей территории страны. В 2000-е гг., напротив, строительство этих установок было заложено на значительной части территории страны.

Сейчас, в 2013–2015 гг., темп ввода в эксплуатацию генерирующих мощностей в теплоэнергетике достигает пика за постсоветский период. В дальнейшем ожидается спад объемов закладки новых энергоблоков из-за стабилизации электропотребления (повышения темпа роста электропотребления [Нигматулин, 2014] не ожидается вплоть до конца 2010-х гг.). В настоящее время отсутствуют рыночные стимулы к закладке новых энергоблоков общего пользования, на рынке мощности на-

блюдается профицит предложения над спросом. Можно заключить, что очередной этап строительства генерирующих мощностей подходит к завершению. В связи с этим представляет особый интерес изучение особенностей размещения новых типов генерирующих установок.

Постановка проблемы. Факторы и условия размещения традиционных видов генерирующих установок (АЭС, ГЭС, а также ТЭС, основанных на ПТУ) были изучены специалистами-энергетиками (самые известные из них Л.А. Мелентьев, Е.О. Штейнгауз, М.А. Виленский, В.А. Шелест, А.А. Макаров, В.А. Рыльский) достаточно давно — к 1960-м гг. для тепловых и гидравлических электростанций [Виленский, 1963; Мелентьев, Штейнгауз, 1963; Шелест, 1965], несколько позднее — для атомных [Рыльский, 1981; Энергетический..., 1983].

Так, согласно основополагающему труду Л.А. Мелентьева и Е.О. Штейнгауза, установлено, что теплоэлектроцентрали целесообразно размещать на территориях с высокой плотностью тепловых нагрузок [1963, с. 298], конденсационные электростанции — как в крупных ареалах с высокой плотностью электропотребления, так и у топливных баз (при этом действуют ограничения, связанные с возможностями водоснабжения) [там же, с. 297]. Места размещения гидроэлектростанций (ГЭС) привязаны к водотокам, однако их можно размещать на территориях с высоким расходом рек [там же, с. 301], а также в других регионах, если суще-

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

ствуется острая необходимость покрытия пиковых нагрузок [там же, с. 302].

Согласно данным многочисленных работ, АЭС целесообразно размещать в регионах с высокой плотностью электрической нагрузки, большим объемом электропотребления и дефицитом ископаемого топлива [Рыльский, 1985, с. 85].

Аналогичные выводы о факторах и условиях размещения упоминаются и в работах по экономической географии [Тревиш, 1975], как в приложении к СССР и России [Хрушев, 1986, с. 199–203], так и к зарубежным странам [Майергойз, 1969, с. 64, 67–68, 70, 74]. Кроме того, в 1980-е гг. факторы и условия размещения ГТУ и ПГУ вкратце упоминались в работах по экономике электроэнергетики [Комплексные..., 1988, с. 97–98, 101–102]. Однако размещение ГТУ и ПГУ рассматривалось только как одно из решений проблем энергетики в регионах с высокой пиковой электрической нагрузкой. Более того, эти выводы так и не были подтверждены реальным строительством в советское время. ГТУ получили ограниченное распространение на периферии СССР, а возведение ПГУ до 2000-х гг. ограничивалось только экспериментальными установками.

Однако при переходе к рыночной экономике существенно изменилось соотношение между ценами на энергетический уголь и природный газ, что привело к сокращению темпа ввода мощностей на угольных ТЭС до минимума и сделало актуальным возведение газомазутных энергоблоков. Таким образом, многие советские работы, которые в долгосрочной перспективе предполагали активное развитие угольной генерации вкупе с передачей электроэнергии по высоковольтным ЛЭП постоянного тока при ограниченном развитии газовой генерации [Виленский, 1963; Комплексные..., 1988; Макаров, Видгорчик, 1979], во многом потеряли свою актуальность. До сих пор нет публикаций, в которых были бы описаны закономерности размещения ТЭС, основанных на ГТУ и ПГУ.

Цель работы — определение факторов и предпосылок размещения ГТУ и ПГУ в России в период с 2000 г. до настоящего времени.

Материалы и методы исследований. Основные понятия, использованные в статье, — факторы и предпосылки размещения промышленных предприятий — приводятся по [Алисов, 1977]. Под факторами размещения производства понимают “технично-экономические особенности производств и отраслей промышленности, зависящие от специфики техники и технологии получения продукции, потребностей общества в ее конкретных видах, достижений науки” [там же, с. 9].

Согласно Н.В. Алисову, факторы представляют собой своего рода “вводные” для решения задачи размещения производства. Решение же этой задачи также зависит от географических предпосылок производства, которые определяются как “географи-

ческие особенности отдельных стран и районов, влияющие на... размещение отдельных производств и отраслей” [1977, с. 10].

Исследование базируется на двух методах — сравнительно-географическом и сравнительно-историческом. В качестве базовой концепции использовано представление об энергетических порогах, разработанное Г.М. Кржижановским и Л.А. Мелентьевым. Под энергетическими порогами понимают переломные периоды, связанные с качественными изменениями энергетической базы общества и соответствующим ростом энерговооруженности [Энергетический..., 1983, с. 17].

В качестве исходной статистической информации использованы данные о параметрах газовых и паровых турбин, введенных в эксплуатацию как в советское время, так и в постсоветский период. Информация взята из следующих источников: статистические формы 6-ТП “Технично-экономические показатели работы электростанций” по электростанциям и районным энергетическим управлениям СССР за период 1959–1990 гг., предоставленные архивом В.Н. Горлова; отчеты о функционировании электроэнергетики, опубликованные ЗАО “Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике” [Инвестиционные..., 2009] и ОАО “Системный оператор ЕЭС” [Отчет..., 2005–2014]; актуальные схемы и программы развития электроэнергетики РФ [Приказ..., 2013] и регионов; годовые отчеты генерирующих компаний.

В расчетах, касающихся периода после 2000 г., не учитывались агрегаты мощностью менее 10 МВт; агрегаты, установленные на мобильных электростанциях, детандер-генерирующих установках; установленные после демонтажа на других электростанциях, а также реконструированные после аварий. Учитывались агрегаты, планируемые к вводу в эксплуатацию в 2014–2018 гг., если по состоянию на июнь 2014 г. были известны поставщики турбин.

Для оценки влияния ввода ГТУ и ПГУ на перспективы развития передачи электроэнергии были использованы данные электробалансов субъектов Российской Федерации, публикуемые Федеральной службой государственной статистики. В качестве территориальных ячеек на уровне выше субъектов федерации взята сетка объединенных энергосистем (ОЭС), применяемая ОАО “Системный оператор ОЭС” [Отчет..., 2005–2014]. Границы между ОЭС обусловлены территориальной структурой электроэнергетики и часто совпадают с границами федеральных округов.

Результаты исследований и их обсуждение. *Технично-экономические особенности ГТУ и ПГУ как факторы их размещения.* Газотурбинная установка представляет собой турбогенератор, в котором лопатки турбины вращаются не паром, а непосредственно продуктами сгорания топлива. С одной стороны, продукты сгорания перед лопатками газовой турбины характеризуются огромной темпе-

ратурой по сравнению с паром в паровой турбине (600–1300 °С против 300 °С [Фортов, Попель, 2011, с. 72]), что требует применения высококачественной стали для изготовления деталей турбины. Кроме того, ГТУ, работающая в конденсационном режиме, отличается низким КПД (30–35%).

С другой стороны, давление газа перед турбиной (до 20 атм) гораздо ниже, чем пара в традиционной турбине (до 240 атм), что позволяет сократить толщину стенок. Это означает, что газовая турбина будет нагреваться или охлаждаться гораздо быстрее паровой, что позволит сократить периоды запуска и остановки [Трухний и др., 2003, с. 183]. Если для пуска паротурбинной установки необходимо несколько часов, то газотурбинная может выйти на необходимую частоту за несколько минут.

Парогазовая установка представляет собой комбинацию ГТУ и ПТУ. В этих установках остаточная теплота продуктов сгорания, прошедших через газовую турбину, используется для нагрева воды, которая приводит в действие паровую турбину. Благодаря утилизации тепла ПГУ характеризуются высоким КПД (55–60%), что совершенно недостижимо для паротурбинных установок, работающих в конденсационном режиме (35–40%) [Фортов, Попель, 2011, с. 70, 73].

На основании описанных особенностей можно сформулировать факторы размещения газотурбинных и парогазовых энергоблоков. Во-первых, это требования к использованию газового и жидкого топлива — использование твердого топлива на них возможно только при проведении дорогостоящей предварительной газификации сырья, вследствие чего число действующих в мире парогазовых установок с газификацией угля исчисляется единицами; во-вторых, способность к быстрому запуску и остановке (маневренность); в-третьих, низкий коэффициент полезного действия газотурбинных (но не парогазовых) установок.

Эксплуатация ГТУ и ПГУ в РСФСР. Первые опытно-промышленные газотурбинные и парогазовые установки на территории РСФСР были введены в эксплуатацию в начале 1960-х гг. на Каширской ГРЭС и в Ленинграде, еще раньше несколько газотурбинных установок было построено на электростанциях УССР. ГТУ и ПГУ на электростанциях РСФСР играли крайне небольшую роль — их мощность составляла не более 10 МВт.

Строительство установок более высокой мощности было развернуто в РСФСР в 1970-е гг. В этот период было возведено 2 газотурбинных энергоблока мощностью по 100 МВт на Краснодарской ГРЭС и 3 аналогичных блока на ГРЭС-3 Мосэнерго. Впоследствии газотурбинные установки мощностью 100 и 150 МВт были установлены на Ивановской ГРЭС и ГРЭС-3 Мосэнерго соответственно. Однако планы 1980-х гг. по массовому вводу в эксплуатацию ГТУ на ГРЭС в европейской части страны не были реализованы [Электроэнергетика..., 1997, с. 183].

ПГУ в советской электроэнергетике получили еще меньшее распространение, чем газотурбинные блоки большой мощности. До распада СССР они были построены лишь на Невинномысской и Молдавской ГРЭС.

Гораздо более широкое распространение в советское время получили газотурбинные установки мощностью 2,5–35 МВт. Благодаря маневренности их можно было эффективно использовать в энергоузлах, изолированных от объединенных энергосистем. Кроме того, уже тогда газовые турбины существенно опережали по мощности дизельные электрогенераторы, ранее применявшиеся в изолированных энергоузлах. Вследствие этого газотурбинные установки стали использовать как основной источник выработки электроэнергии в изолированных энергоузлах, несмотря на их низкий КПД и высокую себестоимость электроэнергии.

В 1970–1990 гг. множество газотурбинных установок было возведено в регионах Севера и Крайнего Севера: в Коми АССР, Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком АО, Якутской АССР, Хабаровском крае, Сахалинской области. Газотурбинные электростанции возводились не только в стационарном исполнении, но и в виде передвижных энерговагонов и плавучих электростанций. В целом газотурбинные установки заняли определенную нишу между менее мощными дизельными электрогенераторами и более мощными паротурбинными установками, которые возводились в крупнейших изолированных энергоузлах (Норильск, Николаевск-на-Амуре).

Строительство ГТУ и ПГУ после 2000 г. На рис. 1 показано, насколько возрос объем ввода генерирующих мощностей в российской электроэнергетике с начала 2000-х гг. При этом существенную долю в структуре этих вводов, особенно в последние годы, занимают газотурбинные и парогазовые установки (45% в 2000–2013 гг., 63% в 2008–2013 гг.). Суммарная мощность этих энергоблоков, введенных в 2000–2014 гг. и предполагаемых к вводу в 2014–2018 гг., составляет почти 32 ГВт, это более 20% от суммарной мощности ТЭС России в 2000 г. Именно массовый ввод в эксплуатацию этих типов генерирующих установок привел к приостановке роста уровня износа турбинного оборудования электростанций страны. По оценкам Министерства энергетики РФ (Минэнерго), в 2011–2015 гг. средний возраст оборудования электростанций страны снизится с 33,3 до 32,6 года [Экспресс-доклад..., 2012–2013, с. 10]. Сохранение прежних темпов износа и выбытия генерирующего оборудования грозило привести к кризису в теплоэнергетике [Бабурин, Леснова, 2007, с. 240].

2000 г. — знаковый рубеж по двум причинам: во-первых, в 2000 г. была введена в эксплуатацию первая в России крупная парогазовая установка, расположенная на Северо-Западной ТЭЦ в Санкт-Петербурге; во-вторых, тогда же началась разра-

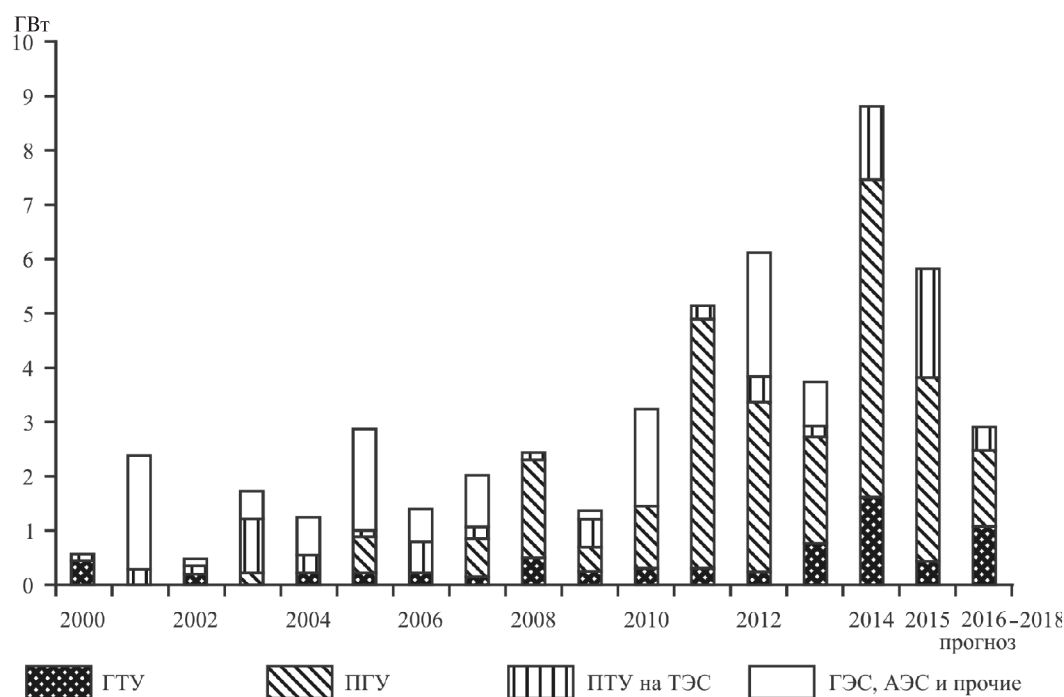


Рис. 1. Структура электрогенерирующих мощностей, введенных в эксплуатацию и строящихся на территории России по типам установок; составлена по данным [Инвестиционные..., 2009; Информационно-аналитический..., 2006–2012; Нигматулин, 2014]; прогнозная оценка на 2014–2018 гг. дана только по тепловой энергетике

ботка реформы отрасли, реализация которой способствовала массовому строительству ГТУ и ПГУ [Инвестиционные..., 2009, с. 170].

После распада СССР Россия располагала слабым производственным потенциалом в сфере выпуска газовых турбин. Так, к 1991 г. только Ленинградский металлический завод (ЛМЗ) мог выпускать газовые турбины мощностью 150 МВт. В последующие годы потребность электроэнергетики в газовых турбинах покрывалась за счет различных источников. Во-первых, несколькими заводами по выпуску авиационных двигателей было освоено производство турбин мощностью до 50 МВт. Во-вторых, ОАО «Рыбинские моторы» и ЛМЗ приобрели лицензии на производство газовых турбин мощностью 110 и 160 МВт у украинского предприятия «Зоря-Машпроект» и компании «Siemens» соответственно. Более того, ЛМЗ организовал совместное с «Siemens» производство газовых турбин. В-третьих, многие российские генерирующие компании пошли по пути прямой покупки газовых турбин у ведущих мировых производителей, в наибольшей мере это касается газовых турбин мощностью 160–390 МВт, которые в России не производятся даже по лицензии. Отставание России в разработке собственных газовых турбин высокой мощности не преодолено до сих пор. В табл. 1 показаны различия между структурой введенных в эксплуатацию газовых и паровых турбин по производителям. Таким образом, сокращение препятствий для импорта технологий и готовой продукции было необходимым условием для массового строительства ГТУ и ПГУ в России.

Таблица 1

Структура установленных в 2000–2014 гг. и устанавливаемых в 2014–2018 гг. газовых и паровых турбин по производителям, в ГВт

Производители	Газовые	Паровые
Российские по иностранным лицензиям	6,228	
Прочие российские	1,262	10,2319
Украинские	0,415	0,33
Из стран дальнего зарубежья	16,07	4,879

«Пики» ввода газотурбинных и парогазовых энергоблоков (рис. 1) происходят с периодичностью 3 года: в 2005, 2008, 2011 и 2014 гг. Первые два пика обусловлены частными причинами. Пик 2005 г. связан с вводом в эксплуатацию энергоблока мощностью 450 МВт на Калининградской ТЭЦ-2, пик 2008 г. — с вводом новых агрегатов на электростанциях Москвы и Московской области, решение о строительстве которых принято в 2005 г. после каскадной аварии, произошедшей в мае того же года (дефицит собственных генерирующих мощностей был одной из причин высокой нагрузки на электросетевое оборудование подстанций, что и привело к этой аварии).

Вторые два пика отражают повсеместный ввод газотурбинных и парогазовых установок во многих регионах страны, что обусловлено структурными изменениями в отрасли. Продажа контрольных пакетов акций генерирующих компаний, выделенных из РАО «ЕЭС России», частным инвесторам проводилась в 2007–2009 гг. Вскоре было заложено

множество энергоблоков, многие из которых запущены в 2011 г. После ввода этой серии энергоблоков практически сразу началось строительство новых мощностей, которые вводились в эксплуатацию в 2014 г. При этом если в 2011 г. лишь 11% новых газотурбинных и парогазовых установок (по мощности) введено на новых электростанциях, основанных после 2000 г., то в 2014 г. на этот тип промышленных площадок пришлось 50% новых мощностей ГТУ и ПГУ. Таким образом, реструктуризация электроэнергетики — один из факторов изменения территориальной структуры отрасли.

В ближайшие годы (2016–2018) ожидается спад темпа ввода газотурбинных и парогазовых энергоблоков, что прогнозирует и Минэнерго [Экспресс-доклад..., 2012–2013, с. 50]. Причина заключается в том, что большинство ГТУ и ПГУ строится на условиях договоров по поставке мощности (ДПМ). В 2000–2018 гг. на этих условиях было и будет введено 66% мощностей газотурбинных и парогазовых установок, альтернативные схемы инвестирования применяются генерирующими компаниями достаточно неохотно. Последние обязательства по ДПМ должны быть выполнены генерирующими компаниями к концу 2017 г., а новый инструмент, который стимулировал бы генерирующие компании к обновлению мощностей, до сих пор не разработан.

Территориальные закономерности и предпосылки размещения ГТУ и ПГУ. При сравнении объема ввода газотурбинных и парогазовых энергоблоков с вводом паротурбинных обнаруживается четкая дифференциация между западными и восточными регионами страны. В Объединенной энергосистеме

(ОЭС) Центра, средней Волги, Северо-Запада, Юга и Урала газотурбинные и парогазовые установки составляют более 80% мощностей на ТЭС, вводимых в период 2000–2018 гг. В ОЭС Сибири эта доля, напротив, составляет 22%, в ОЭС Востока — 31%. Низкий объем ввода газотурбинных и парогазовых установок к востоку от Тюмени виден на рис. 2. Это связано с тем, что основной вид топлива к востоку от Тюмени представлен углем. Однако в последние годы активно газифицируются южные регионы Дальнего Востока. Массовый ввод ГТУ и ПГУ, в том числе в традиционно “угольных” регионах, свидетельствует о том, что пока Россия не приблизилась к следующему “энергетическому порогу” [Энергетический..., 1983, с. 18], который предполагает радикальное изменение структуры топливного баланса с сокращением доли газа и нефти.

При сравнении территориальной структуры действующих электроэнергетических мощностей и места расположения новых газотурбинных и парогазовых установок выделяются два типа регионов, в которых наблюдается опережающий темп строительства этих установок.

Во-первых, это крупногородские агломерации (рис. 3). Если на территории 13 городов с численностью населения 1–5 млн человек действует 5% электростанций общего пользования (включая электростанции, расположенные не далее чем в 10 км от городской черты), то на эти же города приходится 12% мощности новых газотурбинных и парогазовых установок. Схожая ситуация характерна для Москвы, а наиболее яркий пример — агломерация Санкт-Петербурга, в которой мощность электростанций общего пользования к концу

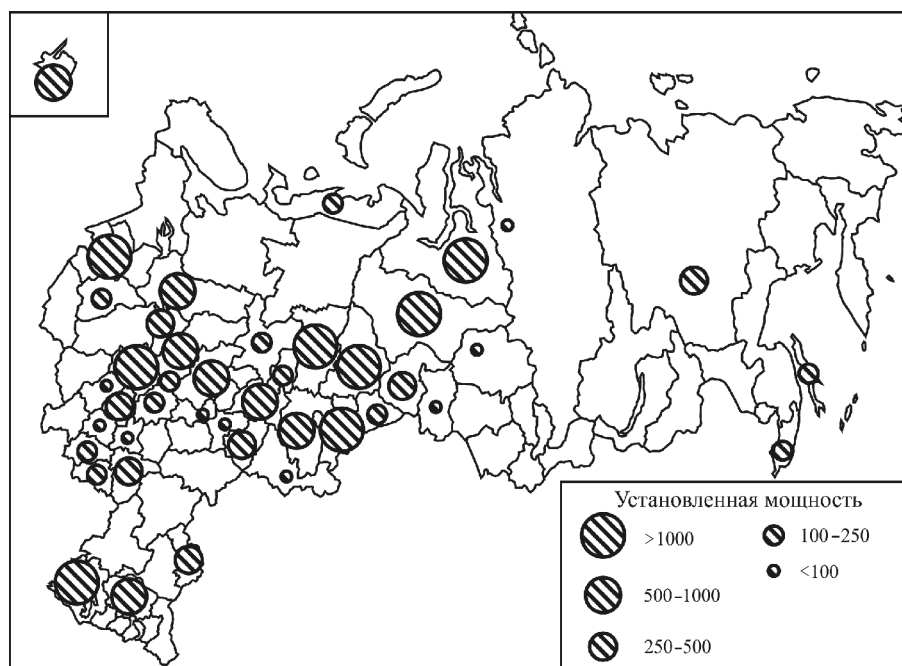


Рис. 2. Мощность ГТУ и ПГУ, введенных в эксплуатацию в 2000–2014 гг. и предполагаемых к вводу в 2014–2018 гг. в субъектах Российской Федерации. Составлено по данным [Инвестиционные..., 2009; Информационно-аналитический..., 2006–2012; Нигматулин, 2014]. Границы показаны по состоянию на 01.01.2014

1990-х гг. составляла 2,6 ГВт, а мощность новых и строящихся газотурбинных и парогазовых энергоблоков — 3,5 ГВт.

Распространение ПГУ и ГТУ в крупных городах связано с проблемой покрытия пиковых нагрузок. С 1990 г. доля промышленности в структуре электропотребления практически во всех регионах России замещалась коммунально-бытовым сектором и сферой услуг. Так, доля промышленности, строительства и транспорта в структуре полезного электропотребления на территории ОЭС Сибири и Востока к 2012 г. сократилась с 85 до 78%, а в остальных ОЭС с 77 до 60%. Наиболее активные сдвиги в структуре электропотребления отмечены в крупных городах.

Электрическая нагрузка со стороны сферы услуг и населения изменяется в течение суток сильнее, чем нагрузка со стороны промышленности. В связи с этим в городских агломерациях стала возрастать разность между пиковой и базовой нагрузкой. Этот процесс повысил актуальность развития маневренных генерирующих мощностей, дефицит которых отмечался еще в советское время [Энергетический..., 1983, с. 52].

Второй регион активного ввода газотурбинных и парогазовых установок — Крайний Север и приравненные к нему территории (14% в структуре мощностей против 17% в структуре вводов). Большое число газотурбинных энергоблоков мощностью до 45 МВт построено в нефтедобывающих регионах (Ханты-Мансийский, Ямало-Ненецкий, Ненецкий АО, Сахалинская область) в период с 2004 г. Возведение ГТУ на этих территориях обусловлено сырьевым и институциональным факторами. Эти электростанции используют в качестве топлива попутный нефтяной газ, а выработанную ими электроэнергию применяют для добычи нефти. Возведению таких установок в этих регионах способствовало подписанное в 2009 г. Постановление Правительства РФ, которое устанавливало штрафы для нефтяных компаний, сжигающих на факелах более 5% от объема добытого попутного нефтяного газа.

Влияние строительства ГТУ и ПГУ на динамику перетоков электроэнергии. Для оценки этого влияния составлена регрессионная модель, в которой зависимая переменная — объем перетоков электроэнергии между региональными энергосистемами в определенном году (с 1991 до 2012 г.). Предполагалось, что временной ход межрегиональных перетоков зависит от динамики ВВП и темпа ввода генерирующих мощностей:

$$F_t = \alpha P_t + \beta N_t + \varepsilon_t,$$

где F_t — объем межрегиональных перетоков электроэнергии в год t по отношению к уровню 1991 г., по данным [Экспресс-доклад..., 2012–2013], P_t — ВВП в сопоставимых ценах в год t по отношению к уровню 1991 г., N_t — установленная мощность электростанций в год t по отношению к уровню

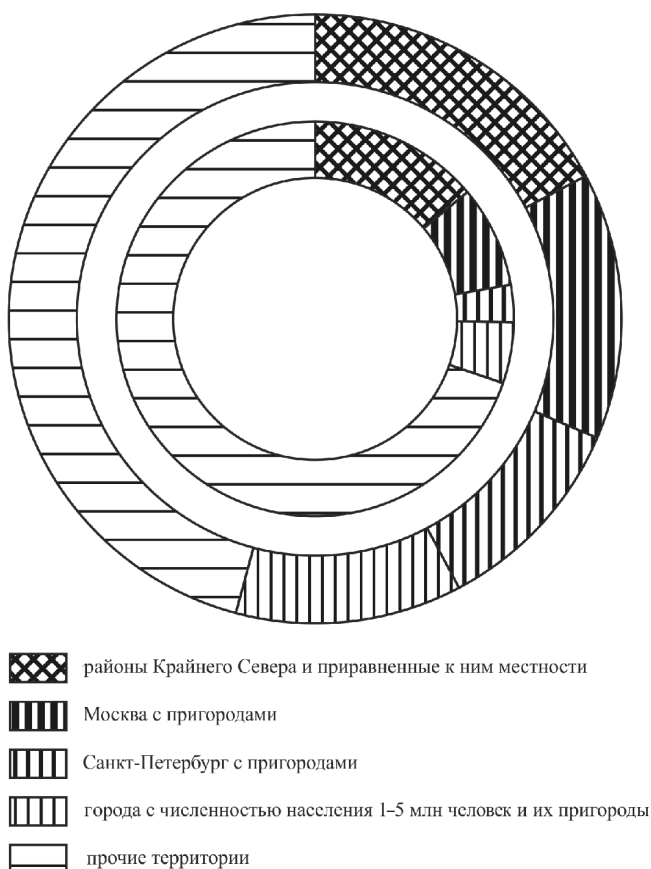


Рис. 3. Территориальное распределение мощностей ГТУ и ПГУ, введенных в эксплуатацию 2000–2014 гг. и предполагаемых к вводу в 2014–2018 гг. на территории России (внешнее кольцо) по сравнению с территориальным распределением установленной мощности электростанций общего пользования на конец 2012 г. (внутреннее кольцо). Составлено по данным [Инвестиционные..., 2009; Информационно-аналитический..., 2006–2012; Нигматулин, 2014]

1991 г., α и β — искомые значения коэффициентов при независимых переменных, ε_t — остаток в год t .

Построенная модель достаточно неплохо описывает реальную динамику межрегиональных перетоков электроэнергии: коэффициент детерминации равен 0,62. В этой модели коэффициент β принял отрицательное значение (–3,8). Это означает, что чем больше вводилось генерирующих мощностей, тем слабее возрастал объем дальних перетоков электроэнергии. Подобная закономерность возможна в том случае, если новые мощности вводились в строй преимущественно в энергодефицитных регионах.

Действительно, как видно из данных табл. 2, с 2005 по 2011 г. новые ГТУ и ПГУ вводились в эксплуатацию преимущественно в энергодефицитных регионах. Уже с 2007 г. объем межрегиональных перетоков электроэнергии начал сокращаться. С 2011 г. тенденция несколько изменилась — начали вступать в строй более крупные энергоблоки, расположенные, скорее, в энергоизбыточных регионах. Соответственно в будущем объем дальних перетоков электроэнергии несколько возрастет, хотя и не достигнет уровня 1991 г. Такой низкий темп

Таблица 2

Структура установленных электрогенерирующих мощностей в 2000, 2005 и 2011 г. и структура ввода в эксплуатацию ГТУ и ПГУ (2000–2018 гг.) по типам региональных энергосистем

Региональные энергосистемы	Ввод в эксплуатацию ГТУ и ПГУ			Установленная мощность		
	2000–2004	2005–2011	2011–2018	2000	2005	2011
Дефицитные	22,1%	68,7%	47,8%	18,9%	25,5%	29,8%
Избыточные	54,2%	25,2%	36,6%	40,9%	41,5%	50,2%
Самообеспеченные*	23,7%	6,1%	15,6%	40,2%	33,0%	20,0%

* На территории энергосистемы выработано от 90 до 110% объема потребленной электроэнергии.

увеличения перетоков электроэнергии ставит вопрос о целесообразности реализации амбициозных инвестиционных программ сетевых компаний [Электроэнергетика..., 2014, с. 18].

Выводы:

— основные технически обусловленные факторы размещения газотурбинных и парогазовых установок — их маневренность, а также необходимость использовать газовое и жидкое топливо;

— с 1970-х гг. ГТУ малой мощности (до 35 МВт) благодаря своей маневренности стали широко использовать в изолированных от ЕЭС энергоузлах, расположенных в районах Крайнего Севера, где они заняли промежуточную нишу между менее мощными дизельными электрогенераторами и более мощными ПТУ;

— к основным причинам массового строительства ГТУ и ПГУ после 2000 г. относятся доступность природного газа на обширной территории как в экономическом, так и в техническом плане, высокая изношенность генерирующего оборудования, а также замещение доли промышленности в структуре электропотребления сферой услуг и коммунально-бытовым сектором. Кроме того, строительству газотурбинных и парогазовых энергоблоков способствовало сокращение барьеров для импорта газовых турбин высокой мощности и

технологий их производства, а также создание гарантий компенсации инвестиций, вкладываемых генерирующими компаниями, с помощью договоров по поставке мощности. Несмотря на то что российские компании до сих пор отстают от мировых лидеров в этом секторе энергетического машиностроения, массовый ввод в эксплуатацию ГТУ и ПГУ привел к приостановке роста уровня износа турбинного оборудования электростанций страны;

— строительство газотурбинных и парогазовых установок, в том числе на новых промышленных площадках, приводит к изменениям в территориальной структуре электроэнергетики России. Новые ГТУ и ПГУ размещаются преимущественно в крупногородских агломерациях в европейской части страны и на Урале. Кроме того, ГТУ вводятся в северных нефтедобывающих регионах;

— до 2011 г. газотурбинные и парогазовые установки вводились в эксплуатацию преимущественно в энергодефицитных регионах. В связи с этим чем больше вводилось генерирующих мощностей, тем слабее возрастал объем дальних перетоков электроэнергии. Низкий темп роста перетоков электроэнергии ставит вопрос о целесообразности реализации амбициозных инвестиционных программ электросетевых компаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Алисов Н.В. О соотношении и взаимосвязях факторов, условий и предпосылок размещения промышленности как категорий разных систем // Вопр. географии промышленности СССР и зарубежных стран. М.: Моск. филиал Географического об-ва СССР, 1977. С. 9–14.

Alisov N.V. O sootnoshenii i vzaimosvyazyah faktorov, usloviy i predposylok razmeshcheniya promyshlennosti kak kategoriy raznyh sistem [On the subject of relation and interdependence of such terms as factors, conditions and preconditions of distribution of industrial facilities], Voпр. geografii promyshlennosti SSSR i zarubezhnyh stran, Moskovskiy filial geograficheskogo obshchestva SSSR, 1977, pp. 9–14 (in Russian).

Бабури В.Л., Леснова О.В. Циклы в электроэнергетике // Пространство циклов: Мир — Россия — регион. М.: URSS, 2007. С. 231–240.

Baburin V.L., Lesnova O. Tsikly v elektroenergetike [Cyclicity in the electric power industry], Prostranstvo tsiklov: Mir — Rossiya — region, Moscow, URSS, 2007, pp. 231–240 (in Russian).

Виленский М.А. Электрификация СССР и размещение производительных сил. М.: Соцэкгиз, 1963. 247 с.

Vilenskiy M.A. Elektrifikatsiia SSSR i razmeshchenie proizvoditelnyh sil [Electrification of the USSR and distribution of industrial facilities], Moscow, Sotsekgiz, 1963, 247 p. (in Russian).

Инвестиционные стратегии крупного бизнеса и экономика регионов / Под ред. О.В. Кузнецовой. 2-е изд. М.: Книж. дом “ЛИБРОКОМ”, 2009. 440 с.

Investitionnye strategii krupnogo biznesa i ekonomika regionov [Investment strategies of big business and economics of regions], ed. by O.V. Kuznetsova, 2nd ed., Moscow, Knizhnyy dom “LIBROKOM”, 2009, 440 p. (in Russian).

Информационно-аналитический доклад: Функционирование и развитие электроэнергетики Российской Федерации. М.: Агентство по прогнозированию балансов в электроэнергетике, 2006–2012.

Informatsionno-analiticheskiy doklad: Funktsionirovaniye i razvitiye elektroenergetiki Rossiiskoi Federatsii [Operation and development of the electric power industry in Russian Federation: analytical report], Agentstvo po prognozirovaniyu balansov v elektroenergetike, Moscow, 2006–2012 (in Russian).

Комплексные проблемы развития энергетики СССР / Под ред. А.А. Макарова, А.А. Папина. Новосибирск: Наука, 1988. 288 с.

Kompleksnyye problemy razvitiya energetiki SSSR [Complex problems of the development of the electric power industry of the USSR], ed. by A.A. Makarov, A.A. Papin, Novosibirsk, Nauka, 1988, 288 p. (in Russian).

Майергойз И.М. География энергетики социалистических стран Восточной Европы. М., 1969. 112 с.

Mayergoys I.M. Geografiya energetiki sotsialisticheskikh stran Vostochnoy Evropy [Geography of the energy industries in the Eastern Europe socialist countries], Moscow, 1969, 112 p. (in Russian).

Макаров А.А., Вигдорчик А.Г. Топливо-энергетический комплекс: методы исследования оптимальных направлений развития. М.: Наука, 1979. 279 с.

Makarov A.A., Vigdorichik A.G. Toplivno-energeticheskiy kompleks: metody issledovaniia optimalnykh napravleniy razvitiia [Research methods of optimal development directions of the energy industries], Moscow, Nauka, 1979, 279 p. (in Russian).

Мелентьев Л.А., Штейнгауз Е.О. Экономика энергетики СССР. М.; Л.: Гос. энергетическое изд-во, 1963. 432 с.

Melentyev L.A., Shteyngauz E.O. Ekonomika energetiki SSSR [Economics of the energy industries of the USSR], Gos. energeticheskoe izd-vo, Moscow–Leningrad, 1963, 432 p. (in Russian).

Нигматулин Б.И. Замечания к Схеме и программе развития ЕЭС России в 2013–2019 гг. Ч. 1 // Энергорынок. 2014. № 2. С. 34–41.

Nigmatulin B.I. Zamechaniya k Skheme i programme razvitiia EES Rossii v 2013–2019 gg. Ch. 1 [Remarks on the Scheme and program of the development of the Russian Unified power system in 2013–2019. Part 1], Energorynok, 2014, V. 2, pp. 34–41 (in Russian).

Отчет о функционировании ЕЭС России. [Эл. ресурс] ОАО “Системный оператор ЕЭС”. 2005–2014. URL: http://so-ops.ru/index.php?id=tech_disc2014up (дата обращения: 22.06.2014).

Otchyot o funktsionirovanii EES Rossii [Report of the operation of the Russian Unified power system] ОАО “Sistemnyy operator EES”, 2005–2014. URL: http://so-ops.ru/index.php?id=tech_disc2014up (Accessed: 22.06.2014) (in Russian).

Приказ Минэнерго России от 19.06.2013 № 309 “Об утверждении схемы и программы развития Единой энергетической системы России на 2013–2019 годы”. [Эл. ресурс]. Министерство энергетики РФ. 2013. URL: http://www.minenergo.gov.ru/documents/fold13/index.php?ELEMENT_ID=15555 (дата обращения: 22.06.2014).

Prikaz Minenergo Rossii ot 19.06.2013 No 309 “Ob utverzhenii skhemy i programmy razvitiya Edinoi energeticheskoi sistemy Rossii na 2013–2019 gody” [Ministry of Energy Act No 309 (June, 19, 2013) “Scheme and program of the development of the Russian Unified power system in 2013–2019”], Russian Federation Ministry of Energy, 2013.

URL: http://www.minenergo.gov.ru/documents/fold13/index.php?ELEMENT_ID=15555 (Accessed: 22.06.2014) (in Russian).

Рыльский В.А. Региональные проблемы развития энергетики и электрификации СССР. М.: Экономика, 1981. 168 с.

Rylskiy V.A. Regionalnye problemy razvitiya energetiki i elektrifikatsii SSSR [Regional problems of development of the energy industries and the electrification of the USSR], Moscow, Ekonomika, 1981, 168 p. (in Russian).

Трейвиш А.И. Географические проблемы развития атомной энергетики // Проблемы географии промышленности. М.: Московский филиал Географического общества СССР, 1975. С. 144–147.

Treyvish A.I. Geograficheskie problemy razvitiya atomnoy energetiki [Geographical problems of the development of the nuclear power], Problemy geografii promyshlennosti, Moscow, Moskovskiy filial Geograficheskogo obshchestva SSSR, 1975, pp. 144–147 (in Russian).

Трухний А.Д., Макаров А.А., Клименко В.В. Основы современной энергетики. Ч. 1. Современная теплоэнергетика. 2-е изд. М.: Изд-во МЭИ, 2003. 376 с.

Trukhniy A.D., Makarov A.A., Klimenko V.V. Osnovy sovremennoy teploenergetiki. Ch. 1. Sovremennaya teploenergetika, 2-e izd, [Basics of modern energy industry. V. 1. Modern heat power industry], 2nd edition, Moscow, Izd-vo MEI, 2003, 376 p. (in Russian).

Фортвов В.Е., Попель О.С. Энергетика в современном мире: научное издание. Долгопрудный: Изд. дом “Интеллект”, 2011. 168 с.

Fortov V.E., Popel O.S. Energetika v sovremennom mire: nauchnoe izdanie [Energy industries in the modern world: scientific issue], Dolgoprudny, Izd. dom “Intellect”, 2011, 168 p. (in Russian).

Хрущев А.Т. География промышленности СССР. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Мысль, 1986. 416 с.

Hrushchiov A.T. Geografiya promyshlennosti SSSR [Industrial geography of the USSR], 3rd ed., Moscow, Mysl, 1986, 416 p. (in Russian).

Шелест В.А. Экономика размещения электроэнергетики СССР. М.: Наука, 1965. 268 с.

Shelest V.A. Ekonomika razmeshcheniya elektroenergetiki SSSR [Economy of distribution of the electric power industry of the USSR], Moscow, Nauka, 1965, 268 p.

Экспресс-доклад “Анализ итогов деятельности электроэнергетики”. [Электронный ресурс]. Министерство энергетики РФ. 2012–2013. URL: http://www.minenergo.gov.ru/press/doklady/?PAGEN_1=2 (дата обращения: 22.06.2014).

Ekspres-doklad “Analiz itogov deiatelnosti elektroenergetiki” [Express report “Results of the operation of the electric power industry in Russian”], Ministerstvo energetiki RF, 2012–2013. URL: http://www.minenergo.gov.ru/press/doklady/?PAGEN_1=2 (Accessed: 22.06.2014).

Электробаланс субъектов РФ. Федеральная служба государственной статистики РФ. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/el-balans.xls (дата обращения: 22.06.2014).

Elektrobalans subyektov RF [Electric power balance of Russian regions], Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki Rossii. URL: http://www.gks.ru/free_doc/new_site/business/prom/el-balans.xls (Accessed: 22.06.2014) (in Russian).

Электроэнергетика России: история и перспективы развития / Под ред. А.Ф. Дьякова. М.: АО “Информ-энерго”, 1997. 568 с.

Elektroenergetika Rossii: istoriya i perspektivy razvitiya [The electric power industry of Russia: history and prospect].

Ed. by A.F. Dyakov, Moscow, Informenergo, 1997, 568 p. (in Russian).

Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития. М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2014. 45 с.

Elektroenergetika Rossii: problemy vybora modeli razvitiya [The electric power industry of Russia: a problematic

choice of development model], Moscow, Izd. dom Vyshei shkoly ekonomiki, 2014, 45 p. (in Russian).

Энергетический комплекс СССР / Под ред. Л.А. Мелентьева, А.А. Макарова. М.: Экономика, 1983. 264 с.

Energeticheskiy kompleks SSSR [Energy complex of the USSR]. Ed. by L.A. Melentev, A.A. Makarov, Moscow, Ekonomika, 1983, 264 p. (in Russian).

Поступила в редакцию
30.06.2014

A.M. Faddeev

DRIVERS AND FACTORS OF SITING GAS TURBINE AND COMBINED-CYCLE POWER PLANTS IN RUSSIA

The paper discusses the results of the analysis of factors and drivers of siting gas turbine and combined-cycle power plants which are new for the electricity production in Russia. Technical factors governing their location are identified and a review of their siting during 1970–1980-ies is presented. Basic causes and additional drivers contributing to the intensification of construction of such power generating facilities since 2000 are described. The start-up of gas turbine and combined-cycle power plants operation has resulted in slowing the increase of the generating equipment wear degree in Russia. The comparison of gas turbine and combined-cycle power plants siting in 1970–1980-ies and since 2000 showed that at present they are mainly located in large urban agglomerations of the European part of Russia, while in the Soviet period their principal area was in the Extreme North regions. Before 2011 the construction of new types of power generating facilities in energy-deficient regions led to the reduction of long-range power flows; since 2011 larger generating units are put into operation, mainly in the energy-proficient regions of this country.

Key words: gas turbine power plant, combined-cycle power plant, electric power industry, generation of electricity, factors of siting.

УДК 332.132

Р.В. Гончаров¹

ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЕДУЩИХ КОМПАНИЙ МИРОВОГО НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Статья посвящена изучению географии деятельности ведущих нефтегазовых корпораций. На пространственную стратегию развития любой компании изучаемой отрасли существенно влияет комплекс факторов (основной из которых — ее имущественный статус). В соответствии с этими факторами все нефтегазовые фирмы можно разделить на несколько основных типов, каждый из которых характеризуется определенной моделью размещения производственных активов. На основе собранных автором статистических и аналитических материалов подробно описаны основные зоны деятельности ведущих нефтегазовых корпораций. Особое внимание уделено изучению особенностей размещения активов крупнейших западных фирм, а также анализу механизмов взаимодействия компаний различных типов.

Ключевые слова: география нефтегазового комплекса, корпоративная география, нефтяные и газовые корпорации, зоны деятельности компаний.

Введение. Нефтегазовый комплекс играет важнейшую роль в мировой экономике. Нефть и природный газ — основные энергоресурсы на планете, доступ к ним служит гарантией энергетической безопасности, а следовательно, и благополучного развития государств. Состояние нефтегазового комплекса — важнейший фактор устойчивости современного мира. В последние несколько десятилетий в связи с процессом транснационализации межкорпоративные связи стали играть ведущую роль как в мировой экономике, так и в отдельных отраслях, в том числе в нефтегазовой промышленности. В связи с этим в отрасли сложилась определенная структура территориальной организации производственной деятельности, анализу географии которой и посвящена статья.

Постановка проблемы. Цель работы — выявление географических особенностей деятельности ведущих компаний мирового нефтегазового комплекса.

Как правило, в учебной и специальной литературе описание и анализ нефтегазового комплекса осуществляется на межстрановом уровне. Однако в связи с новыми экономическими и геополитическими тенденциями (в том числе процессами транснационализации и глобализации) актуален корпоративный подход к изучению этой отрасли, в соответствии с которым можно отследить систему межкорпоративных связей и отношений, незаметных на межстрановом уровне. В современной социально-экономической географии эта парадигма все чаще получает название “корпоративной географии” [Гречко, 2008]. Схожее направление у западных географов получило широкое распространение несколько десятилетий назад [Walker, 1989;

Yeung, 2000]. Корпоративная география в их интерпретации часто рассматривается как набор теоретических концепций, описывающих особенности и поведение абстрактной компании в экономической системе.

Материалы и методы исследования. Для исследований применялись методы сопоставительного анализа, аналитический, статистический, описательный и картографический.

Изучению нефтегазовой промышленности мира посвящено множество работ российских [Брагинский, 2006; Добронравин, 2008; Олейнов, 2008] и зарубежных ученых.

В качестве источников первичной статистической и пространственной информации использованы годовые отчеты изучаемых компаний и специализированные корпоративные рейтинги (например, рейтинг Petrostrategies [Petrostrategieis, 2014]), а также материалы ведущих аналитических агентств (например, отчеты “U.S. Energy Information Administration”²). На их основе создана и проанализирована база данных по основным активам ведущих нефтегазовых корпораций, а также построена картосхема, иллюстрирующая основные зоны деятельности изучаемых компаний.

Результаты исследований и их обсуждение. Классификация нефтегазовых компаний. Существуют различные классификации компаний, входящих в состав нефтегазового комплекса. Рассмотрим некоторые из них. По имущественному статусу все компании можно разделить на государственные, частные, компании со смешанным типом собственности (основная доля акций которых принадлежит государству).

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, аспирант; e-mail: rus.goncharov@gmail.com

² «U.S. Energy Information Administration» (EIA) и «International Energy Agency» (IEA) — основные источники открытых статистических и аналитических данных по всем отраслям мирового топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Именно на их материалах базируются многие научные и прикладные исследования в этой области.

Использована также классификация нефтегазовых корпораций по масштабам территориального охвата деятельности, т.е. по географии активов той или иной компании². Пространственный масштаб деятельности напрямую определяет значительную часть других параметров фирмы, в первую очередь производственных (объем добычи, переработки) и финансовых показателей (прибыль, рыночная стоимость).

По этому параметру можно выделить три основных типа компаний: глобальные — обладают самой широкой географией, их активы расположены по всему миру; региональные — география их активов заметно уже, как правило, их деятельность концентрируется в своей стране и соседних странах; национальные — компании, осуществляющие свою деятельность в одной стране.

Существует корреляция между территориальным масштабом деятельности и упомянутым выше имущественным статусом. К первому типу, как правило, относятся крупные частные корпорации, названия которых хорошо известны, например, “British Petroleum”, “Exxon Mobil”, “Shell”, “Chevron” и др. При этом однозначной взаимосвязи между этими двумя показателями нет — в число глобальных корпораций можно включить и государственную компанию Саудовской Аравии “Saudi Aramco”, имеющую активы во многих странах мира (например, в США, Республике Корея, КНР и др.). Примеры компаний для каждого из трех типов представлены в таблице.

Классификация компаний по территориальному масштабу деятельности

Тип компании	Представители
Глобальные	“Exxon Mobil”, “Chevron”, “British Petroleum”, “Total”, “Royal Dutch Shell”, “Saudi Aramco”
Региональные	“Petróleos de Venezuela”, “Petrobras”, “Sinopec”, “China National Petroleum Corp.”
Национальные	“National Iranian Oil Company”, “Sonatrach”, “Nigerian National Petroleum Corp.”

Всего в рамках исследования проанализировано более 100 ведущих компаний нефтегазового комплекса мира (подробнее см. [Владимирова, 2001]).

Факторы, влияющие на географию деятельности нефтегазовых компаний. На географию производственных активов компаний нефтегазового комплекса влияют два основных фактора:

1) *природный фактор* — ограниченность нефтегазовых ресурсов и их неравномерное распределение по планете. В мире существует хотя и значительное, но все же ограниченное число нефтегазоносных

бассейнов, часть из них уже полностью выработана. Это заставляет компании интенсивнее искать новые источники ресурсов, которые начинают стремительно сокращаться. С открытием новых месторождений это сокращение компенсируется, но лишь отчасти;

2) *институционально-политический фактор* — наиболее значительные запасы углеводородов находятся под контролем правительств стран, в которых они расположены. Их разрабатывают государственные компании, которые являются монополистами на внутреннем рынке и обладают исключительными правами на добычу. Соответственно иностранным игрокам часто создаются невыгодные условия для ведения бизнеса, иногда их деятельность запрещена на законодательном уровне. Именно поэтому каждая национальная или региональная компания имеет весьма узкую географию деятельности, как правило, ограниченную территорией своей страны (или сопредельных государств). Кроме того, деятельность таких компаний может ограничиваться по политическим или экономическим соображениям. В то же время благодаря монопольному положению на внутреннем рынке у таких корпораций либо нет стимула, либо не хватает конкурентных преимуществ в борьбе с частными компаниями на территориях, общедоступных с точки зрения ресурсов.

Благодаря этим факторам наиболее широкой географией деятельности, как правило, обладают независимые производители. При этом доступные им территории весьма ограничены, в этом заключается сходство в пространственном отношении распределение производственных мощностей по земному шару.

Согласно данным “U.S. Energy Information Administration” [Meiners, 2013], все страны, обладающие сколько-нибудь значительными запасами нефти и газа, можно разделить на четыре группы. Основанием для классификации служит доступность национальных нефтегазовых ресурсов для иностранного капитала:

1) *страны, предоставляющие полный доступ к своим запасам энергоресурсов* (около 15% мировых нефтяных запасов). Все компании, как национальные, так и иностранные, находятся в равном положении, законодательно деятельность последних не ограничена. К этой группе относятся западные страны, в том числе США, Великобритания, Канада;

2) *страны, предоставляющие “справедливый” доступ* (~1% запасов). Существующая государственная корпорация не получает значительных привилегий от правительства. В эту группу входят Колумбия, Индонезия, Дания;

3) *страны, предоставляющие ограниченный доступ* (~37% запасов). Государственная компания имеет приоритетный доступ к национальным ресурсам, деятельность зарубежных корпораций ограничена

² Для количественного описания этого показателя иногда используют так называемый индекс распространения сети (“Network Spread Index”) [Владимирова, 2001; Dorrenbacher, 2000] — отношение числа стран, в которых корпорация осуществляет свою деятельность, к общему числу стран, в которых она потенциально могла бы ее осуществлять [Владимирова, 2001]. В рамках работы территориальный охват деятельности нефтегазовых компаний оценивался на качественном уровне.

посредством законодательных барьеров (но при этом возможна обычно на условиях партнерства с государственной компанией). К этой группе относятся такие страны, как Китай, Ангола, Россия;

4) *страны, не предоставляющие доступа* (~47% запасов). Государственная корпорация имеет исключительное право на добычу энергоресурсов на территории страны, любое иностранное участие жестко регламентировано. В эту группу входят, в частности, Иран, Ирак, Саудовская Аравия.

Таким образом, западные частные компании имеют свободный доступ всего к 16% нефтяных ресурсов мира (что составляет ~30 млрд т [Walker, 1989]). Именно в этом кроется главная причина чрезмерной концентрации активов западных транснациональных корпораций на территории стран, предоставляющих доступ к своим ресурсам, вследствие чего на этом рынке существует сильная конкуренция, так как доступ новых игроков в значительной степени ограничен.

Зоны деятельности ведущих транснациональных корпораций (ТНК). Расположив на карте основные добывающие и перерабатывающие активы глобальных нефтегазовых корпораций, к которым в первую очередь относятся западные ТНК (таблица), можно выделить основные зоны их деятельности (рисунок):

I) *североамериканская зона*, включающая несколько ареалов добычи: Мексиканский залив; Аляску и север Канады; сравнительно новый ареал, включающий канадские провинции Альберта и Саскачеван, где в северной части расположены запасы битуминозных песков.

Добыча во всех этих районах связана с определенными сложностями. Глубоководное бурение в Мексиканском заливе требует значительных капи-

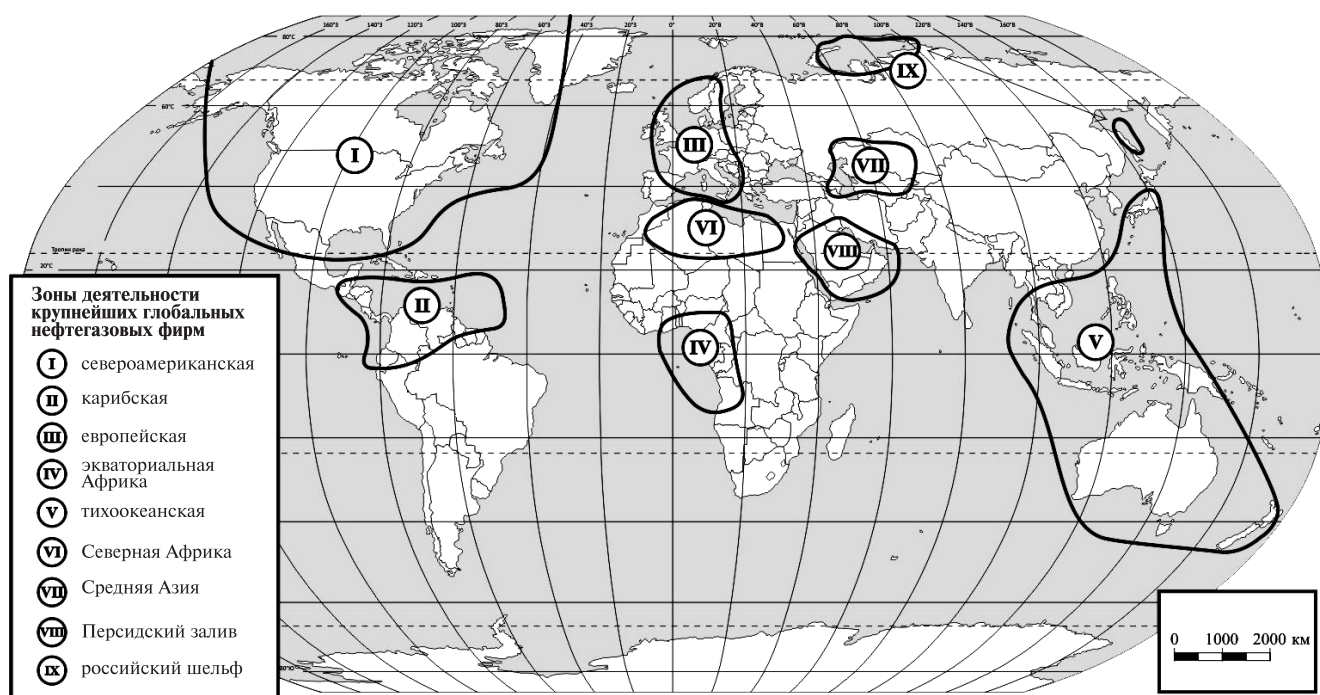
таловложений и использования новых технологий. Аварии могут иметь катастрофические последствия для жителей и природных экосистем. Разработка битуминозных песков также связана с большими затратами из-за необходимости создавать и применять новые технологии. Добыча в условиях крайнего севера Канады неблагоприятна из-за суровых климатических условий.

В составе этой зоны можно выделить три основных ареала переработки, при этом ареалы добычи привязаны к нефтегазовым бассейнам, а ареалы переработки в большей степени тяготеют к потребителю: Калифорния, Новая Англия и регион Великих озер, побережье Мексиканского залива (штаты Техас, Луизиана, Миссисипи, Алабама), последний ареал наиболее крупный. У него самое выгодное географическое положение вблизи районов добычи и концентрации потребителей.

США обладают самыми значительными перерабатывающими мощностями в мире. Согласно статистике ВР на США приходится 19,1% от суммарной установленной мощности всех нефтеперерабатывающих заводов [7]. Поэтому североамериканская зона имеет выраженную перерабатывающую специализацию;

II) *карибская зона*, включающая только один ареал добычи — южную часть Карибского моря (побережье Колумбии, Венесуэлы и Тринидада и Тобаго). Эта зона специализируется на добыче;

III) *европейская зона*, в которую входит два ареала добычи: Северное море, в котором находится большое количество нефтяных и газовых платформ разных компаний, и Норвежское море — основные нефтегазовые бассейны принадлежат норвежской компании “Statoil”.



Зоны деятельности крупнейших глобальных нефтегазовых фирм

В рамках европейской зоны можно выделить один ареал переработки нефти, включающий предприятия в Великобритании, Нидерландах, Франции, Бельгии, Германии, Дании, Ирландии и в южной части Норвегии. В целом в этой зоне явно доминируют европейские компании (например, “Shell”, “British Petroleum”, “Total”), что вполне закономерно, как и численное превосходство американских компаний (“ExxonMobil”, “Chevron”) в североамериканской зоне.

Учитывая сравнительную истощенность нефтегазовых запасов Европы и близость к потребителю, эта зона специализируется на переработке;

IV) *экваториальная Африка*, в составе этой зоны можно выделить лишь один ареал добычи — восточную часть шельфа Гвинейского залива, побережья Нигерии, Экваториальной Гвинеи, Габона, Республики Конго и Анголы. Это достаточно депрессивный и нестабильный регион в социально-экономическом и политическом плане, характеризуется повышенной криминогенностью, гражданскими войнами, сепаратизмом (Кабинда, Биафра), здесь происходят государственные перевороты. Все это влияет на характер деятельности ТНК в этом регионе. Покупая права на разработку месторождений у местных правителей, ТНК огораживают свою территорию колючей проволокой и практически не используют местную рабочую силу [Добронравин, 2008].

Фактически присутствие нефтегазовых ТНК в Африке ограничивается добычей ресурсов и уплатой налогов. По названным выше причинам здесь почти не развита нефтепереработка;

V) *тихоокеанская зона*, включающая Юго-Восточную Азию, Австралию, Новую Зеландию и Японию. В эту зону входит несколько ареалов добычи: Южно-Китайское море, месторождения на Суматре и Калимантане, Бассов пролив.

В ближайшем будущем перспективным ареалом газодобычи станет северо-западное побережье Австралии, где на шельфе найдены значительные запасы природного газа. Некоторые из западных ТНК участвуют в реализации проектов освоения этих месторождений. Наиболее вероятно, что центром добычи в этом ареале станет о. Барроу.

В составе этой зоны можно выделить несколько ареалов нефтепереработки. Небольшой ареал концентрации нефтеперерабатывающих предприятий расположен на юге Австралии к востоку от Мельбурна; наиболее крупный ареал нефтепереработки в составе этой зоны — п-ов Малакка; несколько обособлен Японский ареал. Япония — один из крупнейших потребителей нефтепродуктов, в связи с чем на ее территории расположено большое количество НПЗ (по данным “Oil & Gas Journal”, 29 предприятий).

Эту зону трудно однозначно отнести к добывающим или перерабатывающим. В ней в равной мере присутствуют оба вида деятельности;

VI) *Северная Африка*. Европейские транснациональные компании заинтересованы в развитии производственных мощностей в важном для Европы регионе Северной Африки. Поэтому можно выделить эту зону, включающую такие страны, как Алжир, Тунис, Ливия, Египет. Это добывающая зона. Инвестируя в этот регион, европейские ТНК (например, итальянская ENI) помимо получения прибыли, по сути, контролируют поставки энергоресурсов в Европу, тем самым обеспечивая ее энергобезопасность. Северная Африка наряду с Россией — основной поставщик энергоресурсов для европейского рынка. Испания и Италия играют в этих поставках важнейшую роль, так как через их территории проходят основные газотранспортные коммуникации;

VII) *Средняя Азия*. В последние годы этот регион стал привлекательным в первую очередь для китайских и российских нефтегазовых компаний (не только глобальных, но и региональных фирм). Сейчас там расположены производственные мощности “Лукойла”, “СНПС” и некоторых западных корпораций.

Отмечено, что в местах соприкосновения зон деятельности разных типов компаний (в первую очередь по имущественному статусу) наблюдается активное создание совместных предприятий (СП). Создание СП, например, между ведущими ТНК является обычной практикой, таких примеров достаточно много. Подобные предприятия между ТНК и закрытыми государственными корпорациями стран Персидского залива — до недавнего времени явление достаточно редкое.

Среди основных зон соприкосновения интересов ведущих компаний разных типов выделяются следующие: венесуэльская, нигерийская, ангольская, зона Южно-Китайского моря, зона Персидского залива, зона Российского шельфа.

Первые четыре “контактные” зоны существуют длительное время (и территориально входят в рассмотренные выше зоны деятельности глобальных ТНК (рисунок), они уже давно вошли в регионы постоянных интересов ведущих западных корпораций. Зона Персидского залива (VIII) — относительно новый регион (хотя контакты западных корпораций и правительств “нефтяных” монархий Персидского залива имеют давнюю историю). Схожая контактная зона — территория Российского шельфа (IX), до недавнего времени активно осваиваемая³ при участии западных партнеров. В связи с нехваткой технологий (прежде всего для шельфового бурения) российские и ближневосточные компании стали искать партнеров за границей (в том числе среди ведущих западных ТНК). Вследствие этого совместно разрабатываются некоторые месторождения, реализуются проекты по геологоразведке новых нефтегазоносных бассейнов, а также по созданию нескольких крупных НПЗ (в частности, в Саудовской Аравии).

³ Речь идет о проектах по геологоразведке и добыче нефтегазовых ресурсов в прибрежных зонах о. Сахалин и Карского моря (зона IX на рисунке). В связи со сложной геополитической обстановкой на момент написания статьи большая часть совместных проектов (в частности, между компаниями “Роснефть” и “ExxonMobil”) заморожена.

Процесс появления новых зон деятельности глобальных ТНК путем создания совместных предприятий для передачи технологий и совместного освоения трудноизвлекаемых нефтегазовых ресурсов — результат расширения их сферы влияния за пределы рассмотренных выше основных зон деятельности.

Выводы:

— с помощью корпоративного подхода при изучении нефтегазового комплекса мира выявлены географические особенности деятельности нефтегазовых компаний разного типа;

— в силу институциональных и политических факторов транснациональные корпорации (прежде всего американские и европейские) концентрируют свои активы в строго определенных зонах, доступных им для инвестиционной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Брагинский О.Б. Нефтегазовый комплекс мира. М.: РГУНГ имени Губкина, 2006.

Braginskiy O.B. Neftegazovyy kompleks mira [Oil and gas industry of the world], Moscow, RGUNG im. Gubkina, 2006 (in Russian).

Владимирова И.Г. Исследование уровня транснационализации компаний // Менеджмент в России и за рубежом. 2001. № 6. URL: <http://mevriz.ru/articles/2001/6/947.html> (дата обращения: 10.02.2015).

Vladimirova I.G. Issledovanie urovnya transnacionalizatsii kompanij [Survey of companies' transnationalization level], *Menedzhment v Rossii i za rubezhom*, 2001, no 6. URL: <http://mevriz.ru/articles/2001/6/947.html> (Accessed: 10.02.2015) (in Russian).

Гончаров Р.В. География ведущих корпораций мировой топливной промышленности // Вопросы экономической и политической географии зарубежных стран. 2015. № 20.

Goncharov R.V. Geografija vedushhih korporacij mirovoj toplivnoj promyshlennosti [Geography of the leading companies of world fuel industry], *Voprosy jekonomicheskoy i politicheskoy geografii zarubezhnykh stran*, Moscow, no 20, 2015 (in Russian).

Гречко Е.А. Корпоративная география — развивающееся направление географической науки // Мат-лы IV Всеукр. Конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Киев, 2008.

Grechko E.A. Korporativnaja geografija — razvivajushheesja napravlenie geograficheskoy nauki [Corporate geography — the new trend in geographical science], *Materialy IV Vseukrainskoj konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenykh*, Kiev, 2008 (in Russian).

Доступ новых игроков, как из числа западных частных компаний, так и из числа государственных монополий, на эти территории затруднен из-за сильной конкуренции;

— государственные компании стран, обладающих нефтегазовыми ресурсами, в большинстве случаев имеют приоритетные права на разработку собственных нефтегазовых месторождений, что проявляется в очень узкой географии их активов, расположенных лишь в одной стране либо в сопредельных государствах;

— в последние годы в связи с недостатком необходимых технологий у государственных корпораций происходит процесс создания совместных предприятий с ведущими глобальными ТНК, что проявляется в расширении географии деятельности последних.

Добронравин Н.А. Нефть, газ, модернизация общества. СПб.: Экономическая школа, 2008.

Dobronravin N.A. Neft, gaz, modernizacija obshhestva [Oil, gas and society modernization], Saint-Petersburg, Ekonomicheskaja shkola, 2008 (in Russian).

Олейнов А.Г. Топливо-энергетический комплекс мира. М.: Навона, 2008.

Olejnov A.G. Toplivno-energeticheskij kompleks mira [Fuel and energy industry of the world], Moscow, Navona, 2008 (in Russian).

BP Statistical Review of World Energy, 2012. URL: http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Statistical-Review-2012/statistical_review_of_world_energy_2012.pdf (Accessed: 25.10.2014).

Dorrenbacher C. Measuring corporate internationalisation, *Intereconomics*, 2000, no 3, pp. 119–126.

Morriss A., Meiners R. Competition in global oil markets: A meta-analysis and review. URL: http://freebeacon.com/wp-content/uploads/2013/04/SAFE-Study_Global-OilMarkets.pdf (Accessed: 25.10.2014).

Petrostrategies (Рейтинг ведущих нефтегазовых компаний мира). URL: http://www.petrostrategies.org/Links/worlds_largest_oil_and_gas_companies.htm (Accessed: 25.10.2014).

Walker R. A requiem for corporate geography: new directions in industrial organization, the production of place and uneven development, *Geographiska Ann.*, 1989, 71B.

Yeung H. Reconceptualising the “Firm” in new economic geographies: An organisational perspective. University of Portsmouth, U.K., 2000.

Поступила в редакцию
25.09.2014

R.V. Goncharov

GEOGRAPHIC FEATURES OF ACTIVITIES OF THE LEADING COMPANIES OF THE GLOBAL OIL AND GAS COMPLEX

The article deals with the geographical aspects of activities of the leading oil and gas corporations. A complex of factors has a pronounced effect on the spatial strategy of development of each company in this sphere, the principal one being its property status. According to these fac-

tors all oil and gas companies could be grouped into several types having specific spatial patterns of productive assets. Main zones of activities of the leading oil and gas corporations are described in detail basing on statistical and analytical data collected by the author. Special focus is on the specific spatial patterns of productive assets of the largest western companies, as well as the mechanisms of interactions between the companies of different types.

Key words: geographic features of oil and gas complex, corporation geography, oil and gas corporations, zones of companies' activities.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.8.551.791(924.72)

Н.С. Болиховская¹, А.К. Маркова², С.С. Фаустов³ИЗМЕНЕНИЯ ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
В ТЕРСКО-КУМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ⁴

Статья посвящена палеогеографии и стратиграфии плейстоцена одного из самых аридных районов России — Терско-Кумской низменности, расположенной на северо-западе Прикаспийской низменности (или в Восточном Предкавказье). Впервые комплексно рассмотрены результаты детального палинологического, палеомагнитного и микротериологического изучения уникального по своей стратиграфической полноте и мощности (~160 м) опорного разреза плейстоценовых отложений Отказное (в долине средней Кумы), сложенного лёссово-почвенными, аллювиальными и пролювиально-аллювиальными толщами. Выполнено его детальное климатостратиграфическое расчленение и корреляция реконструированных палеоклиматических этапов с морскими изотопными стадиями (МИС). Охарактеризованы ландшафтно-климатические изменения и последовательные смены растительных формаций, происходившие на территории Терско-Кумской низменности в течение всех межледниковых и ледниковых эпох среднего и позднего плейстоцена (т.е. неоплейстоцена) и ряда этапов раннего плейстоцена. Представленные в статье материалы детального палинологического изучения одного из самых мощных лёссово-почвенных разрезов Северной Евразии — разреза Отказное — и выполненные реконструкции ландшафтно-климатических условий плейстоценового почвообразования и лёссакопления, а также климатостратиграфические построения не имеют аналогов в зарубежной научной литературе, посвященной проблемам палеогеографии и стратиграфии лёссово-почвенных толщ Северной и Южной Америки, Центральной Азии, Западной и Центральной Европы.

Ключевые слова: палеоландшафты, палеоклимат, плейстоцен, палинологический, палеомагнитный и микротериологический анализы, Восточное Предкавказье, опорный разрез Отказное.

Введение. В связи с разработкой теории и методов географического прогнозирования и построения прогностических моделей развития ландшафтов и климата аридных и семиаридных районов Северной Евразии в ближайшие столетия возрастает значение детальных ландшафтно-климатических реконструкций эпох лёссо- и почвообразования, а также материалов детального климатостратиграфического расчленения разрезов лёссово-почвенной формации, мощные толщи которой почти повсеместно распространены в пределах евроазиатских лесостепей и степей. Этапы формирования тундровых, степных и пустынных флор и растительных сообществ по сравнению с плейстоценовой историей флоры и растительности лесной зоны умеренного пояса изучены значительно слабее. Вследствие этого разнообразны по природно-зональному составу межледниковые и перигляциальные пали-

нофлоры и палеофаунистические комплексы лёссово-почвенной формации — важнейший объект познания процесса становления современных ландшафтов, растительности и животного мира Восточно-Европейской равнины. Для выполнения задач, стоящих перед эволюционной географией, по установлению подробной летописи палеоклиматических событий наиболее перспективно комплексное палеогеографическое изучение разрезов новейших отложений, накопление которых происходило почти непрерывно на протяжении всего плейстоцена.

Терско-Кумская низменность — одна из самых удаленных от зоны покровного оледенения областей Восточно-Европейской платформы. Здесь находятся наиболее полные разрезы плейстоцена, содержащие самые мощные (70–100 м) лёссово-почвенные профили Европейского субконтинента. Предпринимавшиеся ранее попытки стратиграфии-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, вед. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: natbolikh@mail.ru

² Института географии РАН, лаборатория биогеографии, гл. науч. с., докт. геогр. н.; e-mail: amarkova@list.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, ст. науч. с., канд. геол.-минерал. н.; e-mail: faustovs@rambler.ru

⁴ Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 14-05-00227, 13-05-00056 и 14-05-00222).

Авторы выражают глубокую признательность А.А. Величко и В.П. Ударцеву, которые руководили полевыми исследованиями разрезов Предкавказья и любезно предоставили литологические описания отложений разреза Отказное.

ческого расчленения и корреляции плейстоценовых отложений Восточного Предкавказья с горизонтами ледниковой и перигляциальной зон Восточно-Европейской равнины и морскими изотопными стадиями (МИС) глубоководных осадков, а также установления палеогеографических условий лёссовобразования не имели палеонтологического обоснования и базировались на литолого-геохимических, палеомагнитных и термолюминесцентных данных [Балаева, Царев, 1964; Файнер, Лизогубова, 1987; Шелкопляс и др., 1987].

Нами впервые совместно рассмотрены результаты детального палеомагнитного, палинологического и микротериологического анализов уникального по геологической полноте опорного разреза Отказное на западе Терско-Кумской низменности. Полученные нами данные позволили выполнить детальное климатостратиграфическое расчленение и корреляцию изученных плейстоценовых отложений и реконструировать ландшафтно-климатические особенности основных палеогеографических этапов среднего и позднего плейстоцена (т.е. неоплейстоцена российской межрегиональной шкалы) и некоторых интервалов раннего плейстоцена Северо-Западного Прикаспия — одного из самых аридных районов России.

Современные природные условия района исследований. Согласно геоботаническому районированию Терско-Кумская низменность входит в Евразийскую степную область, а ее западная часть относится к подзоне сухих (злаковых и полынно-злаковых) степей. Здесь развиты темно-каштановые и каштановые почвы. Современный климат отличается значительной сухостью и континентальностью. В среднем за год на западе Терско-Кумской низменности выпадает 300 мм осадков, а на востоке — до 200 мм и менее. В г. Зеленокумск абсолютный минимум температуры достигает -33°C , а абсолютный максимум — $+44^{\circ}\text{C}$. Средняя температура января на западе низменности составляет $-5...-7^{\circ}\text{C}$, а средняя температура июля близка $+25...+26^{\circ}\text{C}$ [Гвоздецкий, 1963].

Материалы и методы исследований. Изучение разреза Отказное, принадлежащего к наиболее представительным объектам плейстоцена в южных районах Восточно-Европейской равнины, проводилось авторами в составе коллектива, предпринявшего его мультидисциплинарные исследования: А.А. Величко, В.П. Ударцев — литологическое описание; Т.Д. Морозова, Д.Р. Морозов — палеопедологический анализ; Е.И. Вирина, С.С. Фаустов — палеомагнитный метод; Н.С. Болиховская — палинологический анализ; А.К. Маркова — анализ костных остатков фауны грызунов; Н.И. Чиколени, С.Н. Тимирева — гранулометрический и минералогический анализы. Разрез расположен в западной части Терско-Кумской низменности, в бассейне среднего течения р. Кума у с. Отказное ($44^{\circ}19'$ с.ш., $43^{\circ}51'$ в.д.)

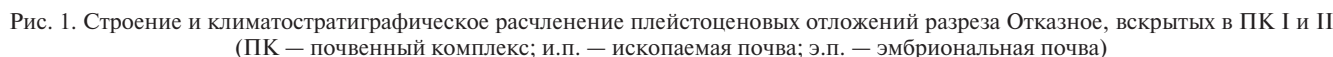
и представлен толщей плейстоценовых отложений общей мощностью ~ 160 м.

Детальные палинологические и палеомагнитные анализы выполнены по двум вертикальным профилям (рис. 1). В профиле I представлены отложения мощностью ~ 140 м, вскрытые на водораздельном плато правобережья (абс. высота $245,5$ м) скважиной № 1, а также дублирующей и дополняющей ее скважиной № 18. В этом профиле представлены неравноценные по мощности осадочные толщи трех седиментационных циклов. Первый цикл включает аллювий ($127,6-136,4$ м) и субэвральную пачку с тремя мощными ископаемыми почвами ($115,8-127,6$ м), второй — аллювий ($112,8-115,8$ м) и субэвральные образования с двумя ископаемыми почвами (ИП) ($107,35-112,8$ м). Третий цикл представлен аллювиально-пролювиальной толщей ($64,9-107,35$ м) и мощной пачкой лёссовых эоловых, эолово-делювиальных и эолово-пролювиальных образований ($1,4-64,9$ м), содержащей шесть палеопочвенных комплексов (ПК) и ряд эмбриональных почв (ЭП) [Болиховская, 1995; Ударцев и др., 1989а, б].

По палеомагнитным данным положение инверсии Матуяма—Брюнес установлено здесь в верхней части аллювиально-пролювиальной толщи на глубине ~ 75 м. В интервале $104,7-113,0$ м в пределах хрона Матуяма выделен субхрон Харамильо [Вирина и др., 1990]. Согласно результатам спорово-пыльцевого анализа накопление 140 -метровой толщи, слагающей разрез водораздельного плато, происходило на протяжении раннего, среднего и позднего плейстоцена и завершилось образованием верхнего ~ 20 -метрового лёссового горизонта, формировавшегося в днепровское оледенение и первую половину микулинского межледникового. Валдайское ледниковое время охарактеризовано палинологическими данными отложений низких террас Кумы, развитых на левобережье [Болиховская, 1995].

В профиле II в обрыве над урезом р. Кума, вблизи дамбы Отказненского водохранилища, в карьере и дублирующей и дополняющей его разрезе скважины № 6 вскрыт более чем 60 -метровый разрез приводораздельного склона (абс. высота $217,8$ м). Положение инверсии Матуяма—Брюнес здесь фиксируется также в верхней части аллювиально-пролювиальной толщи (на отметке $37,5$ м). Ниже современной почвы, как свидетельствуют палинологические данные, вскрыты горизонты среднего и раннего плейстоцена — от гремязевского межледникового до чекалинского межледникового включительно (схемы Н.С. Болиховской [1995]). Этот интервал включает осадки пяти межледниковий и четырех холодных интервалов ледникового ранга.

Результаты исследований и их обсуждение. Анализ палеомагнитных данных. Палеомагнитные исследования отложений разреза Отказное выполнены для двух рассмотренных профилей по образцам из карьера, керну из инженерно-геологических сква-



Наибольшую ценность имеют скважины инженерно-геологического бурения, поскольку они дают 100%-й выход керна с ненарушенной текстурой. Отметим, что палеомагнитные данные по керну скважин менее информативны, чем палеомагнитные данные по расчисткам в карьере, поскольку образцы из керна дают информацию только о на-

клонении геомагнитного поля. Особого отношения требуют данные, полученные для образцов из керна колонкового бурения, — в таком керна часто отмечаются значительные нарушения текстуры осадков (закручивание керна, затеки шлама внутрь керна), что не позволяет использовать их для палеомагнитных исследований. Кроме того, выход керна не бывает 100%-ным. Все это определяет возникновение перерывов в палеомагнитных профилях. Внимательный отбор образцов с ненарушенной текстурой из скважины № 18 позволил получить

удовлетворительные данные, сопоставимые с результатами для керн из инженерно-геологических скважин, которые рассматриваются нами как опорные.

В позднем кайнозое для относительно длительных промежутков времени (не менее десятков тысяч лет) среднее геомагнитное поле (ГМП) имело либо прямую полярность, близкую к современной, либо противоположную. В средних широтах вполне допустимо определение полярности по знаку угла наклона первичной намагниченности, но при условии, что его абсолютная величина близка к величине наклона дипольного поля. В то же время для кратковременных возмущений ($<10^4$ лет), относящихся к тонкой структуре геомагнитного поля, когда склонение и наклонение могли быть промежуточными, проводить реконструкцию ГМП лишь по наклонению неправомерно.

Образцы из керн отбирали с интервалом 0,5–1 м. На каждом уровне отбирали 3–4 дубля с единой ориентировкой. Один из образцов — дублей проходил временную чистку с выдержкой по и против поля лаборатории в течение месяца. По результатам измерения вертикальной составляющей остаточной намагниченности после выдержки по и против поля рассчитывали величину отношения вязкой намагниченности (I_{rv}) к стабильной (древней) части (I_n). Остальные дубли после измерения I_n проходили температурно-временную чистку при 100 и 200 °С с выдержкой по 5 ч. Для подавляющего большинства образцов этот режим чистки был оптимальным, так как практически полностью разрушал нестабильную вторичную намагниченность и в малой степени затрагивал древнюю составляющую (I_n). В тех случаях, когда после такой чистки в образцах с одного уровня отмечался большой разброс направлений I_n , применяли чистку при 250 и 300 °С. Однако и это далеко не всегда приводило к улучшению результатов. Очевидно, что это связано с присутствием в образцах вторичной составляющей намагниченности, стабильность которой к нагревам близка к стабильности первичной составляющей. Уровни, на которых после комплекса чисток наблюдался большой разброс направлений I_n , не учитывались при интерпретации результатов. По результатам измерения остаточной намагниченности (I_n) рассчитывали средние величины и направления намагниченности до и после чистки, а также коэффициент кучности (K) распределения I_n . Рассчитывался также фактор Q_n .

Палеомагнитная граница Матуяма–Брюнес определена нами в скважинах № 3, 6, 18. В качестве примера рассмотрим магнитные характеристики и палеомагнитные данные для скважины № 3 (рис. 2). В керне из этой скважины по изменению магнитных характеристик можно выделить три части. Верхняя часть до глубины 16 м сложена лёссовидными отложениями с серией сближенных погребенных почв. Для нее характерны относительно повышенные величины магнитной восприимчивости (κ) и остаточной намагниченности (I_n). Значе-

ния I_n после чистки практически не зависят от типа отложений и остаются достаточно однородными и высокими $I_n = (5\div 10) \cdot 10^{-3}$ А/м. Величина Q_n почти не изменяется в этой части и имеет значения 0,7–0,9. Очевидно, что основные различия величины I_n до чистки связаны с вязкой намагниченностью. Вся эта часть разреза имеет положительное наклонение векторов I_n до и после чистки при их большой внутрипластовой кучности после чистки ($K = 100\div 1500$).

Вторая часть разреза (16–34 м) сложена опесчаненными супесями и суглинками с прослоями и линзами песков. В ней наблюдаются большие вариации величин I_n и Q_n , не синхронные с изменениями κ . Для этого интервала характерны невысокие значения магнитной вязкости ($I_{rv}/I_n = 2\div 15\%$) и незначительное уменьшение I_n после чистки. Выделяется интервал 21–22,5 м, в котором при снижении значений κ наблюдается всплеск I_n до $90 \cdot 10^{-3}$ А/м и Q_n до 2–7,5. Высокие значения остаточной намагниченности сохраняются и после магнитной чистки. Обычно такие особенности магнитных свойств связывают с химической намагниченностью. В отложениях этой пачки на уровне 27 м происходит изменение знака наклона I_n . Характерно, что даже в образцах с пониженными величинами I_n и Q_n многие образцы уже при первом измерении имеют отрицательное наклонение I_n . После чистки лишь на двух уровнях отмечается большой разброс направлений I_n , на остальных уровнях $K = 10\div 40$, а в интервалах с повышенными значениями I_n достигает 650, как и в верхней части этого интервала, имеющего прямую намагниченность. Значения I_n в прямо- и обратномагнитных частях указанной пачки также близки. Все это говорит о том, что вторичная составляющая I_n достаточно полно разрушается термочисткой при 200 °С. Наблюдаемое уменьшение величины I_n в окрестности инверсии, возможно, связано с уменьшением амплитуды древнего поля, что характерно для инверсионных периодов ГМП.

Для нижней, третьей, части разреза (с глубины 34 м до забоя) характерны пониженные и однородные величины I_n до и после чистки, низкие значения Q_n и повышенная роль вязкой намагниченности. Здесь все образцы до чистки имеют положительное наклонение I_n . После чистки на некоторых уровнях отмечается значительный разброс направлений I_n (на рис. 2 он обозначен штриховыми линиями) при пониженной величине угла наклона. Чистка при более высоких значениях температуры мало улучшает эти результаты. Несмотря на отмеченный разброс направлений I_n , мы интерпретируем нижний интервал как зону обратной полярности, поскольку уровни с небольшим разбросом направлений I_n имеют обратные углы наклона, а на уровнях со значимым разбросом в составе I_n присутствует обратная составляющая.

Опесчаненные суглинки, вскрытые в скважине 6, наращивают книзу разрез, вскрытый скважиной № 3. Магнитные характеристики образцов из

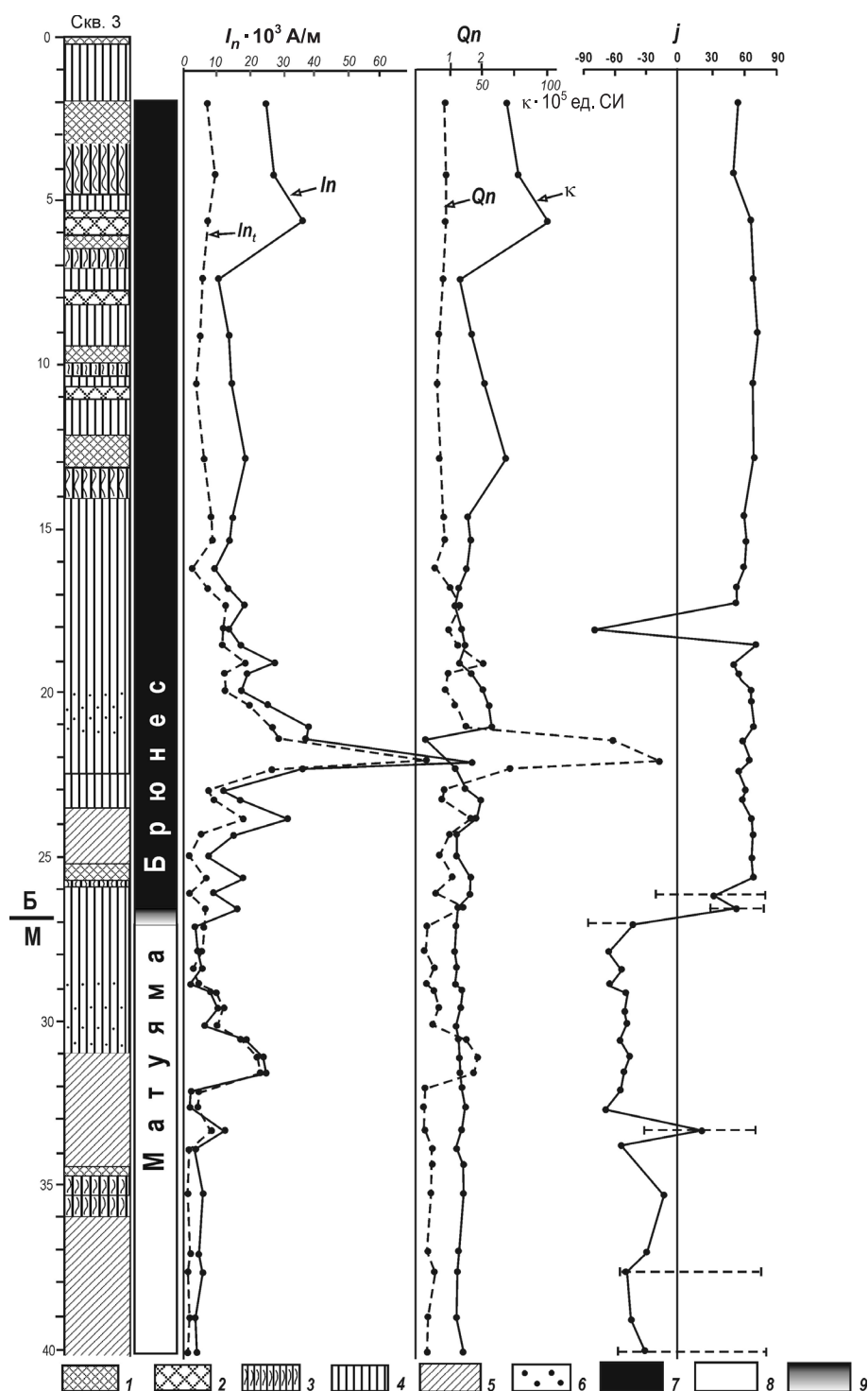


Рис. 2. Магнитные свойства и палеомагнетизм отложений разреза Отказное, вскрытых скважиной № 3: 1 — современная почва и гумусовые горизонты ископаемых почв, 2 — эмбриональные почвы, 3 — иллювиальные (В) горизонты палеопочв, 4 — горизонты лёссов и лёссовидных суглинков, 5 — переслаивание суглинков и супесей, 6 — опесчаненные суглинки и прослои песка, 7 — прямая полярность (хрон Брюнес), 8 — обратная полярность (хрон Матуяма), 9 — интервал вероятного положения палеомагнитной границы Матуяма–Брюнес

керн скважины № 6 имеют сходство с описанными выше для соответствующей пачки в скважине № 3. Изменение знака наклонения происходит на уровне ~5 м. Отложения имеют довольно высокую палеомагнитную стабильность — в большинстве образцов уже при первом измерении фиксируется тот же знак наклонения, что и после чистки. Кучность распределения направлений In после чистки

составляет ~30–50. С глубины ~12 м разброс направлений In увеличивается, однако направление In после чистки выделяется достаточно уверенно. Зона обратной намагниченности прослеживается здесь с глубины 5 м до забоя скважины, т.е. до глубины 30 м.

Смена полярности, т.е. граница Матуяма–Брюнес (~780 тыс. л. н.), в кернах обеих скважин прохо-

дит практически на одном уровне — под подошвой слабовыраженной гидроморфной ископаемой почвы. Согласованные результаты для границы Матуяма—Брюнес получены по образцам из скважины № 18 (рис. 1). Кроме того, в этой скважине в интервале 104,7–113,0 м (в пределах хрона Матуяма) выделен субхрон Харамильо (986–1053 тыс. лет [Singer et al., 1999]). Схематическое обобщенное сопоставление палеомагнитных данных по всем скважинам опубликовано нами ранее [Фаустов, Вирина, 2001].

Анализ костных остатков фауны грызунов. Фауна ископаемых грызунов в разрезе Отказное изучена по костным остаткам, намытым В.П. Ударцевым из отложений двух палеопочвенных комплексов (ПК) III и IV. В почвенном комплексе ПК IV обнаружено более 100 остатков ископаемых грызунов 8 видов: малого суслика *Spermophilus pygmaeus* Guldenstaedt, слепыша *Spalax* sp., обыкновенного хомяка *Cricetus cricetus* Linnaeus, серого хомячка *Cricetulus migratorius* Pallas, желтой пеструшки *Eolagurus luteus volgensis* Alexandrova, степной пеструшки *Lagurus lagurus* Pallas, обыкновенной полевки *Microtus arvalis* Pallas, алтайской полевки *Microtus obscurus* Eversmann (табл. 1).

Таблица 1

Видовой состав грызунов из почвенного комплекса IV

Таксон		Число находок
латинское название	русское название	
<i>Spermophilus pygmaeus</i> Pallas	Малый суслик	33
<i>Spalax</i> sp.	Слепыш	25
<i>Cricetus cricetus</i> Linnaeus	Обыкновенный хомяк	2
<i>Cricetulus migratorius</i> Pallas	Серый хомячок	3
<i>Eolagurus luteus volgensis</i> Alexandrova	Желтая пеструшка	18
<i>Lagurus lagurus</i> Pallas	Степная пеструшка	6
<i>Microtus obscurus</i> (Eversmann)	Алтайская полевка	6
<i>Microtus arvalis</i> Pallas	Обыкновенная полевка	7

Морфологические особенности костных остатков ископаемых грызунов, особенно высокодиагностичных остатков степных пеструшек, не позволяют отнести эту фауну к более раннему времени, чем лихвинское межледниковье (рис. 3). Для лихвинских фаун мелких млекопитающих характерно присутствие пеструшек с преобладающим типом зубов, характерных для *Lagurus lagurus*. Более ранние фауны, относящиеся к мучкапскому межледниковью, содержат остатки более древнего вида *Lagurus transiens*. Кроме того, в фаунах лихвинского межледниковья, описанных почти из 10 местонахождений Восточно-Европейской равнины, уже не

содержатся “питимисные” формы полевок, такие, как *Microtus (Terricola) arvalidens* и *M. (Stenocranius) gregaloides* [Маркова, 2004]. В фауне разреза Отказное они также отсутствуют. В ней определены более прогрессивные формы рода *Microtus* — *M. arvalis* и *M. obscurus*. Тафономия местонахождения (захоронение в кротовинах ископаемой почвы) объясняет отсутствие в фауне этого разреза остатков водяных полевок, очень показательных для определения возраста местонахождения. В фаунах лихвинского межледниковья они представлены видом *Arvicola cantianus*. В фаунах мучкапского межледниковья содержатся остатки предкового вида *Arvicola* — *Mitomys savini* [там же]. Следовательно, видовой состав фауны из ПК IV разреза Отказное не позволяет отнести ее ко времени более раннему, чем лихвинское межледниковье.

Из ПК III выделены 17 определимых остатков следующего видового и количественного состава: *Spermophilus pygmaeus* Pallas (6), *Eolagurus luteus volgensis* Alexandrova (1), *Lagurus* sp. (1), *Microtus ex. gr. arvalis-socialis* (крупная форма, 4), *Microtus ex. gr. arvalis-socialis* (мелкая форма, 5).

Сопоставление палеопедологических и палинологических данных. Д.Р. Морозов [Морозов, 1989; Морозов и др., 1989] провел микроморфологический анализ почвенных комплексов ПК I, ПК II и ПК III, вскрытых в профиле I. Каждый из этих ПК, имеющих мощность 4,35; 3,9 и 5,6 м соответственно, состоит из двух-трех ископаемых почв. Все палеопочвы формировались в условиях более гидроморфных, чем современная почва в разрезе Отказное. Палеопочвы, входящие в ПК I и ПК II, определены как черноземоподобные почвы. Палинологические записи свидетельствуют, что в палеоландшафтах интервалов формирования почв, составляющих ПК I и ПК II, преобладали лесные сообщества [Болиховская, 1995]. Нижняя почва в ПК III имеет признаки иллювиирования и реконструируется как выщелоченный чернозем. Согласно палинологическим данным, эта почва образовалась в перигляциальных условиях калужского холодного этапа — в фазы господства темнохвойных лесов из ели и кедровидной сосны.

Ландшафтно-климатические реконструкции. На протяжении плейстоцена изучаемая территория не подвергалась непосредственному воздействию покровного и горного оледенения и не заливалась водами трансгрессировавшего Каспия, поэтому многократные изменения ландшафтных обстановок, вызванные глобальными межледниково-ледниковыми климатическими колебаниями, отражены здесь наиболее полно.

Плейстоценовая палинофлора разреза Отказное включает пыльцу и споры более 150 таксонов (46 видов, 37 родов и свыше 70 семейств) древесных, кустарниковых, кустарничковых и травянистых растений. Климатостратиграфическое расчленение изученных отложений основано на анализе последо-

вательной смены зональных типов межледниковых и перигляциальных палиноспектров, географических групп родов дендрофлоры, состава родов и видов древесно-кустарниковых и травяно-кустарниковых растений в межледниковых палинофлорах разреза и участия в них неогеновых реликтов. Сопоставление этих показателей с палинологическими данными из верхнекайнозойских разрезов сопредельных территорий позволило установить положение границ между звеньями и горизонтами плейстоцена [Болиховская, 1995; Bolikhovskaya, 2011].

На основе полученных палинологических, палеомагнитных и микротериологических данных реконструированы ландшафтно-климатические условия всех 15 климатохронов эпохи положительной полярности Брюнес (т.е. среднего–позднего плейстоцена западноевропейских схем), покровского холодного периода и ряда раннеплейстоценовых этапов.

Палинологические исследования отложений, расположенных ниже границы Матуяма–Брюнес, еще не закончены. Для времени их формирования реконструированы отдельные этапы нижнего плейстоцена. Остановимся на некоторых из них. Для слоев 59–66, датируемых эпизодом Харамильо (~1,05–0,99 млн л.н.), установлены две фазы. Первая фаза (слой 63) соответствует похолоданию и аридизации климата, когда в составе господствовавших злаковых степей присутствовали микротермы — *Betula* sect. *Fruticosae*, *B.* sect. *Nanae*, *Alnaster*. Вторая фаза, отвечающая формированию ископаемой почвы (слои 61–62), отличалась гумидизацией и потеплением, что привело к развитию широколиственных лесов из граба, дуба, липы и вяза, с обилием лещины в подлеске, а также березовых лесов с примесью пихты, ели и сосны. В нижней части аллювиально-пролювиальной толщи третьего седиментационного цикла выделены пустынные и полупустынные спектры с господством маревых и участием свинчатковых, цикорийевых и других ксерофитов. Все вышележащие слои в пределах хрона Матуяма, кроме осадков покровского похолодания, охарактеризованы преимущественно спектрами лесостепного типа с участием в составе группы древесных пород (АР) пыльцы ели, сосны, березы, дуба, граба и других деревьев умеренного климата.

Инверсия Матуяма–Брюнес приурочена к отложениям зоны перехода от покровского холодного этапа к гремьячевскому межледниковью. Растительный покров покровского холодного интервала, который согласно корреляции континентальных и морских палеоклиматических событий А.Н. Молодьков и Н.С. Болиховская [2010, 2011] датируют ~815–790 тыс. л.н. и сопоставляют с МИС 20, составляли перигляциальные степи и лесостепи. Их развитие в середине этого похолодания прерывалось фазой господства березово-сосновых и сосново-еловых лесов.

Неоплейстоценовые отложения разреза охарактеризованы палинологическими данными весьма детально. В связи с ограниченным объемом публикации они представлены спорово-пыльцевыми диаграммами упрощенного типа (рис. 4, 5). В оптимальные климатические фазы двух первых — гремьячевского и семилукского — межледниковий хрона Брюнес в большинстве лёссовых областей Восточно-Европейской равнины в условиях климата, близкого к субтропическому (с сухим летом и влажной зимой), преобладали лесостепные ландшафты. На территории Терско-Кумской низменности флора гремьячевского межледниковья (~790–760 тыс. л.н., МИС 19) [Болиховская, Молодьков, 1999; Молодьков, Болиховская, 2011; Molodkov, Bolikhovskaya, 2010] отличалась от флоры последующего (семилукского) термохрона более высокой ролью термофильных элементов и более богатым набором дендрофлоры (табл. 2). Изменения структуры растительных сообществ в господствовавших лесостепных ландшафтах наиболее заметно отражены в сменах состава лесных формаций: *Gr1* — березовые леса и грабинники; *Gr2* — березово-дубовые леса; *Gr3* — березовые, грабовые и грабинниковые леса; *Gr4* — березовые и дубово-липово-грабовые леса; *Gr5* — орехово-буково-грабовые, дубово-вязовые и березовые леса; *Gr6* — березовые, грабовые и грабинниковые леса.

Во время девицкого похолодания (~760–710 тыс. л.н., МИС 18) в Восточном Предкавказье были развиты перигляциальные ландшафты с преобладанием березовых редколесий. Господство в палиноспектрах пыльцы березы (*Betula pubescens*, *B. pendula*) и ольхи (*Alnus glutinosa*, *A. incana*) (рис. 4) указывает на заметное участие в растительном покрове березовых лесов и ольшанников.

На протяжении семилукского межледниковья (~710–660 тыс. л.н., МИС 17) среди господствовавших в составе лесостепных ландшафтов березовых и широколиственных лесов заметные изменения претерпевали широколиственные леса. В первую фазу преобладали липово-грабовые и ясенево-кленово-грабовые ассоциации, во вторую фазу — грабинники, ольшаники и березняки. В третью фазу новая гумидизация вызвала распространение дубово-грабовых лесов (из *Carpinus betulus*, *Quercus robur*, *Q. ilex*).

Ледниковый покров донского этапа (~660–610 тыс. л.н., МИС 16) был на территории Восточно-Европейской равнины максимальным. В палиноспектрах отложений этого холодного этапа доминирует пыльца березы (*Betula pubescens*) и сосны (*Pinus sylvestris*), присутствует пыльца лиственницы (*Larix* sp.). На западе Терско-Кумской депрессии в это время господствовали березовые и хвойно-березовые редколесья с холодолюбивыми ерниковыми сообществами из кустарниковой березы (*Betula fruticosa*) и можжевельника (*Juniperus* sp.). В защищенных от воздействия криоаридного климата

Таблица 2

Характерные таксоны межледниковых дендропалинофлор разреза Отказное

Таксоны дендрофлоры	Межледниковья						
	гремячевское	семилюкское	мучкапское	лихвинское	чекалинское	черепетьское	микулинское
	МИС 19	МИС 17	МИС 15	МИС 11	МИС 9	МИС 7	МИС 5
<i>Quercus castaneifolia</i>	+	—	—	—	—	—	—
<i>Myrica</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Cedrus</i>	+	—	+	—	—	—	—
<i>Tsuga</i> sp., <i>T. canadensis</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Pinus</i> sect. <i>Cembra</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Larix</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Liquidambar</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Fagus sylvatica</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Pterocarya pterocarpa</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Carya</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Juglans cinerea</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Castanea</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Celtis</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Ilex aquifolium</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Tilia caucasica</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Fraxinus</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Alnus barbata</i>	—	—	+	—	—	—	—
<i>Pinus</i> sect. <i>Strobus</i>	—	—	+	+	—	—	—
<i>Juglans regia</i>	—	—	+	+	—	—	—
<i>Daphne</i>	—	—	—	+	—	—	—
<i>Rhododendron</i>	—	—	—	—	+	—	—
<i>Abies</i>	—	—	+	+	+	—	—
<i>Juniperus</i>	+	—	+	—	+	—	—
<i>Fagus orientalis</i>	+	—	+	+	+	—	—
<i>Carpinus caucasica</i>	+	—	+	—	+	—	—
<i>Ulmus scabra</i>	—	—	—	—	+	—	—
<i>Morus</i>	+	—	—	—	+	—	—
<i>Cornus</i>	—	—	—	—	+	—	—
<i>Ostrya</i> cf. <i>carpinifolia</i>	+	—	—	+	+	+	—
<i>Tamarix</i>	+	—	+	+	+	+	—
<i>Picea</i> sect. <i>Picea</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Picea</i> sect. <i>Omorica</i>	+	+	—	+	—	—	+
<i>Pinus</i> subgenus <i>Haploxylon</i>	—	+	+	+	+	+	+
<i>P. sylvestris</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Betula raddeana</i> , <i>B. pubescens</i> , <i>B. pendula</i>	+	+	+	+	+	+	+

Окончание табл. 2

Таксоны дендрофлоры	Междениковья						
	гремячевское	семилюкское	мучкапское	лихвинское	чекалинское	черепетьское	микулинское
	МИС 19	МИС 17	МИС 15	МИС 11	МИС 9	МИС 7	МИС 5
<i>Alnus glutinosa</i> , <i>A. incana</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Corylus avellana</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>C. colurna</i>	+	—	+	—	+	+	+
<i>Quercus robur</i>	+	—	+	+	+	+	+
<i>Q. cf. ilex</i>	+	—	—	+	+	+	+
<i>Q. petraea</i>	+	—	—	—	+	+	+
<i>Q. pubescens</i>	—	—	—	—	+	+	+
<i>Carpinus betulus</i> , <i>C. orientalis</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>Tilia cordata</i>	+	+	+	+	+	+	+
<i>T. tomentosa</i>	+	+	—	—	+	+	+
<i>T. platyphyllos</i>	+	—	+	—	+	+	+
<i>Ulmus laevis</i>	+	—	+	—	+	+	+
<i>U. foliacea</i>	—	—	—	—	+	—	+
<i>Acer</i>	—	+	—	—	+	—	+
<i>Salix</i>	+	+	+	+	+	—	+

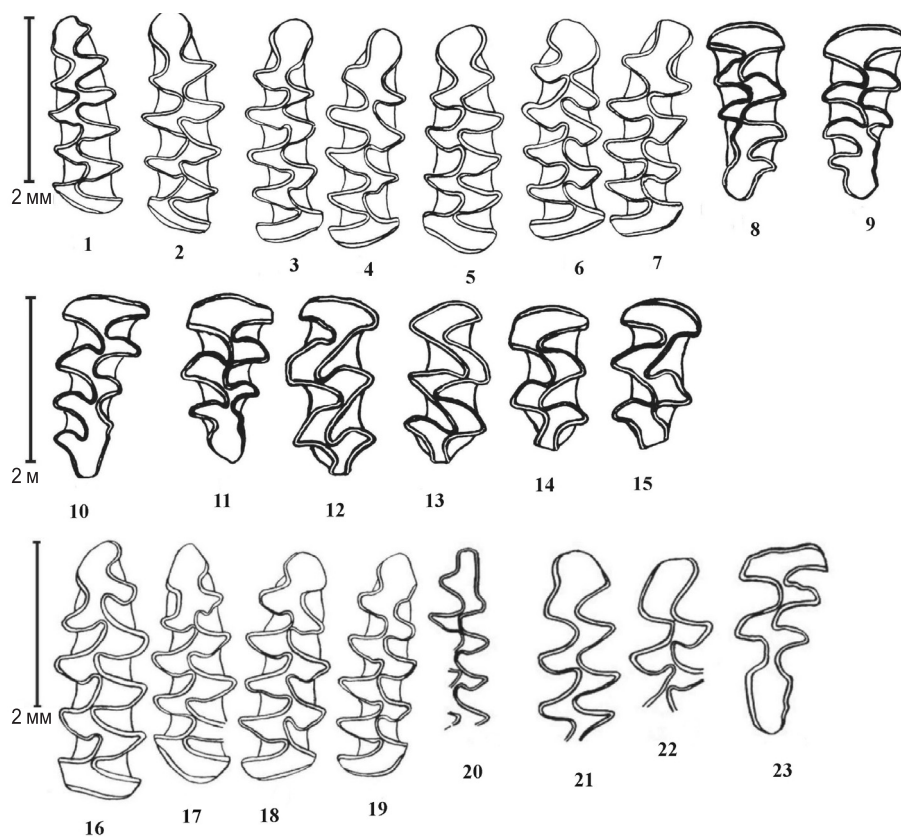


Рис. 3. Зарисовки костных остатков грызунов из ПК IV: 1–7 — коренные зубы M_1 *Microtus arvalis*; 8–11 — M^3 *Microtus* ex gr. *arvalis-obscurus*; 12, 13 — M^1 и 14, 15 — M^2 *Microtus* ex gr. *arvalis-obscurus*; 16–19 — M_1 *Microtus obscurus*; 20 — M_1 *Lagurus lagurus*; 21, 22 — M_1 *Eolagurus luteus*; 23 — M^3 *Eolagurus luteus*

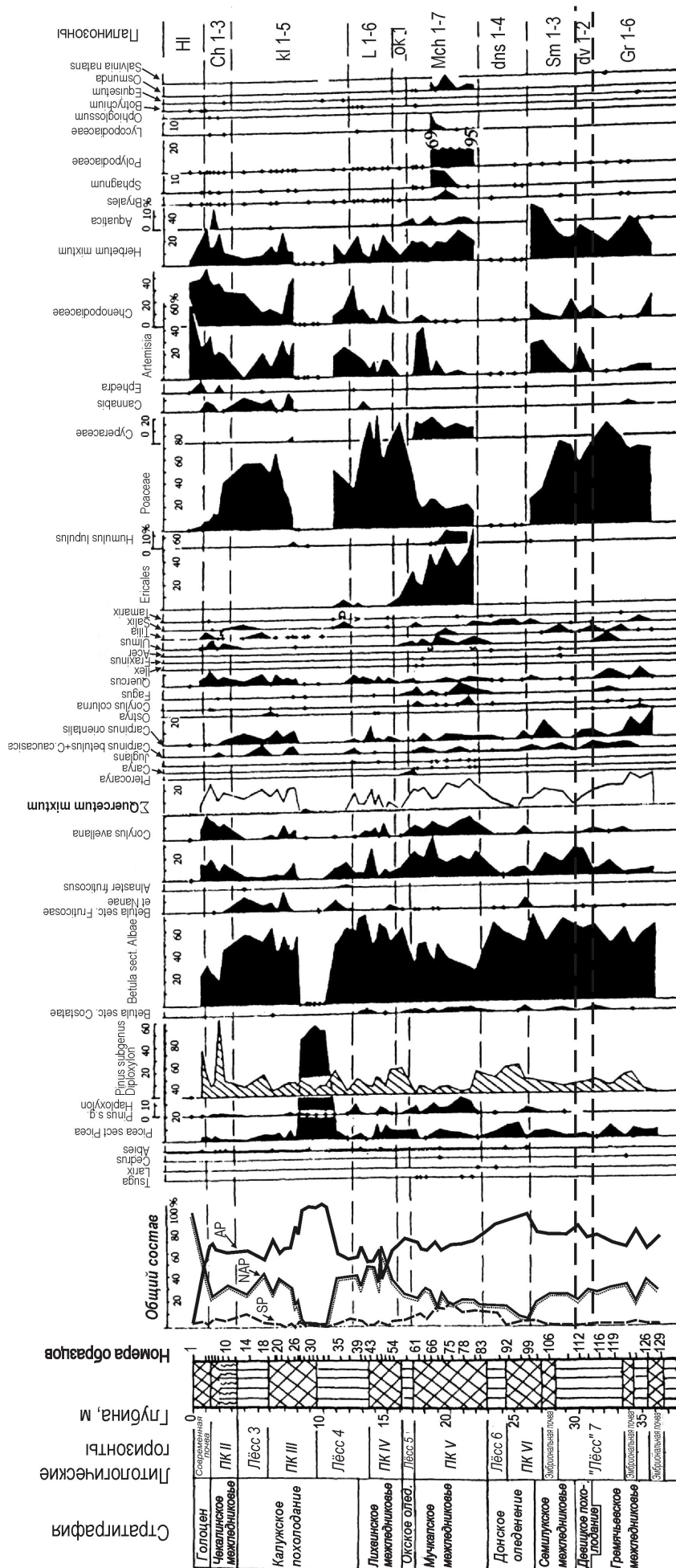


Рис. 4. Палинологическая диаграмма среднеплейстоценовых отложений разреза Отказное, вскрытых в профиле II. Условные обозначения к литологической колонке и общему составу пыльцы и спор см. на рис. 5

экотопах (в овражно-балочных понижениях, подветренных склонах долин и других убежищах) спасались редкие широколиственные деревья и кустарники — дуб (*Quercus robur*), граб восточный (*Carpinus orientalis*) и лещина (*Corylus avellana*).

В климатическом отношении *мучкапское межледниковье* (~610–535 тыс. л.н.) на территории Восточно-Европейской равнины отличалось от двух предшествующих межледниковий значительно большей влагообеспеченностью. В Восточном Предкавказье на протяжении всего межледниковья господствовали широколиственные леса. В самую оптимальную фазу превалировали полидоминантные широколиственные леса из граба (*Carpinus*), бука (*Fagus*), гикори (*Carya*), лапины (*Pterocarya*), ликвидамбра (*Liquidambar*), ореха (*Juglans*), каштана (*Castanea*) и других тепло- и влаголюбивых пород. Мучкапская палинофлора в разрезе Отказное среди описываемых флор самая разнообразная и богатая по числу неогеновых реликтов (табл. 2). Многие ее представители обитают ныне в районах субтропического, умеренно-теплого и умеренного климата Средиземноморья, Кавказа, Юго-Восточной Азии и Северной Америки, что позволяет говорить о ней как о самой тепло- и влаголюбивой плейстоценовой флоре Восточного Предкавказья. В исследуемом районе выпадало за год около 1500 мм осадков. Температура самого теплого месяца была близка или на 1–2 °С ниже современной, а температура самого холодного месяца примерно на 11 °С выше современной на этой территории.

Во время *окского оледенения* (~535–455 тыс. л.н.) в Восточном Предкавказье господствовали перигляциальные лесостепи и, вероятно, березовые и сосново-березовые редколесья, в которых подлесок составляли кустарниковая береза и ольховник. Почти полное исчезновение термофильных пород и присутствие *Betula nana* и *Alnaster fruticosus* — показатели значительного похолодания и континентализации климата, а также возможности существования участков многолетней мерзлоты.

Климатические условия *лихвинского межледниковья* (~455–360 тыс. л.н., МИС 11) по сравнению с климатом других межледниковых эпох неоплейстоцена были в рассматриваемом районе наиболее теплыми и сухими. Согласно палинологическим данным в разрезе к этому этапу относится время формирования ПК IV и перекрывающего его суглинка (рис. 4, 5). На протяжении всего межледниковья на территории Терско-Кумской низменности господствовали открытые лесостепные и степные ландшафты. Реконструированы 6 фаз в развитии растительного покрова (палинозоны L1–L6): L1 — лесостепи с господством разнотравно-злаковых степей и участием березовых и хвойно-березовых лесов; L2 — доминирование злаковых степей с участками орехово-дубовых из *Juglans regia* и *Quercus robur*; L3 — лесостепи с буково-грабовыми и хвойно-березовыми лесами; L4–L5 — лесостепи

эндотермального похолодания, представленные злаковыми степями, березняками, грабинниками (из *Carpinus orientalis*); L6 — лесостепи с господством разнотравно-злаковых сообществ и орехово-грабово-дубовых лесов.

Современная экология видов микротериофауны, костные остатки которых обнаружены в педокомплексе IV (табл. 1), также однозначно свидетельствует о преобладании открытых ландшафтов в период его формирования. Малый суслик, слепыш, обыкновенный хомяк, серый хомячок, желтая и степная пеструшки селятся исключительно в открытых степных, лесостепных и полупустынных биотопах. Малый суслик распространен в равнинных и низкогорных разнотравно-ковыльных степях и полынных полупустынях, к югу заходит в пустыни, в настоящее время обитает и в Предкавказье, где населяет горные степи низкогорий. Слепыши населяют степи, лесостепи и полупустыни, ведут подземный образ жизни, питаются в основном подземными частями растений (корнями, корневищами, луковичками и клубнями).

Хомяк обыкновенный — также обитатель степных ландшафтов, питается зелеными частями растений, семенами и корнеплодами. Серый хомячок распространен в настоящее время в злаковых и полынных степях, в том числе горных, а также населяет полужаженные пески, питается в основном семенами злаков, полыни, осоки и астрагала.

Ареал желтой пеструшки приурочен к пустыням и полупустыням. Населяет преимущественно участки с песчаными почвами, редким травостоем и зарослями кустарников. Основная пища — различные травянистые растения и полукустарнички. Ареал желтой пеструшки в плейстоцене был широким, особенно в периоды оледенений, когда этот вид был компонентом мамонтовой фауны [Маркова и др., 2008]. В настоящее время ареал резко сократился, и желтая пеструшка обитает лишь в Зайсанской котловине, Монголии и Китае. Степная пеструшка — типичный обитатель степей и полупустынь. Распространена в настоящее время в Восточной Европе, Казахстане, на юге Сибири до Енисея. Питается злаками, разнотравьем, полынными и др. Этот вид был постоянным компонентом мамонтовой фауны в позднем и среднем плейстоцене, когда его ареал расширялся к северу и западу вплоть до Британских островов [Markova, Puzachenko, 2007].

Обыкновенная и алтайская полевки обладают высокой экологической пластичностью и населяют обширные пространства Северной Евразии, предпочитая селиться на лугах и опушках лесов. В их рацион входит значительное число травянистых растений. Особое предпочтение они отдают злакам, бобовым и сложноцветным. Алтайская полевка обнаружена на среднепалеолитических стоянках Горного Крыма [Markova, 1999].

О существовании в *калужское похолодание* (~360–340 тыс. л. н., МИС 10) на Восточно-Европейской равнине ледникового покрова свидетельствуют и литологические, и палеоботанические данные. Морена калужского (вологодского) холодного этапа, по данным С.М. Шика [2014], распространялась до ее центральных районов. В разрезе Отказное в это время формировались лёсс-3, ПК III и лёсс-4 (профиль II, слои 9–20). Рассматриваемый криохрон был на исследуемой территории Восточного Предкавказья единственной ледниковой эпохой плейстоцена, когда в криогигротическую стадию оледенения пояс темнохвойных лесов Кавказа спускался вплоть до долины средней Кумы (рис. 4, 5). В самые холодные и сухие фазы калужского оледенения здесь господствовали перигляциальные лесостепи, где ведущими фитоценозами были участки степей, березовые редколесья и кустарниковые формации из *Betula nana*, *B. fruticosa*, *Alnaster fruticosus*, *Salix* spp. Все виды фауны грызунов, костные остатки которых обнаружены в верхней палеопочве ПК III, тяготеют к открытым пространствам: суслики, желтые и степные пеструшки — типичные обитатели степных ландшафтов, полевки *Microtus arvalis* — более мезофильные животные, обитающие в луговых биотопах. К ксерофильным условиям приспособлены общественные полевки *Microtus socialis*. В целом фауна грызунов из ПК III характеризует условия степных ландшафтов.

В доминировавших во время *чекалинского межледниковья* (~340–280 тыс. л.н.; МИС 9 и начало МИС 8) в районе средней Кумы в широколиственных лесах последовательно сменялись следующие формации: 1) липово-вязово-грабово-дубовые и орешниково-дубовые с березовыми древостоями; 2) липово-вязово-грабово-дубовые, ольховые и березовые формации эндотермального похолодания; 3) орешниково-дубово-грабовые леса с участием бука, липы, вяза и хмелеграба.

Жиздринское похолодание (~280–235 тыс. л.н., большая часть МИС 8) привело к господству в криоаридных ландшафтах Восточного Предкавказья березовых редколесий из *Betula pubescens* и *B. pendula* и кустарниковых ольховниково-ерниковых формаций из *Betula nana*, *B. fruticosa* и *Alnaster fruticosus* (рис. 5).

Во время *черепетьского межледниковья* (~235–200 тыс. л.н., МИС 7) в лёссовых областях Восточно-Европейской равнины, по данным Н.С. Болиховской [2004], господствовали широколиственные и хвойно-широколиственные леса. В Восточном Предкавказье специфичность растительности черепетьского межледниковья выражалась в господстве ксерофитных редколесий и кустарниковых формаций термофильного ряда — дубовых редколесий, дубово-орешниковых парковых лесов, грабинниковых и березовых лесов. По сравнению с чекалинским межледниковьем значительно сократился состав термофильных таксонов, а из древесно-кустарниковой флоры исчезли бук восточный (*Fagus orientalis*), граб кавказский (*Carpinus caucasica*), некото-

рые виды вяза (*Ulmus scabra*, *U. campestris*), клен (*Acer* sp.), шелковица (*Morus* sp.) и др. (табл. 2).

В *днепровскую ледниковую эпоху* (~200–140/145 тыс. л.н.; МИС 6) в разрезе Отказное накапливалась нижняя 14-метровая часть лёсса-1. В растительном покрове обеих ледниковых стадий этого периода доминировали перигляциальные полупустыни, степи и лесостепи, а во время разделявшего их межстадиала сначала расширялись площади злаковых и разнотравно-злаковых сообществ, а затем сосново-березовых лесов с примесью дуба, вяза, липы и граба.

Основу растительного покрова в *микулинское межледниковье* (~140/145–70 тыс. л.н., МИС 5) составляли широколиственные и мелколиственные леса. Об этом свидетельствуют палинологические данные анализа примерно 8-метровой пачки лёссовидных супесей, подстилающих современную почву водораздельного профиля в разрезе Отказное. Их накопление происходило в термоксеротическую стадию межледниковья. Отложения термогигротической стадии микулинского межледниковья в исследуемом районе не обнаружены. На относительно высокую степень ксерофитизации растительных сообществ указывают низкое содержание в палиносpectрах спор (1–5%), среди которых доминируют споры Polypodiaceae, и господство в группе пыльцы трав и кустарничков пыльцевых зерен злаков, полыни, маревых, конопли и эфедры, что свидетельствует о куртинном типе задернованности.

Реконструированы пять фаз в развитии лесов термоксеротической стадии межледниковья (палинозоны *Mk1–Mk5*) (рис. 5): *Mk1* — доминировали березовые леса из *Betula pendula* и *B. pubescens* с редкой примесью липы сердцелистной и вяза; *Mk2* — преобладали дубовые леса из *Quercus ilex* и *Q. robur* в качестве эдификаторов и участием *Q. petraea*, с примесью вяза и липы (*Tilia cordata*, *T. tomentosa*); *Mk3* — грабово-орешниково-дубовые и берестово-дубовые леса из *Carpinus betulus*, *Corylus colurna*, *Quercus petraea*, *Q. robur*, *Q. ilex*, *Ulmus carpinifolia*, с примесью липы (*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*) и вяза (*Ulmus laevis*) и обильным подлеском из лещины, широкое распространение имели черноольшаники; *Mk4* — вязово-дубовые леса из *Ulmus laevis*, *U. carpinifolia*, *Quercus robur*, *Q. pubescens*, *Q. petraea* с лещиной и бересклетом в подлеске, заметное участие имели березово-сосновые древостои; *Mk5* — дубовые и орешниково-вязово-дубовые ассоциации из *Quercus robur*, *Q. petraea*, *Q. ilex*, *Corylus colurna*, *Ulmus laevis*, *U. carpinifolia*, с участием граба обыкновенного и клена, с обильным подлеском из лещины с примесью кустарникового дуба (*Quercus pubescens*), а также черноольшаники.

К *валдайской ледниковой эпохе* (~70–11 тыс. л.н., МИС 4–2) относится формирование 1-й и 2-й надпойменных террас р. Кума [Болиховская, 1995].

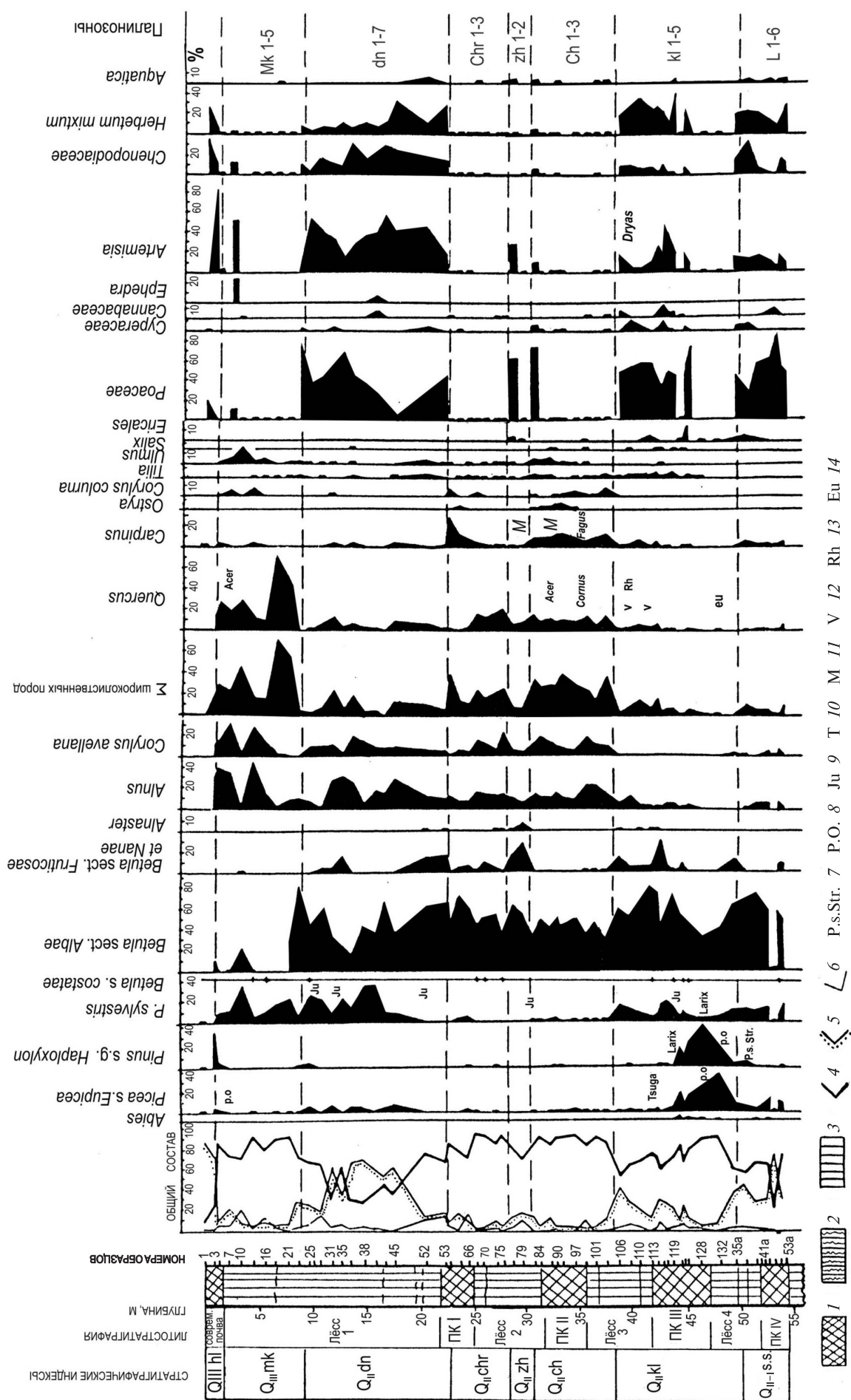


Рис. 5. Палинологическая диаграмма средне- и позднелейстеновых отложений разреза Отказное, вскрытых в профиле I: 1 — гумусовый горизонт ископаемых почв или ископаемая почва; 2 — иллювиальный горизонт ископаемых почв; 3 — лёсс; 4 — пыльца деревьев и кустарников; 5 — пыльца трав и кустарничков; 6 — споры; 7 — Pinus sect. Strobus; 8 — Picea sect. Omorica; 9 — Juniperus; 10 — Tamarix; 11 — Morus; 12 — Viburnum; 13 — Rhamnus; 14 — Euonymus. Стратиграфические индексы: QIV hl — голоцен; QIII mk — миклуинское межледниковье; QII dn — днепровское межледниковье; QI ch — черепетьское межледниковье; QII zh — жиздринское похолодание; QII ch — чекалинское межледниковье; QII kl — калуужское похолодание; QIII s.s. — лихвинское межледниковье

Согласно палиноспектрам отложений мощностью 18 м, слагающих высокий уровень 2-й террасы, в криогигротическую стадию валдайского времени в составе господствовавших перигляциальных лесостепей ведущими ассоциациями были участки березово-сосновых, березово-кедрово-сосновых редколесий, открытых местообитаний, занятых злаковыми и эрикоидными группировками, а также приречных ивняков и ольшаников. В криоксеротическую стадию долина р. Кума входила в зону перигляциальных полупустынь. Доминирующую роль играли полынно-маревые сообщества с участием *Artemisia* s.g., *Seriphidium* и s.g. *Dracunculus*, солянки, сарсазана шишковатого (*Halosnenum strobilaceum*), свинчатковых, молочайных и др., что свидетельствует о развитии солончаков и солонцеватых степей. Незасоленные субстраты заселялись разнотравно-злаковыми и осоково-злаковыми группировками. Ограниченно распространенные редколесья были представлены хвойно-березовыми древостоями из березы, сосны и ели с подлеском из можжевельника и кустарниковых видов березы.

Присутствие в спектрах небольшого количества (1–5%) пыльцы карликовой березы (*Betula* sect. *Nanae*) позволяет предполагать существование спорадически развитых многолетнемерзлых пород. Согласно палинологическому анализу отложений, слагающих более низкий уровень 2-й террасы, их накопление проходило в криоксеротическую стадию валдайской эпохи. Маломощный лёссовый покров 1-й надпойменной террасы формировался в перигляциальных полупустынных ландшафтах заключительной стадии валдайского оледенения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Балаев Л.Г., Царев П.В. Лёссовые породы Центрального и Восточного Предкавказья. М.: Наука, 1964. 248 с.

Balayev L.G., Tsarev P.V. L'ossovyye porody Central'nogo i Vostochnogo Predkavkaz'ya [Loess sediments of the Central and Eastern Caucasian forelands], Moscow, Nauka, 1964. 248 p. (in Russian).

Болыховская Н.С. Эволюция лёссово-почвенной формации Северной Евразии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 270 с.

Bolikhovskaya N.S. 1995. Evol'utsiya l'ossovo-pochvennoj formatsii Severnoj Evrazii [The Evolution of Loess-Paleosol Formation of Northern Eurasia], Moscow Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, 270 p. (in Russian).

Болыховская Н.С. Основные этапы развития растительности и климата в плейстоцене // География, общество, окружающая среда. Т. 1. Структура, динамика и эволюция природных геосистем. Гл. 3.6. М.: ГЕОС, 2004. С. 561–582.

Bolikhovskaya N.S. Osnovnyye etapy razvitiya rastitel'nosti i klimata v plejstocene [Principal stages of vegetation and climate evolution during the Pleistocene]. Geografiya, obschestvo, okruzhayushchaya sreda. Vol. 1. Struktura, dinamika i evol'utsiya prirodnykh geosistem. Gl. 3.6, Moscow: GEOS, 2004, pp. 561–582 (in Russian).

Выводы:

— на протяжении большей части неоплейстоцена, т.е. от гремьячевского межледникового до современности, западную территорию Терско-Кумской низменности занимали лесостепные межледниковые или лесостепные перигляциальные и экстрагляциальные ландшафты. Господство степей впервые в плейстоценовой истории проявилось здесь в одну из фаз термоксеротической стадии лихвинского межледникового. Сухостепные и полупустынные типы растительности, развитые на средней Куме в отдельные теплые интервалы эоплейстоцена, впервые на протяжении охарактеризованного периода приобрели доминирующее значение в криоксеротическую субстадию днепровского оледенения, а затем в такую же стадию валдайского оледенения, но в эти холодные эпохи имели все черты перигляциальных фитоценозов;

— широколиственные леса разного состава были неизменными компонентами межледниковых степных и лесостепных ландшафтов. Господство лесных ландшафтов с полной определенностью установлено для 5 интервалов. Во время мучкапского межледникового доминировали широколиственные полидоминантные и олигодоминантные леса с высокой долей субтропических пород. Широколиственные леса, отличавшиеся степенью мезо- и ксерофитности, занимали бассейн средней Кумы также в чекалинскую, черепетскую и микулинскую межледниковые эпохи. В отдельные фазы криогигротической стадии калужского оледенения на исследуемой территории преобладали еловые и кедрово-еловые леса.

Болыховская Н.С., Молодков А.Н. К корреляции континентальных и морских четвертичных отложений Северной Евразии по палинологическим данным и результатам ЭПР датирования // Актуальные проблемы палинологии на пороге третьего тысячелетия. М.: Изд. ИГиРГИ, 1999. С. 25–53.

Bolikhovskaya N.S., Molodkov A.N. K korrelyatsii kontinental'nykh i morskikh chetvertichnykh otlozhenij Severnoj Evrazii po palinologicheskim dannym i rezul'tatam EPR datirovaniya [On the correlation of the Quarternary continental and marine sediments of the Northern Eurasia by pollen data and results of ESR dating], Aktual'nyye problemy palinologii na poroge tret'yego tysyacheletiya. Moscow: Izdanie IGI RGI, 1999, pp. 25–53 (in Russian).

Вирина Е.И., Ударцев В.П., Фаустов С.С., Чернова Л.М. Палеомагнитная стратиграфия лёссовых отложений Предкавказья // Четвертичный период: методы исследования, стратиграфия и экология: Тез. VII Всесоюз. сов. Т. 1. Таллин: Изд. ин-та геологии АН Эстонии, 1990. С. 120–121.

Virina YE.I., Udartsev V.P., Faustov S.S., Chernova L.M. Paleomagnitnaya stratigrafiya l'ossovykh otlozhenij Predkavkaz'ya [Paleomagnetic stratigraphy of loess sediments of the Caucasian forelands]. Chetvertichnyj period: metody issledo-

vaniya, stratigrafiya i ekologiya. Tezisy VII Vses. Soveshch., Tallinn: Izdanie Instituta geologii AN Estonii, 1990, V. 1, pp. 120–121 (in Russian).

Гвоздецкий Н.А. Кавказ. Очерк природы. М.: Географиз, 1963. 264 с.

Gvozdetskiy N.A. Kavkaz. Ocherk prirody [Caucasus: a sketch of the nature], Moscow: Geografiz, 1963, 264 p. (in Russian).

Маркова А.К. Реконструкция палеоландшафтов лихвинского межледникового по материалам фаун мелких млекопитающих Восточной Европы // Изв. РАН. Сер. геогр. 2004. № 2. С. 39–51.

Markova A.K. Rekonstruktsiya paleolandshtafrov likhvinskogo mezhlednikov'ya po materialam faun melkih mlekopitayuschikh Vostochnoj Evropy [Likhvin Interglacial palaeolandscape reconstruction by the materials of Eastern European small mammal faunas], Izvestiya RAN, Seriya geograficheskaya, 2004, no 2, pp. 39–51 (in Russian).

Маркова А.К., ван Кольфсхотен Т., Бохнке Ш. и др. Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24–8 тыс. л. н.). М.: Изд-во КМК, 2008. 556 с.

Markova A.K., van Kol'fskhoten T., Bohnke Sh., Kosintsev P.A., Mol I., Puzachenko A.U., Simakova A.N., Smirnov N.G., Verpoorte A., Golovachev I.B. Evol'utsiya ekosistem Evropy pri perehode ot plejstotsena k golotsenu (24–8 tys. l. n.) [Evolution of European ecosystems during Pleistocene — Holocene transition (24–8 kyr BP)], Izdatel'stvo KMK, 2008, 556 p. (in Russian).

Молодьков А.Н., Болиховская Н.С. Климато-хроностратиграфическая схема неоплейстоцена Северной Евразии (по данным палинологического, ЭПР и ИК-ОСЛ анализов отложений) // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. Вып. 3: Мат-лы Всеросс. науч. конф. “Марковские чтения 2010 года”. М., 2011. С. 44–76.

Molodkov A.N., Bolikhovskaya N.S. Klimato-khronostratigraficheskaya skhema neoplejstotsena Severnoj Evrazii (po dannym palinologicheskogo, EPR i IK-OSL analizov otlozhenij) [Climato-chronostratigraphic framework of the Neopleistocene of Northern Eurasia, based on pollen, electron spin resonance, and infrared optically stimulated luminescence analyses of deposits]. Problemy paleogeografii i stratigrafii plejstotsena. V. 3. Sbornik nauchnykh statej. Materialy Vserossijskoj nauchnoj konferencii “Markovskiye chteniya 2010 goda”, Moscow, Geograficheskij fakul'tet MGU, 2011, pp. 44–76 (in Russian).

Морозов Д.Р. Микроморфологические особенности плейстоценового почвообразования Восточного Предкавказья // Бюлл. Почв. ин-та имени В.В. Докучаева. 1989. № 51. С. 21–24.

Morozov D.R. Mikromorfologicheskiye osobennosti plejstotsenovogo pochvoobrazovaniya Vostochnogo Predkavkaz'ya [Micromorphological features of Pleistocene soil formation in the Eastern Cis-caucasia], B'ull. Pochv. Instituta im. V.V. Dokuchayeva, 1989, no 51, pp. 21–24 (in Russian).

Морозов Д.Р., Тимирева С.Н., Чиколени Н.И. Свойства лёссово-почвенной толщи ключевого участка “Отказное” (Восточное Предкавказье) в связи с палеогеографическими условиями их образования // Инженерная геология лёссовых пород: Тез. докл. Всесоюз. сов. Кн. 2. Ростов н/Д, 1989. С. 105–107.

Morozov D.R., Timireva S.N., Chikolini N.I. Svoystva l'ossovo-pochvennoj tolschi kl'uchevogo uchastka “Otkaznoye” (Vostochnoye Predkavkaz'ye) v svyazi s paleogeogra-

ficheskimi usloviyami ikh obrazovaniya [Properties of loess-soil strata in key site “Otkaznoye” (Eastern Ciscaucasia) in connection with the paleogeographic conditions of their formation]. Inzhenernaya geologiya l'ossovykh porod, Tezisy dokladov Vsesoyuznogo soveschaniya, Rostov n/D, 1989, V. 2, pp. 105–107 (in Russian).

Ударцев В.П., Болиховская Н.С., Вирина Е.И. Опорные разрезы, хроностратиграфия и палеогеография лёссовых толщ Предкавказской лёссовой области // Инженерная геология лёссовых пород: Тез. докл. Всесоюз. сов. Кн. 2. Ростов н/Д, 1989. С. 102–103.

Udartsev V.P., Bolikhovskaya N.S., Virina Ye.I. Opornyye razrezy, khronostratigrafiya i paleogeografiya l'ossovykh tolsch Predkavkazskoj l'ossovoj oblasti [Reference sections, chronostratigraphy and paleogeography of the loess sediments of Ciscaucasian loess region]. Inzhenernaya geologiya l'ossovykh porod, Tezisy dokladov Vsesoyuznogo soveschaniya, Rostov n/D, 1989, V. 2, pp. 102–103 (in Russian).

Ударцев В.П., Цацкин А.И. Проблемы стратиграфии и корреляции среднего плейстоцена ледниковой и перигляциальной формаций восточной половины Русской равнины // Четвертичный период. Палеогеография и литология. Кишинев: Штиинца, 1989. С. 193–200.

Udartsev V.P., Tsatskin A.I. Problemy stratigrafii i korrelyatsii srednego plejstotsena lednikovoj i periglyatsial'noj formatsii vostochnoj poloviny Russkoj ravniny [Problems of stratigraphy and correlation of the Middle Pleistocene of glacial and periglacial formations in the eastern part of the Russian plain]. Chetvertichnyj period. Paleogeografiya i litologiya, Kishinev: Shtiinca, 1989, pp. 193–200 (in Russian).

Файнер Ю.Б., Лизогубова Р.Н. Расчленение отложений лёссовой формации степного Ставрополя и ее корреляция с образованиями перигляциальной зоны Евразии // Инженерно-геологические особенности цикличности лёссов. М.: Наука, 1987. С. 103–109.

Fajner Yu.B., Lizogubova R.N. Raschleneniye otlozhenij l'ossovoj formatsii stepnogo Stavropol'ya i yeye korrelyatsiya s obrazovaniyami periglyatsial'noj zony Evrazii [The subdivision of deposits of loess formation of steppe Stavropol Territory and its correlation with deposits of the periglacial zone of Eurasia]. Inzhenerno-geologicheskiye osobennosti tsiklichnosti l'ossov, Moscow, Nauka, 1987, pp. 103–109 (in Russian).

Фаустов С.С., Вирина Е.И. О стратиграфическом положении границы Матюяма-Брюнес в лёссовой формации Русской равнины // Бюлл. комиссии по изучению четвертич. периода. 2001. № 64. С. 21–31.

Faustov S.S., Virina YE.I. O stratigraficheskom polozhenii granitsy Matuyama-Br'unes v l'ossovoj formatsii Russkij ravniny [The stratigraphic position of Matuyama-Brunhes boundary in loess formation of the Russian plain], B'ulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda, 2001, no 64, pp. 21–31 (in Russian).

Шелкоплас В.Н., Куликова Л.С., Галай Б.Ф. Геохронология лёссовых толщ Центрального Предкавказья по термолуминесцентным и палеомагнитным данным // Инженерно-геологические особенности цикличности лёссов. М.: Наука, 1987. С. 109–114.

Shelkoplyas V.N., Kulikova L.S., Galay B.F. Geokhronologiya l'ossovykh tolsch Tsentral'nogo Predkavkaz'ya po termol'uminescentnym i paleomagnitnym dannym [Geochronology of loess strata of the Central Ciscaucasia by thermoluminescence and paleomagnetic data]. Inzhenerno-geologicheskiye osobennosti tsiklichnosti l'ossov, Moscow, Nauka, 1987, pp. 109–114 (in Russian).

Шик С.М. Неоплейстоцен центра Русской равнины: современные представления о стратиграфии и палеогеографии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2014. Т. 22, № 2. С. 108–120.

Shik S.M. Neopleistocene of the European Russia Centre: modern concepts of stratigraphy and paleogeography [The Neopleistocene of the European Russia Centre: modern concepts of stratigraphy and paleogeography], *Stratigr. Geol. Korrel.*, 2014, V. 22, no 2, pp. 108–120 (in Russian).

Bolikhovskaya N.S. The Pleistocene and Holocene of the North-Western Caspian Sea Region: climatostratigraphy, correlation and palaeoenvironments // *Stratigraphy and sedimentology of oil-gas basins. Baku, Azerbaijan*, 2011, no 1, pp. 3–30.

Markova A., Puzachenko A. Late Pleistocene mammals of Northern Asia and Eastern Europe. Vertebrate records // *Encyclop. Quaternary Sc.* 2007, V. 4, Elsevier B.V., pp. 3158–3174.

Markova A.K. Small mammal fauna from Kabazi II, Kabazi IV, and Starosele: paleoenvironments and evolution // *The Paleolithic of Crimea, II. The Middle Paleolithic of Western Crimea*, V. 2, ERAUL-87, Liege, 1999, pp. 75–98.

Molodkov A.N., Bolikhovskaya N.S. Climato-chronostratigraphic framework of the Pleistocene terrestrial and marine deposits of Northern Eurasia, based on pollen, electron spin resonance, and infrared optically stimulated luminescence analyses // *Eston. J. Earth Sc.* 2010, V. 59, no 1, pp. 49–62.

Singer B.S., Hoffman K.A., Chauvin A. et al. Dating transitionally magnetized lavas of the late Matuyama Chron: Toward a new $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ timescale of reversals and events // *J. Geophys. Res.* 1999, no 104, pp. 679–693.

Поступила в редакцию
19.07.2014

N.S. Bolikhovskaya, A.K. Markova, S.S. Faustov

EVOLUTION OF ENVIRONMENTAL AND CLIMATIC CONDITIONS WITHIN THE TEREK-KUMA LOWLAND DURING THE PLEISTOCENE

The article deals with paleogeography and stratigraphy of the Pleistocene in the Terek-Kuma Lowland, a most arid region of Russia (north-western part of the Caspian Lowland or the Eastern Cis-Caucasus). The results of detailed palinological, paleomagnetic and microteriological examination of the Otkaznoye reference sequence (the Middle Kuma River valley) are for the first time analyzed in an integrated manner. The reference sequence composed of loess-soil, alluvial and proluvial-alluvial strata is unique in its depth (about 160 m) and stratigraphical completeness. As a result of its detailed climatic-stratigraphic subdivision the paleoclimatic stages were reconstructed and correlated with marine isotope stages. Climate and landscape changes and successions of plant formations within the Terek-Kuma Lowland during all ice ages and interglacial periods of the Middle and Late Pleistocene, as well as several stages of the Early Pleistocene, are described. The results of detailed palinological analysis of a deepest loess-soil sequence in Northern Eurasia, the reconstruction of landscape-climatic conditions of soil formation and loess accumulation during the Pleistocene and the climatic-stratigraphic schemes have no analogues in foreign scientific publications dealing with paleogeography and stratigraphy of loess-soil strata in loess areas of North and South America, Western and central Europe, Central Asia and China.

Key words: paleoenvironments, paleoclimate, Pleistocene, palinological, paleomagnetic and microteriological analyses, Eastern Cis-Caucasus, the Otkaznoye reference sequence.

УДК: 551.78:552.5

Т.Н. Воскресенская¹, О.Н. Лефлаг²

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ КОТЛОВИНЫ ОЗЕРА ИССЫК-КУЛЬ В ПЛЕЙСТОЦЕНЕ

На основании комплексного анализа новейших озерных отложений Иссик-Кульской межгорной впадины выполнена палеогеографическая реконструкция основных природных событий на рубеже плиоцена и плейстоцена. В плиоцене палео-Иссик-Куль занимал значительно большую площадь, чем современное озеро. Озера существовали и в других межгорных котловинах Тянь-Шаня, но на рубеже плиоцена и плейстоцена большинство озер было спущено. Иссик-Куль не только сохранился, но трансформировался в глубоководный водоем. Установлены неоднократные значительные перестройки озера. Общая тенденция развития Иссик-Куля — направленное сокращение площади водоема и снижение его уровня — прослежена по материалам изучения глубоких скважин и разрезов. На рубеже плиоцена и плейстоцена не только изменился объем озера, но и значительно увеличилась высота окружающих его горных хребтов, произошла перестройка гидрографической сети в горах и появилось горное оледенение. Изменения природной обстановки, особенно рельефа, были настолько значительны, что привели к возникновению новых плейстоценовых ландшафтов

Ключевые слова: нижняя граница плейстоцена, озерные отложения Иссик-Кульской котловины, гранулометрический, минералогический, геохимический состав новейших отложений.

Введение. Положение нижней границы плейстоцена в настоящее время привлекает особое внимание. Решением Международного стратиграфического комитета от 2008 г. нижняя граница была перенесена на начало галасийского века (2,66 млн л.н.). Главными основаниями для этого стали климатостратиграфические признаки глобального понижения температуры, полученные с применением изотопных методов для океанических осадков. На континентальных территориях с разнообразной палеогеографической обстановкой хронологический интервал 1,8–2,6 млн л.н. изучен пока недостаточно.

Постановка проблемы. Для реконструкций палеогеографической обстановки, которая существовала на рубеже плиоцена и плейстоцена на территории Северного Тянь-Шаня, расположенного во внутриматериковой области Евразии, перспективно изучение отложений озер, существовавших в межгорных впадинах. Толщи древних озерных осадков распространены во многих котловинах Тянь-Шаня (Нарынской, Ферганской, Кочкорской, Атбашинской и др.). Многие из древних озер занимали обширную площадь и существовали в течение длительного времени [Максимов, 1985]. Мощность накопившихся озерных осадков в ряде депрессий превышает 2000 м, например в Нарынской котловине. Однако на рубеже неогена и плейстоцена большинство озер прекратило существование. Озеро Иссик-Куль, напротив, не только сохранилось, но и трансформировалось в глубоководный водоем.

Отсюда следует, что озерные осадки Прииссык-куля могут служить надежным источником информации о развитии природы этого региона в позднем кайнозое.

Материалы и методы исследований. Палеогеографические события, происходившие в Прииссык-куле на рубеже позднего плиоцена и плейстоцена, мы реконструировали на основании результатов изучения новейших озерных отложений, вскрытых опорными разрезами и скважинами глубокого бурения. Условия осадконакопления характеризуются с помощью комплекса методов (гранулометрический, минералогический, геохимический, спорово-пыльцевой и диатомовый анализы). Для определения возраста применялись палеомагнитный и термолюминесцентный методы [Куликов и др., 1973].

Иссик-Кульская межгорная впадина расположена на территории, испытавшей длительный этап континентального развития. Заложение впадины в качестве депрессионной структуры относится ко времени герцинского орогенеза. Внутренняя часть депрессии имеет сложное блоковое строение, кристаллический фундамент погружен на глубину 8500 м. Структурно-тектоническое оформление Иссик-Кульской депрессии в плане, близком к современному, связано с новейшим геологическим этапом, начало которого на Тянь-Шане относится к рубежу эоцена и олигоцена. Горное обрамление впадины испытывало тенденцию к поднятию, в то время как днище впадины погружалось, что способствовало

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, научно-исследовательская лаборатория новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, ст. науч. с., канд. геогр. наук; e-mail: kavosk@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, доцент, канд. геогр. наук; e-mail: onl38@mail.ru

накоплению мощных толщ (до 4000 м) кайнозойских молассовых отложений, среди которых значительная роль принадлежит озерным фациям. Изучение новейших отложений позволило подтвердить древнее происхождение озера, установить особенности его эволюции в кайнозое [Воскресенская, 1991].

Результаты исследований и их обсуждение. Палеогеографические события, имевшие место в Прииссыккулье на рубеже плиоцена и плейстоцена, реконструированы нами с помощью изучения разрезов отложений, расположенных на побережье восточной и южной частей котловины, которые отличаются в структурно-тектоническом отношении. Наиболее значительная мощность осадочных отложений с максимальным возрастным диапазоном вскрыта глубоким бурением в восточной части котловины, в том числе скважинами Джергаланская и Сухой хребет (рис. 1). На южном побережье озера расположен разрез горы Шарпылдаг, выделенный С.С. Шульцем в качестве стратотипического для нерасчлененных осадков позднего плиоцена—раннего плейстоцена (шарпылдакская свита) [Шульц, 1955].

Строение разреза г. Шарпылдаг подробно изучено в абразионном обрыве высотой более 100 м над урезом оз. Иссык-Куль. Среди новейших отложений выделяются толщи, различающиеся по составу, возрасту и происхождению. В основании разреза вскрыта дислоцированная толща переслаивающихся алевроитов и песчаников (верхнеплиоценовые осадки джуукинской свиты). Залегающие в ее кровле зеленоватые алевроиты имеют возраст $>1,5$ млн лет (МГУ-КТЛ-191) [Куликов и др., 1973].

Алевроиты и тонкозернистые глинистые песчаники окрашены в серо-голубые, кремовые, реже коричневатые тона. Для прослоев характерна плитчатая и листоватая отдельность. Отмечены ноздреватые

горизонты плотной карбонатной цементации. Сортировка отложений средняя. Максимальное содержание глинистых частиц достигает 52,15%, алевроитовых — 60,57%. Песчаники среднезернистые, светло-серые, розовато-серые, хорошо отсортированные. Разнозернистые розоватые песчаники содержат гравий, щебень, гальку из гранитоидов, кварцитов, ороговикованных сланцев. Среди терригенных минералов тяжелой фракции преобладает роговая обманка (44,4%), эпидота содержится 9,2%, биотита — 6,5%. Отмечены хлорит, пироксены, ильменит, сфен (не более 2–7%). В легкой фракции содержится до 25% кварца, до 60% полевых шпатов.

Химический состав характеризуется значительной карбонатностью, которая резко колеблется по разрезу (7,7–87,5%). Засоление толщи неравномерное (0,132–1,525%). Преобладают хлоридно-натриевый и натриево-хлоридный типы засоления. Глинисто-алевровитовые прослои наименее карбонатны (7,7–15,4%) и наиболее засолены (1,123–1,525%), песчаные прослои наиболее карбонатные (30%), но практически не засолены. Литологические особенности позволяют считать эти отложения озерными (пляжевые, прибрежные, мелководные и лагунные фации), формировавшимися в аридных условиях в прибрежной части озера.

Во время формирования верхнеплиоценовых отложений днище котловины и низкие предгорья были заняты степными ландшафтами. В горах леса в основном сосново-березовые с примесью широколиственных пород занимали большую площадь по сравнению с современной. Участие в составе лесов широколиственных пород, ныне в этом районе не произрастающих (дуб, липа, вяз, грецкий орех), свидетельствует о древности отложений и более мягком климате [Алешинская, 1972].

С размывом и угловым несогласием на верхнеплиоценовых отложениях залегает плохосорти-



Рис. 1. Орогидрографическая схема Иссык-Кульской впадины с положением разрезов и скважин: I — разрез Шарпылдаг, II — скважина Джергаланская, III — скважина Сухой хребет

рованная песчано-гравийно-щебнистая толща с суглинистым заполнителем мощностью 105 м — шарпылдакская свита (нерасчлененные верхнеплиоцен-нижнеплейстоценовые отложения). В нижней части свиты на глубине 80–105 м преобладают слабодислоцированные озерно-пролювиальные осадочные образования, в средней (глубина 36,5–80 м) — более грубые озерно-пролювиальные, а в верхней (0–36,5 м) — пролювиальные отложения. Разная степень дислоцированности отложений — следствие неоднократного проявления тектонических подвижек. Смена озерного режима осадконакопления на пролювиальный свидетельствует о тенденции к понижению уровня озера.

В основании верхней толщи на глубине 35,5–36,5 м залегает слой конглобрексии с карбонатным цементом, возраст которого составляет 680 ± 78 тыс. лет (МГУ-ТЛ-39). Образование карбонатной цементации могло происходить в прибрежной зоне озера в ходе колебаний его уровня при смене субаквального и супераквального режимов. Активное осаждение карбонатов характерно и для современной прибрежной зоны озера (местные названия цементации коряжник, шквара). Как известно, карбонатные новообразования составляют отличительную особенность прибрежной зоны водоемов аридной зоны.

Отложения, залегающие ниже горизонта конглобрексии, на глубине 38 м имеют возраст 730 ± 82 тыс. лет (МГУ-ТЛ-33), а выше, на глубине 32 м — 570 ± 63 тыс. лет (МГУ-ТЛ-38). Таким образом, прослой конглобрексии фиксирует смену режима осадконакопления на одном из важных возрастных рубежей.

Этот же рубеж выявляется при палеомагнитных исследованиях, которые показали, что зона прямой полярности охватывает верхнюю часть шарпылдакской свиты в интервале глубины 0–36,5 м. Зона обратной полярности охватывает верхи джуужинской свиты и большую часть шарпылдакской свиты в интервале 36,5–105 м.

Во время аккумуляции шарпылдакской свиты в растительном покрове днища котловины господствовали степные и полупустынные ландшафты с лебедово-полынными, эфедровыми и злаково-разнотравными ассоциациями. В горах и предгорьях произрастали небольшие массивы сосновых и березовых лесов с участием ели, ольхи, широколиственных пород [Алешинская, 1972]. Сокращение лесов, обеднение их состава указывают на смену влажных и теплых условий времени формирования позднеплиоценовых отложений более сухими и холодными условиями плейстоцена.

Итак, на южном побережье озера во время аккумуляции шарпылдакской свиты условия осадконакопления кардинально изменились в результате неоднократного проявления дифференцированных тектонических подвижек. В связи с поднятием побережья изменилось положение береговой линии,

субаквальное осадконакопление сменилось прибрежным супераквальным, пролювиальным, а затем прекратилось. Произошла инверсия рельефа — возникла положительная структура, в дальнейшем осложненная многочисленными разрывными дислокациями, — г. Шарпылдаг. В подводном рельефе озера в районе г. Шарпылдаг зафиксированы следы подводных опусканий в виде крутых обрывов тектонического происхождения, а также следы регрессий в виде древних береговых линий [2].

Весьма условно, учитывая полученные результаты палеомагнитного и термолюминисцентного анализов, можно предположить, что время формирования верхней толщи шарпылдакской свиты в пределах зоны прямой палеомагнитной полярности (0–36,5 м) в какой-то мере совпадало с временем формирования в Прикаспии бакинских отложений, средней толщи (36,5–80 м) — апшеронских, а нижней верхнеплиоценовой (80–105 м) — акчагыльских отложений.

Наиболее полные разрезы новейших отложений в Иссык-Кульской впадине приурочены к Джергаланскому прогибу, расположенному в восточной части котловины, в низовьях р. Джергалан (рис. 2). Отложения вскрыты скважиной до глубины 1521 м; развитые на этой глубине озерные осадки датируются поздним миоценом на основании определения моллюсков, выполненного Г.Г. Мартинсоном (данные приводятся в работе [Турбин, Александрова, 1966]). Нами с применением сопряженного метода изучены осадки в интервале 95–580 м [6]. Отложения в интервале 395–580 м отнесены к джуужинской свите (верхний плиоцен). Толща осадков на глубине 95–395 м относится к шарпылдакской свите (верхний плиоцен–нижний плейстоцен). Верхние 95 м разреза сложены аллювиальными, хорошо промытыми среднеплейстоценовыми песками. Природные обстановки формирования этих толщ различались довольно значительно.

Джуужинская свита (395–580 м) представлена переслаивающимися алевритами, опесчаненными алевритами, глинистыми песчаниками, кавернозными известняками. Алевриты серые, пятнистые, изредка слоистые, полимиктовые с глинистым или карбонатным цементом. В минералогическом составе тяжелой фракции ведущая роль принадлежит амфиболам и пироксенам (до 70%), минералы имеют свежий облик, обычно не окатаны. Отличительная особенность толщи — обилие новообразованных минералов. Аутигенные сульфиды составляют в среднем 30% тяжелой фракции (рис. 3).

Карбонатные новообразования представлены пелитоморфными стяжениями, содержание которых составляет в среднем 30%, (максимально 75%). По данным геохимического анализа общее содержание CaCO_3 в отложениях толщи варьирует от 1,6 до 25,4%; содержание воднорастворимых соединений колеблется от 0,087 до 0,275%, т.е. отложения не засолены.

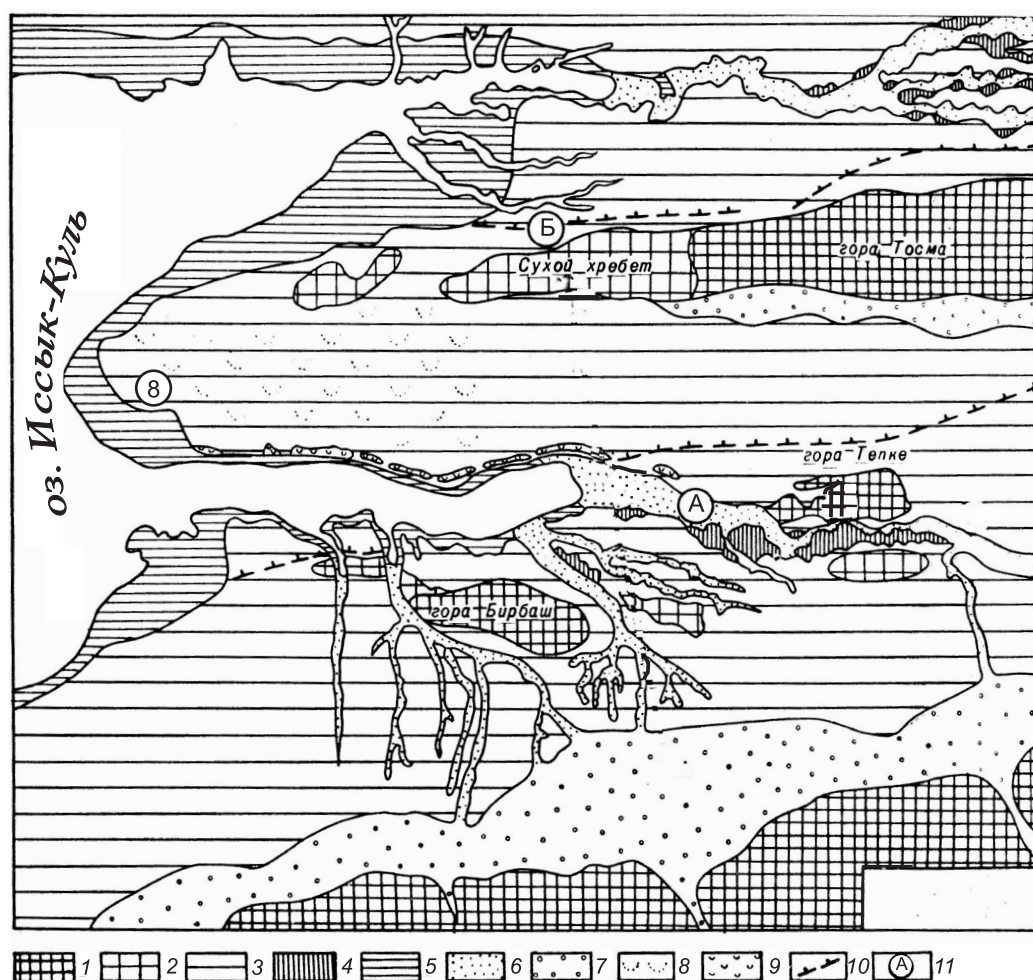


Рис. 2. Геоморфологическая схема участка восточной части Иссик-Кульской котловины:

1 — расчленённый рельеф предгорий и брахиантиклинальных поднятий (плиоцен—плейстоцен); 2 — увалистый рельеф на крыльях брахиантиклинальных поднятий (плиоцен—плейстоцен); 3 — озерно-аллювиальная аккумулятивная равнина (средний и поздний плейстоцен); 4 — цокольные речные террасы (поздний плейстоцен); 5 — озерная терраса (голоцен); 6 — низкие аллювиальные террасы (голоцен); 7 — конусы выноса (средний и поздний плейстоцен); 8 — древний эоловый рельеф (поздний плейстоцен—голоцен); 9 — эоловый бугристый рельеф (современный); 10 — уступы тектонического происхождения (поздний плейстоцен—голоцен); 11 — местоположение разрезов: А — скважина Джергаланская, Б — скважина Сухой хребет

Днище котловины и низкие предгорья были заняты степными ландшафтами (злаки, лебедовые, полыни, эфедра). В горах леса, в основном хвойные из ели, сосны, с примесью пихты, занимали большую площадь, чем теперь. Широколиственные породы принимали незначительное участие в растительном покрове [Алешинская и др., 1972]. Климат был теплее и влажнее современного.

Таким образом, осадконакопление в озере происходило в обстановке замедленного сноса с суши (тонкий состав отложений, наличие прослоев известняков) и относительно менее расчлененного рельефа. Климатические условия были засушливы и не слишком благоприятны для химического выветривания, о чем свидетельствуют хорошая сохранность неустойчивых терригенных минералов и преимущественно монтмориллонитовый состав глинистой ассоциации с примесью магнезиальных силикатов. Однако климат был влажнее, чем в настоящее время, — в осадках отмечается обилие аутигенного пирита, возникновение которого стиму-

лируется присутствием органического вещества. Отсутствие солевой аккумуляции в озерных отложениях в восточной части котловины свидетельствует о том, что вода была пресной, вероятно, среднеминерализованной.

Шарпылдакская свита, вскрытая в скважине Джергаланская (95–395 м), сложена озерными осадочными отложениями: переслаивающимися серовато-зелеными алевритами, опесчаненными алевритами, реже песчаниками. Гранулометрический состав отложений в целом более грубый (возрастает роль песков, уменьшается содержание глинистых частиц), чем в джуужинской свите. Изменчивость показателей гранулометрического и минералогического состава отражает неустойчивый режим, присущий прибрежной части озера с набором озерных (пляжевых, лагунных) и дельтовых фаций. Геохимические характеристики также показывают изменчивость прибрежного режима — возрастает контрастность содержания CaCO_3 и воднорастворимых соединений, в целом состав водной вытяжки

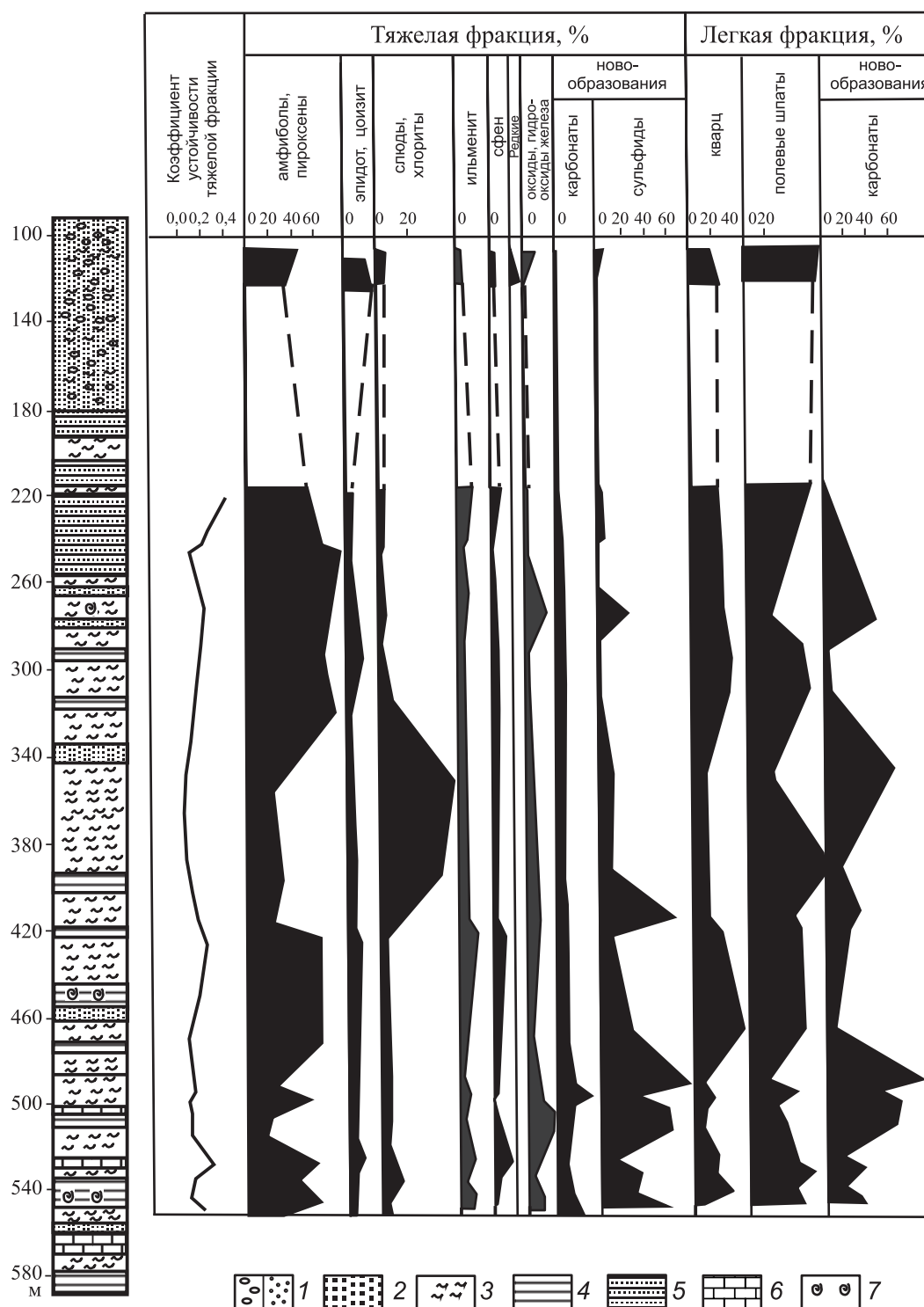


Рис. 3. Минералогический состав отложений в Джергаланской скважине:

1 — галька, гравий; 2 — песок; 3 — алеврит; 4 — глина; 5 — песчаник; 6 — известняк; 7 — раковины моллюсков

указывает на возросшую роль речных вод в формировании озерных водных масс. По смене мелководных фаций прибрежными фиксируется понижение уровня озера.

В горах, окружающих озеро, в результате неотектонических поднятий происходила перестройка речной сети, изменялись области сноса. Это отразилось в минералогическом составе осадков. В разрезе Джергаланской скважины в интервале глубины 320–395 м резко уменьшается содержа-

ние амфиболов и пироксенов при одновременном увеличении количества хлоритов и слюд (до 59%), т.е. почти в 10 раз (рис. 3). Скорее всего, подобные изменения связаны с перестройкой питающих провинций — среди источников сноса сократилась роль гранитоидов и возросла метаморфических сланцев.

Во время формирования шарпылдакской свиты в котловине господствовали степные и полупустынные ландшафты. Содержание пыли травянистых

и кустарничковых растений достигает 99%. Сумма пыльцы древесных и кустарниковых пород колеблется от 1 до 21%, причем преобладает пыльца кустарниковых [Алешинская и др., 1972]. Низкое содержание пыльцы древесных пород указывает на значительное сокращение лесов в горах вследствие изменения климата в сторону более прохладного и сухого.

Таким образом, в пределах Джергаланского прогиба отложения шарпылдакской свиты, состоящие преимущественно из прибрежных озерных фаций, образовались при более низком положении уровня озера, чем в позднем плиоцене. Регрессия и сокращение площади озера происходили вследствие активизации тектонических движений как в прибрежной части озера, так и в его горном обрамлении. Однако, в отличие от южного побережья (Шарпылдакский разрез), озерное осадконакопление в прогибе не прекращалось, причем скорость аккумуляции была очень высокой.

Выводы:

— озерные водоемы в позднем кайнозое были распространены во многих котловинах Тянь-Шаня. На рубеже плиоцена и плейстоцена большинство озер было спущено в связи с активизацией тектонических движений альпийской складчатости. В Иссык-Кульской впадине озеро не только сохранилось, но и трансформировалось в глубокоководный водоем. Палео-Иссык-Куль в плиоцене занимал значительно большую площадь, чем современный, о чем свидетельствуют широкое распространение и значительная мощность озерных осадков джуукинской свиты в разных частях котловины. Общая тенденция развития Прииссыккуля на рубеже плиоцена и плейстоцена — прогрессирующее снижение уровня озера и сокращение его площади — прослеживается во всех изученных разрезах;

— сравнительный анализ процессов осадконакопления в разрезах с разными структурно-тектоническими условиями показал, что в зоне устойчивого прогибания (Джергаланский разрез), несмотря на сокращение площади водоема, озерный режим на рубеже плиоцена и плейстоцена сохранялся

(мощность озерных отложений ~300 м). Осадконакопление в прогибе не прекращалось и в плейстоцене, однако озерный режим осадконакопления сменился речным (мощность среднеплейстоценового аллювия достигает 90 м). В условиях поднятия отдельных блоков (г. Шарпылдаг) уменьшение площади озера происходило значительно быстрее. В прибрежной зоне озерные фации осадков вытеснялись озерно-пролювиальными и пролювиальными, а затем осадконакопление совсем прекратилось и началось формирование инверсионного рельефа. В плейстоцене на этом участке побережья уже существовала положительная структура — г. Шарпылдаг. Полученные материалы отражают неоднократные значительные перестройки режима осадконакопления в прибрежной зоне озера. К сожалению, возрастные рамки этих важнейших палеогеографических событий определены пока недостаточно. Результаты термолюминисцентного и палеомагнитного анализов относятся лишь к интервалу 570–1500 тыс. л.н.

— с активизацией неотектонических движений на рубеже неогена и квартала связано не только изменение объема озерного водоема и колебание его уровня, но и значительное увеличение высоты горных хребтов, окружающих озеро. В горах размах неотектонических поднятий, согласно оценкам Л.И. Турбина и Н.В. Александровой [1966], достигал 2000 м во время нарынкой фазы (поздний плиоцен) и 3000 м во время ферганской фазы (конец плиоцена — начало плейстоцена). Неотектонические движения имели место и в дальнейшем, в течение всего плейстоцена;

— рост гор приводил к изоляции межгорных котловин, что усиливало аридизацию климата. Вместе с тем с увеличением высоты горных хребтов до уровня хионосферы происходило похолодание и возникновение горного оледенения. Климат становился более континентальным, в горах уменьшилась площадь, занятая лесами. Все эти явления привели к возникновению новых плейстоценовых ландшафтов, отличающихся от ландшафтов плиоцена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Алешинская З.В., Воскресенская Т.Н., Лефлат О.Н., Шумова Г.М. Вещественный состав и палеогеографические условия формирования шарпылдакской свиты Иссык-Кульской впадины // Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек. Сб. 3. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. С. 139–146.

Alyoshinskaya Z.V., Voskresenskaya T.N., Leflat O.N., Shumova G.M. Veshchestvennyy sostav i paleogeograficheskiye uslovia formirovaniya sharpildakskoy sviti Issik-Kul'skoy vpadini [Material composition and conditions of formation of paleogeographic sharpildakskoy suite Issyk-Kul Depression], Noveishaya tektonika, noveishiye otlojeniya i chelovek, Sb. 3, Moscow, Iz-vo Mosk. Un-ta, 1972, pp. 139–146 (in Russian).

Букин В.М. Древние береговые линии на дне Иссык-Куля // Изв. АН Кирг. ССР. 1974. № 4. С. 63–66.

Bukin V.M. Drevnie beregovie linii na dne Issik-Kulya [Ancient shorelines at the bottom of Lake Issyk-Kul], Izv. AN Kirg. SSR, 1974, no 4, pp. 63–66 (in Russian).

Воскресенская Т.Н. Палео-Иссык-Куль в позднем кайнозое // История озер позднего мезозоя и кайнозоя. Л., 1991. С. 200–206.

Voskresenskaya T.N. Paleo-Issik-Kul v pozdnem kajnozoe [Paleo-Issyk-Kul in the Late Cenozoic], Istoria ozyor pozdnego mezozoya i kajnozoya, L., 1991, pp. 200–206 (in Russian).

Куликов О.А., Фаустов С.С., Ильичев В.А. Палеомагнетизм плиоцен-плейстоценовых отложений Иссык-Куль-

ской котловины // Мат-лы IX конф. по вопросам постоянного геомагнитного поля, магнетизма горных пород и палеомагнетизма. Т. 3. Баку, 1973.

Kulikov O.A., Faustov S.C., Ilyichov V.A. Paleomagnetism pliozen-pleistocenovih otlogeniya Issik-Kul'skoy kotlovini [Paleomagnetism of the Pliocene-Pleistocene deposits of the Issyk-Kul], Materiali IX konferentsii po voprosam postoyannogo geomagnitnogo polya, magnetizm gornih porod i paleomagnetizma, V. 3, Baku, 1973 (in Russian).

Максимов Е.В. Загадка озера Иссык-Куль. Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. 183 с.

Maksimov E.V. Zagadka ozera Issik-Kul [Riddle of Lake Issyk-Kul], L., Izdatel'stvo LGU, 1985, 183 p. (in Russian).

Разрез новейших отложений Иссык-Кульской впадины / Под ред. К.К. Маркова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1971. 164 с.

Razrez noveyshih otlogeniya Issik-Kul'skoy vpadini [Incision latest deposits Issyk-Kul Depression], Pod red. K.K. Markova, Moscow: Izdstel'stvo Moskovskogo Universiteta, 1971, 164 p. (in Russian).

Турбин Л.И., Александрова Н.В. К истории Иссык-Куля по кайнозойским остракодам // Вопросы географии Киргизии. Фрунзе, 1966. С. 75–77.

Turbin L.I., Aleksandrova N.V. K istorii Issik-Kulya po kaynozoy'skim ostracodam [On the history of Issyk-Kul on Cenozoic ostracods], Voprosi geografii Kirgizii, Frunze, 1966, pp. 75–77 (in Russian).

Шульц С.С. Третичные отложения Северной Киргизии // Геология СССР. Т. 25. М.: Госгеолтехиздат, 1954. 255 с.

Shulz S.S. Tretichniyi otlogeniya Severnoy Kirgizii [Tertiary sediments of Northern Kyrgyzstan], Geologia SSSR, V. 25, Moscow: Gosgeoltekhizdat, 1954, 255 p. (in Russian).

Поступила в редакцию
11.07.2014

T.N. Voskresenskaya, O.N. Leflat

PALEOGEOGRAPHIC EVOLUTION OF THE ISSYK KUL LAKE DEPRESSION DURING THE NEO-PLEISTOCENE

Paleogeographical reconstruction of major natural changes between the Pliocene and the Pleistocene is based on the complex analysis of recent lacustrine deposits of the Issyk Kul depression. Main stages of sedimentation in the coastal zone of the lake are described, as well as the evolution of the lake during the Late Pliocene. The Paleo-Issyk Kul Lake was considerably larger during the Pliocene than the modern one. There were lakes in other mountain depressions too, but at the turn of the Pliocene to the Pleistocene most of them were emptied. At the same time the Issyk Kul became a deep-water lake. Several profound changes in the history of the lake evolution were identified. General trend of the Issyk Kul Lake evolution, i.e. the decrease in area and lowering of the water level, was analyzed using the data of deep wells and sections. The turn of the Pliocene to the Pleistocene was characterized by changes in the lake volume and oscillations of its level, as well as the profound transformation of surrounding landscapes. The mountain ridges became much higher, mountain glaciers were formed and the pattern of the river network changed considerably. Major transformation of the natural environment led to the formation of new Pleistocene landscapes quite different from the Pliocene ones.

Key words: Neo-Pleistocene, recent lacustrine deposits of the Issyk Kul depression, grain size, mineralogical and geochemical composition of recent sediments, sedimentation conditions.

УДК 551.435.1 556.53.537 (470.1/25)

Е.А. Львовская¹, Р.С. Чалов²**ГИДРОЛОГО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗВЕТВЛЕННОГО РУСЛА
Р. ПЕЧОРА³**

Выявлены особенности распространения морфодинамических типов русла на средней и нижней Печоре — крупнейшей реке Европейского Севера, русловые процессы которой до сих пор не изучались. Показано, что более 80% длины реки занимают разветвления (в том числе 2-го порядка), представленные всеми известными типами. Впервые проведен гидролого-морфологический анализ для разветвленного русла Печоры. Установлены закономерности между относительной шириной островов и шириной рукавов, с одной стороны, и характеристиками потока — руслоформирующими и удельными среднемаксимальными расходами воды — с другой; получены тесные гидролого-морфологические зависимости для излучин в рукавах пойменно-русловых, сопряженных и одиночных разветвлений. Показано, что зависимости различаются по типам разветвлений и значимости рукавов, а значения коэффициентов в уравнениях зависимости носят региональный характер. Впервые обосновано выделение рукавов по их значимости: основных, среди которых один является главным, и второстепенных.

Ключевые слова: русловые процессы, морфодинамические типы русла, разветвления, рукава, острова, морфометрия, гидролого-морфологические зависимости.

Введение. В последние десятилетия все больше внимания уделяется анализу условий формирования, морфологии и русловому режиму рек в разных природных условиях, появились многочисленные статьи и монографии о русловых процессах. Однако некоторые реки практически не рассмотрены в научной литературе. К таковым относится р. Печора, русловые процессы на которой до сих пор не изучались, — одна из крупнейших рек европейской части России (ЕТР), протекающая на северо-востоке и представляющая собой основной путь сообщения в регионе. В ее устье находится морской порт Нарьян-Мар, а пересечение реки железной дорогой Котлас—Воркута делает ее важнейшей составляющей транспортного комплекса Севера ЕТР. И хотя перевозки грузов и пассажиров в современных условиях резко сократились, грядущее возрождение экономики страны, учитывая ресурсный потенциал региона и то внимание, которое сейчас вновь уделяется Крайнему Северу, неизбежно приведет к восстановлению и развитию судоходства и водных путей на Печоре, а следовательно, сведения о русловых процессах на реке будут востребованы в качестве основы регулирования русла.

Значимость изучения русла Печоры возрастает в связи с тем, что в ее среднем и нижнем течении преобладают разветвления — тип русла, характеризующийся наиболее сложным режимом формирования. В последнее время к ним проявля-

ется повышенный интерес [Алексеевский, Чалов, 2009; Чалов, 2011; Чалов и др., 1998], но охват исследованных рек, разветвленных на рукава и соответственно их региональные гидролого-морфологические оценки остаются недостаточными; для Печоры они вообще отсутствуют.

Постановка проблемы. Основная задача исследования — охарактеризовать формы проявления русловых процессов в среднем и нижнем течении Печоры и выполнить гидролого-морфологический анализ разветвленного русла, которое абсолютно доминирует на всем протяжении реки от г. Печора (пересечение реки железной дорогой Котлас—Воркута) до ее устья, что, по существу, может закрыть “белое пятно” в географии русловых процессов и создаст условия для разработки приемов управления русловыми процессами при водно-транспортном и других видах использования речных ресурсов.

Материалы и методы исследований. В основу работы положен географический подход к изучению русловых процессов, разработанный в МГУ имени М.В. Ломоносова. При исследованиях использованы лоцманские карты разных лет издания, материалы регулярных съемок и промеров русла, выполняемых изыскательскими партиями и предоставленные Администрацией Печорского бассейна внутренних водных путей, крупномасштабные топографические карты и космические снимки. В июле 2009 г. было проведено рекогносцировочное об-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, аспирантка; e-mail: elizaveta.lvovskaya@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, научно-исследовательская лаборатория эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева, профессор, заведующий лабораторией, докт. геогр. н.; e-mail: rschalov@mail.ru

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 12-05-00348, 15-05-03752) и программы Президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-1010.2014.5), натурные исследования — при содействии Администрации Печорского бассейна внутренних водных путей.

следование русла р. Печора на служебном теплоходе “Печорводпути”, во время которого измеряли расход воды в рукавах, выполняли некоторые другие виды русловых исследований⁴. При обработке данных применяли методы построения гидролого-морфологических зависимостей и ретроспективного анализа, позволяющего устанавливать роль рукавов в многолетних переформированиях русла.

Общая характеристика реки. Печора берет начало на западном склоне Северного Урала и в основном протекает по равнинной территории Печерской низменности, занимающей обширное пространство между Уралом и Тиманским кряжем (рис. 1). На севере бассейн представлен Малоземельской и Большеземельской тундрой. Первая представляет собой слабоволнистую равнину, вторая — холмистую равнину, прорезанную густой речной сетью с многочисленными моренными холмами и грядами. Таежная растительность с юга на север бассейна постепенно сменяется лесотундрой и тундрой [Спиридонов, 1978].

Печора — самая многоводная река Севера европейской части России, ее длина 1809 км, площадь водосбора 322 тыс. км², средний годовой расход воды (г.п. Оксино) — 4060 м³/с, средний максимальный — 39 200 м³/с, средний за период летне-осенней межени — 3310 м³/с. В питании реки доля снегового питания составляет 60%; 20–30% приходится на дождевой сток. Половодье на Печоре характеризуется быстрым подъемом уровня, начинается в первых числах мая и достигает пика к его середине, в среднем течении, как правило, два-три пика, ниже по течению их обычно два. В многоводные годы весеннее половодье проходит чаще всего одной волной почти по всей реке. Спад половодья продолжается до середины июля, прерываясь дождевыми паводками на правобережных притоках. Летне-осенняя межень неустойчивая, часто прерывается паводками, с которыми часто связан подъем уровня в конце августа. Минимальный уровень приходится на период с декабря по апрель. Для Печоры, текущей с юга на север, в период весеннего подъема характерны заторы.

По составу руслообразующих наносов на Печоре можно выделить три участка: от истока до устья р. Илыч русло валунно-галечное и галечное; второй участок отделен от первого двумя короткими, следующими один за другим отрезками с преобладанием песчаных и валунно-галечных наносов, которые сменяются почти до впадения р. Лыжа; от устья р. Лыжа до устьевой области руслообразующие наносы песчаные, с преобладанием средне- и крупнозернистых песков.

Результаты исследований и их обсуждение. Морфодинамические типы русел и условия их формирова-

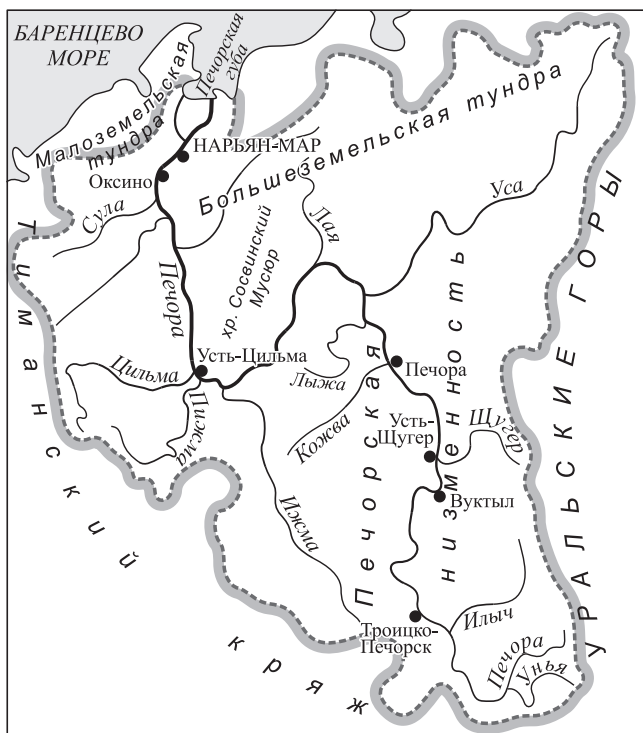


Рис. 1. Схема бассейна Печоры

ния. По условиям формирования русла на Печоре выделяются 5 морфологически однородных участков: верхняя Печора — от истока до устья р. Подчерье (1095 км от устья), средняя — от р. Подчерье до слияния с р. Уса (1095–757 км), нижняя (757–195 км), которая в свою очередь делится на два участка — от слияния с р. Уса до впадения р. Цильма и от впадения р. Цильма до вершины устьевой области (устье р. Сула); устьевая область реки (нижние 195 км). Эти участки примерно соответствуют распространению ограниченных, а также свободных условий формирования русел и их чередования и отличаются по составу руслообразующих наносов, распространению и преобладанию разных морфодинамических форм русла. Участки на средней и нижней Печоре (от г. Печора, 880 км до вершины устьевой области — впадения р. Сула), будут именоваться следующим образом: верхний — от г. Печора до слияния с р. Уса, средний — от устья р. Уса до впадения р. Цильма, нижний — от впадения р. Цильма до вершины устьевой области. Ограниченные условия развития русловых деформаций соответствуют пересечениям рекой возвышенностей, свободные — низменностям, сложенным мощными толщами четвертичных отложений. В среднем и нижнем течении Печоры преобладает широкопойменное русло. Исключение составляет 70-километровый участок врезанного русла на 490–423 км до впадения р. Цильма, где Печора протекает вдоль отрогов Тиманского кряжа.

⁴ В полевых работах участвовали сотрудники научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов имени Н.И. Маккавеева МГУ А.С. Завадский, С.Н. Рулева и Б.В. Белый.

Наиболее широкое распространение на Печоре получило разветвленное русло (рис. 2), которое преобладает на всех участках как в свободных, так и в ограниченных условиях развития русловых деформаций (>50% протяженности русла в среднем и нижнем течении). Разветвленное русло представлено полным набором разновидностей (по классификации МГУ [Чалов, 1979, 2011]). Вниз по течению реки при увеличении мощности потока и уменьшении уклона русла более простые морфодинамические типы разветвлений сменяются более сложными. В основных рукавах (в их начале и в устье) формируются разветвления 2-го или 3-го порядка, представленные одиночными разветвлениями.

Руслоформирующий расход воды (2080 м³/с на г.п. Усть-Цильма) проходит при затопленной пойме, что отражено в морфологии разветвлений и формировании пойменной многоорукавности (наличии ответвлений, расчленяющих пойму на отдельные массивы). В широкопойменном русле от

г. Печора до слияния с Усой преобладают сопряженные разветвления (34% длины участка), образующие единый участок, состоящий из 5 звеньев (рис. 2); этот тип русла также встречается в нижнем течении (11% длины участка), где представлен 2 звеньями, каждое из которых состоит из нескольких островов.

Односторонние разветвления представлены только на среднем участке, доля их велика (21% длины участка устье р. Уса — устье р. Цильма). В равной мере распространены параллельно-рукавные и пойменно-русловые разветвления (12 и 13% соответственно). Крупные острова в последних представлены обширными пойменными массивами или несколькими островами, разделенными длинными извилистыми протоками, по которым осуществляется гидравлическая связь между обоими основными рукавами. В среднем течении они развиваются во врезанном русле, в нижнем течении — в широкопойменном, где сопровождаются

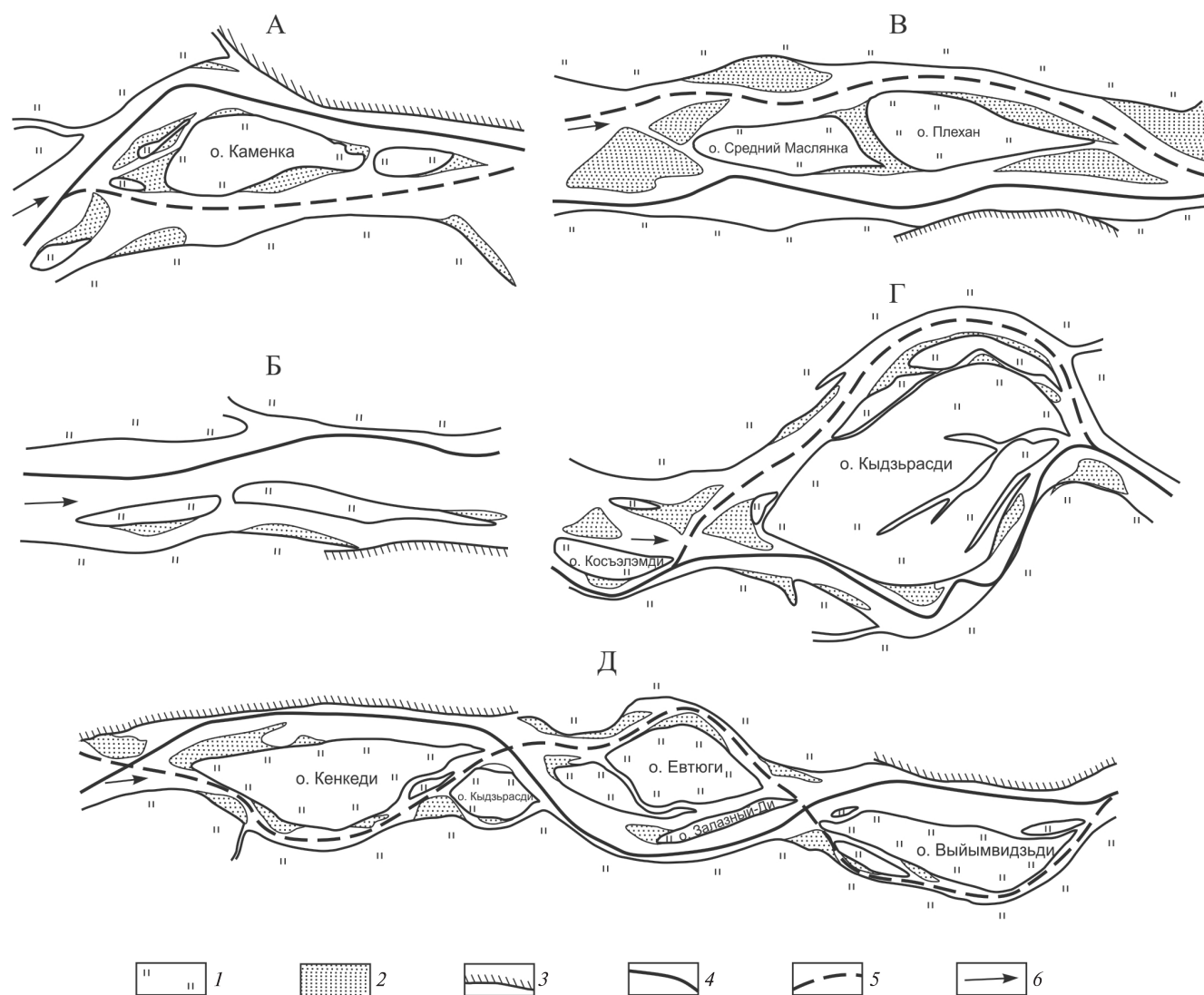


Рис. 2. Основные типы разветвлений на Печоре: А — одиночные, Б — односторонние, В — параллельно-рукавные, Г — пойменно-русловые, Д — сопряженные; 1 — пойма; 2 — песчаные отмели; 3 — коренной берег; 4 — стрежень потока главных рукавов; 5 — стрежень потока вторых рукавов; 6 — направление течения реки

пойменной многорукавностью. Доля пойменно-русовых разветвлений составляет на верхнем участке 8% (9 км), на среднем — 12% (41 км), на нижнем — 3% (18 км) от общей длины каждого участка. На одиночные разветвления приходится 3 (3 км), 7 (24 км) и 7% (16 км) соответственно. В нижнем течении реки, где уклон минимален, а мощность потока максимальна, преобладают параллельно-рукавные разветвления, они не встречаются выше устья р. Уса; общая протяженность разветвленного русла здесь составляет 53% длины.

На остальных участках распространены односторонние разветвления, в нижнем течении встречаются чередующиеся односторонние.

Второе место по протяженности (38%) занимает относительно прямолинейное русло, которое представляет собой как короткие “вставки” между отдельными разветвлениями или участками разветвленного русла, так и участки, где река протекает вдоль коренного берега. Практически на всем протяжении (30% длины нижнего и среднего течения) относительно прямолинейное русло осложнено одиночными разветвлениями 2-го порядка (они образуются островами, для которых характерно соотношение $B_0 < 0,4B_p$, где B_0 — ширина острова, B_p — ширина русла перед узлом разветвления) [Иванов, 1989; Чалов, 2011]. Таким образом, разветвленное русло (включая разветвления 2-го порядка и пойменные ответвления) абсолютно преобладает и занимает >80% длины Печоры в среднем и нижнем течении.

Излучины на средней и нижней Печоре представлены единичными формами: свободной, вынужденной и двумя вписанными, одна из которых осложнена разветвлениями 2-го порядка. В месте впадения в Печору рек Пижма и Цильма находится своеобразная излучина, в пределах которой река обтекает выступ правого коренного берега, тогда как противоположный берег в вершине и на крыльях излучины — пойменный. Такие излучины отсутствуют во всех существующих классификациях, их можно выделить в особый тип — обтекающие излучины.

Морфометрические характеристики островов русловых разветвлений. Переформирования разветвлений отражены в морфологии островов. Гидравлически выгодная форма острова, обеспечивающая наименьшие сопротивления потоку, — каплевидная при отношении длины к ширине $L_0/B_0 = 3\div 4$ [Balker, 1977; Komar, 1983]. При больших значениях ($L_0/B_0 > 3\div 4$) острова приобретают удлинённую форму и сложные очертания вследствие формирования в рукавах разветвлений 2-го порядка либо их меандрирования. При меньших значениях ($L_0/B_0 < 3\div 4$) ширина островов увеличивается, часто они приобретают сложную конфигурацию в плане (пойменно-русовые разветвления).

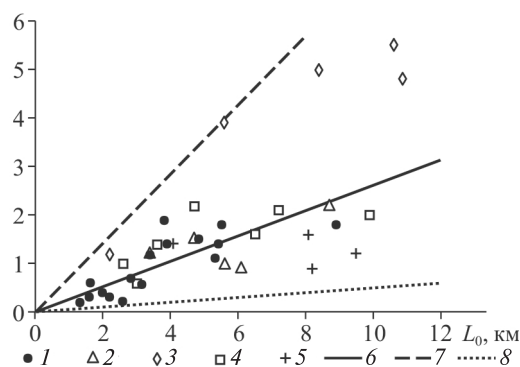


Рис. 3. Соотношение длины и ширины островов разветлений различных морфодинамических типов на р. Печора: 1 — одиночные, 2 — односторонние, 3 — пойменно-русовые, 4 — сопряженные, 5 — параллельно-рукавные; 6 — нормальное соотношение ($L_0/B_0 = 3,8$); 7 — верхняя граница ($L_0/B_0 = 1,4$); 8 — нижняя граница ($L_0/B_0 = 20$)

Для островов Печоры зависимость между их длиной (L_0) и шириной (B_0) дифференцируется в зависимости от типа разветвления (рис. 3), для каждого из которых характерны свои пределы отношения L_0/B_0 . За норму этого соотношения можно принять величину L_0/B_0 , которой отвечают острова одиночных и сопряженных разветвлений. Для них соотношение между параметрами L_0 и B_0 , равное 3,8 и 3,9 соответственно, довольно тесное. По мере увеличения соотношения L_0/B_0 (табл. 1) и удлинения островов разветвления становятся односторонними или параллельно-рукавными. В этом направлении (одностороннее → параллельно-рукавное разветвление) величина L_0/B_0 возрастает от 4,3 до 8,1 благодаря росту островов за счет кос в их ухвостьях и побочной у оголовков островов [Чалов, 2011]. Развитие пойменно-русовых разветвлений обеспечивается развитием и зарастанием в рукавах побочной, причлененных к островам, что приводит к увеличению их размеров и формированию излучин рукавов разветвлений [там же]. На Печоре острова таких разветвлений имеют меньшую относительную длину и, как правило, более сложную форму при $L_0/B_0 < 3$ (в среднем 1,9).

Таблица 1

Уравнения связи ширины (B_0) и длины (L_0) островов на р. Печора

Тип разветвления	Уравнение связи	L_0/B_0	Коэффициент корреляции
Пойменно-русовые	$B_0 = 0,524L_0$	1,9	0,90
Сопряженные	$B_0 = 0,257L_0$	3,9	0,81
Одиночные	$B_0 = 0,261L_0$	3,8	0,80
Односторонние	$B_0 = 0,234L_0$	4,3	0,54
Параллельно-рукавные	$B_0 = 0,124L_0$	8,1	0,53

Подобное исследование, но для меньшего разнообразия разветвлений, выполнено А.М. Тарбее-

вой [2004] для Оби (от Новосибирска до устья р. Томь), где распространены только одиночные и сопряженные разветвления, остальные встречаются в виде единичных образований. Для сопряженных разветвлений ею получена “норма” $L_o/B_o = 3,4$, близкая к значению для Печоры и с высоким коэффициентом корреляции (0,99); для одиночных разветвлений $L_o/B_o = 7,2$, т.е. они на Оби имеют удлиненную форму при большом разбросе точек на графике. По-видимому, это объясняется тем, что одиночные острова на Оби обычно формируются ниже крупных выступов коренных берегов или изгибов долины реки в целом либо в условиях, когда один рукав отмирающий, вследствие чего остров разрастается как с оголовка (к нему причленяются зарастающие отмели), так и с ухвостья, где вытягивается коса. На Печоре одиночные острова расположены посередине русла и, даже будучи составленными из нескольких объединившихся элементарных (образовавшихся на основе осередков) островов, сохраняют оптимальное соотношение L_o/B_o , разрастаясь как в длину, так и по ширине реки.

Относительная ширина островов B_o/b_p , где B_o — ширина острова, b_p — ширина русла выше узла разветвления, зависит от удельного среднemaxимального расхода воды $q_{\text{макс}} = \frac{Q_{\text{ср.макс}}}{b_p}$, м²/с:

$$\frac{B_o}{b_p} = \pm kq \pm Y. \quad (1)$$

Значение коэффициента k в (1) закономерно увеличивается от пойменно-русловых к сопряженным разветвлениям (табл. 2). Аналогичные зависимости установлены для широкопойменного разветвленного русла средней и нижней Лены [Чалов, 2011]. Однако здесь они имеют обратный порядок увеличения k (простое сопряженное → параллельно-рукавное → односторонние чередующиеся → сложное сопряженное) и большую величину. Очевидно, это связано, во-первых, с большей водностью Лены (ее среднегодовой расход в 7 раз больше, чем у Печоры), меньшей устойчивостью ее русла, с одной стороны, и с различным числом островов, образующих разветвления каждого типа, — с другой (на Лене это, как правило, сложнопостроенные архипелаги, тогда как на Печоре — консолидированные островные массивы). Последняя характеристика достаточно индивидуальна и в свою очередь зависит от устойчивости русла и местных геолого-геоморфологических условий его формирования. Примечательно, что разветвления 2-го порядка (в том числе разветвления самих рукавов), будучи в основном одиночными, образуют единую связь с такими же разветвлениями самого русла (1-го порядка), что, очевидно, свидетельствует о едином механизме образования разветвлений (зарастание осередков и превращение их в острова).

Таблица 2

Значения коэффициента уравнений связи в зависимости (1) относительной ширины островов (B_o/b_p) от удельного среднemaxимального расхода в узлах разветвлений ($q_{\text{макс}}$) для р. Печора

Тип разветвления	k	Y	Коэффициент корреляции
Пойменно-русловые	0,09	1,78	0,92
Односторонние	0,10	−0,30	1,00
Параллельно-рукавные	0,15	−0,78	0,61
Одиночные, в том числе 2-го порядка	0,17	−1,21	0,93
Сопряженные	0,32	−0,70	0,95

Гидролого-морфологические зависимости. Связи между характеристиками потока и показателями формы русла для разных морфодинамических типов русел представляют собой важную составляющую гидролого-морфологического анализа. Обычно они устанавливаются для меандрирующих русел, характеристики которых (радиус кривизны, шаг и др.) зависят от водности реки [Чалов и др., 2004]. Для разветвленных русел получение гидролого-морфологических зависимостей осложняется рассредоточением потока по рукавам, неодинаковым в разные фазы водного режима, и ограничивается оценкой ширины и глубины русла в рукавах как функций их водности [Чалов и др., 1998], хотя зависимости и доведены до прогностического применения (по ним оцениваются, в частности, тенденции развития или отмирания рукавов [5]). Тип разветвления при этом не учитывается.

Разделение рукавов по их значимости в рассредоточении стока и русловом режиме реки достаточно часто встречается в специальной литературе. Как правило, речь идет о главном, основном и второстепенных, многоводных и маловодных рукавах, выделяются рукава, протоки и ответвления [Алабян, 1991; Маккавеев, 1955; Чалов, 1979, 2011; Чалов и др., 1998], рукава (или водотоки) разных порядков [Алексеевский, Чалов, 2009], на больших реках — судоходные и несудоходные рукава и т.д. За исключением порядковой структуры разветвлений, характеристика рукавов дается на качественном уровне, главным (или основным) рукавом считается самый многоводный, остальные — второстепенными. При этом на больших реках с очень сложными разветвлениями относительная водность “главного” рукава (в разные фазы водного режима) может составлять <50% стока воды в реке, снижаясь иногда до 20–25%; остальная часть стока рассредоточивается по многочисленным рукавам с относительной водностью от нескольких процентов до 15–20%, изменяясь в разные фазы водного режима в ту и другую сторону [Проектирование судовых..., 1964].

В большинстве разветвлений (кроме односторонних) выделяются два, реже три рукава, близких по водности (при этом один из них более многоводный, чем другие), или периодически, в ходе переформирования русла, развивающихся и забирающих большую часть расхода воды, затем мелеющих, теряющих водность, а затем вновь превращающихся в многоводные. Такие рукава следует считать основными; по ним определяется морфодинамический тип разветвлений [Чалов, 2011]. Остальные рукава второстепенные. Среди основных рукавов следует выделять в каждом разветвлении главный рукав, характеризующийся на данном временном отрезке наибольшей водностью, и второй основной рукав, который может быть самым многоводным в половодье (паводки) или становится таковым со временем в ходе переформирований русла [Чалов, 1979, 2011]. К второстепенным рукавам относятся маловодные и не составляющие “конкуренцию” по водности основным рукавам. В односторонних разветвлениях может быть только один основной рукав — главный, остальные рукава второстепенные.

Полученные для р. Печора связи ширины рукавов с их водностью при руслоформирующем расходе воды $b_{\text{рук}} = f(Q_{\text{рф}})$ неодинаковы как для разветвлений разных типов, так и для рукавов, различающихся по их значимости в перераспределении стока воды, наносов и переформирования русла в разные отрезки времени. Для Печоры при оценке значимости рукавов в рассредоточении стока было принято, что главным считается рукав с относительной водностью в межень $>50\%$ суммарного расхода воды в разветвлении, тогда как водность второго основного рукава составляет $\leq 50\%$, а в большинстве случаев — $<35\%$. Кроме того, главные и вторые основные рукава нередко разделены небольшими островами, размеры которых определяются водностью рукава, на разветвления 2-го порядка. На Печоре они, как правило, встречаются в узлах разветвления русла или слияния основных рукавов, а при их удлинении ($L_o/B_o > 4$) и в средней их части.

Зависимость ширины рукавов от их водности неодинакова в разветвлениях разного типа (ширина определена для руслоформирующего расхода воды, соответствующего половодью), т.е.

$$b_{\text{рук.ф}} = kQ_{\text{ф.рук}} + a, \quad (2)$$

где $b_{\text{рук.ф}}$ — ширина рукавов при руслоформирующем расходе воды; $Q_{\text{ф.рук}}$ — руслоформирующий расход воды, приведенный к основным рукавам; k, a — коэффициенты (табл. 3). Для меженных (измеренных) расходов воды эта зависимость проявляется лишь в виде общей тенденции. Поэтому эти расходы использованы только для определения значимости рукавов и контроля при расчетах распределения $Q_{\text{ф}}$ по основным рукавам.

Таблица 3

Значения коэффициентов в уравнениях зависимости ширины рукавов $b_{\text{рук.ф}}$ от руслоформирующего расхода воды в них ($Q_{\text{ф}}$) для р. Печора

Тип разветвления	k	a	Коэффициент корреляции
Параллельно-рукавные	0,046	555,9	0,86
Пойменно-руслевые	0,055	406,6	0,83
Одиночные	0,062	232,4	0,88
Сопряженные (вторые)	0,075	271,2	0,79
Сопряженные (главные)	0,078	308,3	0,91

В многоводную фазу водного режима (при $Q_{\text{ф}}$) водность главных рукавов некоторых разветвлений, в основном одиночных, становится меньше, чем вторых основных. Так, на графике (рис. 4) главные рукава расположены в области водности $<50\%$, хотя рассредоточение стока воды по второстепенным рукавам в этих разветвлениях отсутствует. Ширина рукавов увеличивается с увеличением расходов воды в разветвлениях всех типов. Разветвления 2-го порядка в прямолинейном русле также отвечают полученной закономерности. Особняком стоит зависимость для главных рукавов сопряженных разветвлений, в которых ширина русла меньше, чем в рукавах других типов при тех же значениях расхода воды, в том числе вторых основных рукавов сопряженных разветвлений (водность $<50\%$). Очевидно, это связано с тем, что главные рукава в следующих одно за другим разветвлениях образуют серии излучин с присущим им скоростным полем потока, шпоры которых представлены островами.

Самой большой шириной русла характеризуются основные рукава параллельно-рукавных разветвлений, отличающиеся относительной прямоли-

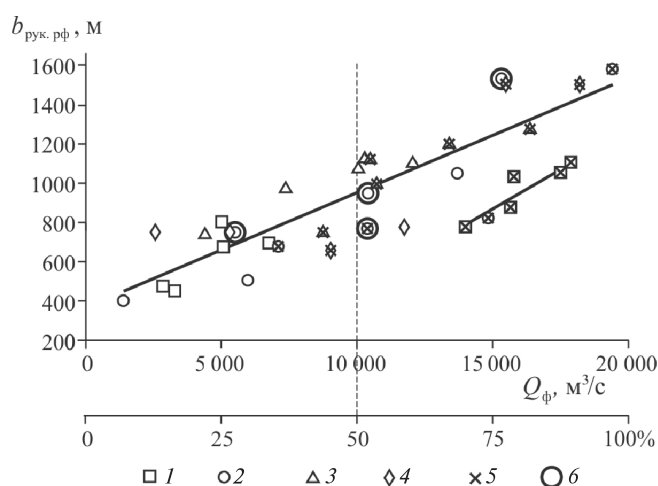


Рис. 4. Зависимость между шириной рукавов $b_{\text{рук.ф}}$ и водностью рукавов при руслоформирующем расходе воды $Q_{\text{ф}}$ в рукавах в зависимости от их значимости (главных и вторых) и типа разветвления: 1 — сопряженные; 2 — одиночные; 3 — параллельно-рукавные; 4 — пойменно-руслевые; 5 — главные рукава; 6 — разветвления 2-го порядка

нейностью. В то же время значения коэффициента k в зависимости (2) закономерно увеличиваются от параллельно-рукавных разветвлений к главным рукавам сопряженных разветвлений (табл. 3), т.е. по мере упрощения их морфологии и упорядочения структуры потока. Однако при достаточно высокой тесноте связь самая низкая у вторых основных рукавов сопряженных разветвлений, что, очевидно, объясняется разной степенью их временного обмеления, разными причинами, вызвавшими перераспределение стока, другими различиями условий их формирования.

Для разветвлений с развитыми излучинами рукавов получены зависимости их основных параметров — радиуса кривизны (r) и шага (L) излучин от водности, которые также дифференцируются по типам разветвлений. Наиболее тесные связи характерны для сопряженных разветвлений (коэффициент корреляции 0,98); для пойменно-руслowych разветвлений они менее тесные (0,85 и 0,76). Параметры излучин одиночных разветвлений в целом отвечают зависимости, полученной для пойменно-руслowych разветвлений, однако имеют больший разброс. Радиусы кривизны излучин в разветвлениях 2-го порядка, образованных в рукавах сопряженных разветвлений, отвечают зависимости для сопряженных разветвлений. В сопряженных и одиночных разветвлениях рукава образуют по одной излучине (в главном и втором основном рукавах вершины излучин направлены в противоположные стороны, а сами излучины в плане имеют зеркальное отражение), тогда как в пойменно-руслowych каждый рукав, как правило, образует серию излучин, уступающих по величине параметрам первым (рис. 5). Рукава параллельно-рукавных и односторонних разветвлений практически не образуют излучин.

Выводы:

— существенно уточнены представления о распределении морфодинамических типов русла, главным образом разветвлений, на средней и нижней Печоре по сравнению с предыдущими данными [Русловой режим..., 1994];

— установлено, что при преобладании разветвленного русла наиболее распространены сопряженные, одиночные, пойменно-руслowe и параллельно-рукавные разветвления, причем первые в основном характерны для среднего течения (выше слияния с р. Уса), последние — для нижнего течения; остальные встречаются в виде единичных образований;

— обосновано выделение главного рукава, относительная водность которого в меженьный период составляет $>50\%$, среди основных рукавов, между которыми происходит рассредоточение стока и его перераспределение во времени в разные фазы водного режима и в ходе многолетних переформирования русла;

— определено оптимальное соотношение длины и ширины островов ($L_o/B_o = 3,8 \div 3,9$) разветвлений, которое обеспечивает гидравлическую выгодность их формы и характерно для одиночных и сопряженных разветвлений; для пойменно-руслowych разветвлений оно меньше (1,9), для остальных больше оптимального, что обеспечивает удлинение первых и развитие островов в ширину вторых;

— выявлено закономерное изменение относительной ширины островов (B_o/b_p) в зависимости от удельного среднemaxимального расхода воды от пойменно-руслowych разветвлений к сопряженным;

— показано, что ширина рукавов определяется их водностью при руслоформирующем расходе воды, причем полученные зависимости, дифференцируясь по типам русла, в то же время едины как для основных рукавов, так и для разветвлений 2-го порядка;

— получены зависимости радиуса кривизны и шага излучин основных рукавов сопряженных и пойменно-руслowych разветвлений от расходов воды в них. Выявленные зависимости для Печоры позволяют устанавливать изменения характеристик разветвлений при перераспределении стока между рукавами и при увеличении/уменьшении водности реки вследствие общих гидроклиматических изменений.

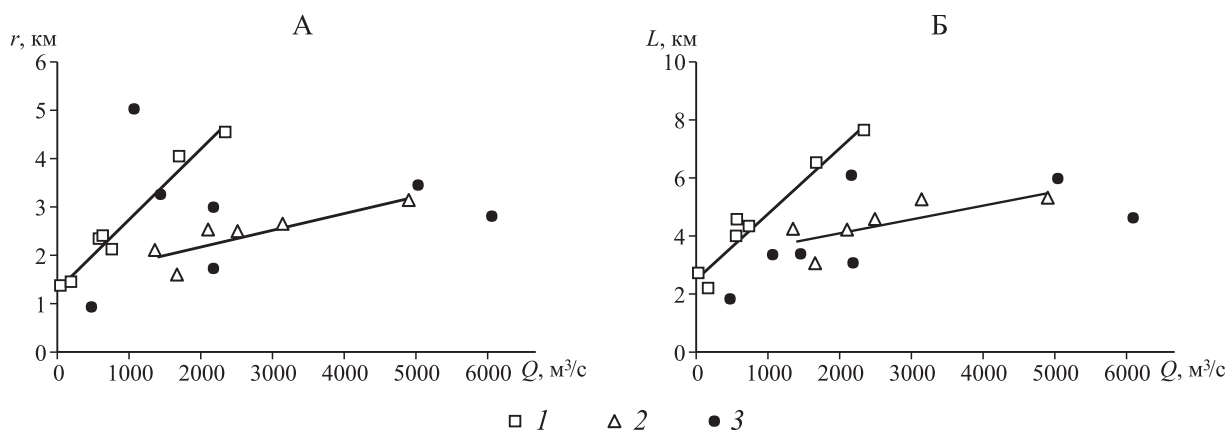


Рис. 5. Зависимости радиуса кривизны r (А) и шага излучин L (Б) от расхода воды в рукавах разветвлений Печоры: 1 — в сопряженных; 2 — в пойменно-руслowych; 3 — в одиночных

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Алабян А.М.* Динамика потока и русла равнинных рек, разветвленных на рукава: Автореф. канд. дисс. М., 1991. 19 с.
- Alabyan A.M. Dynamika potoka i rusla ravninnykh rek, razvetvlennykh na rukava [Stream and lowland branched rivers dynamics], Avtoreferat kandidatskoy dissertatsii, Moscow, 1991, 19 p. (in Russian).
- Алексеевский Н.И., Чалов С.Р.* Гидрологические функции разветвленного русла. М., 2009. 240 с.
- Alekseevskiy N.I., Chalov S.R. Gidrologicheskie funktsii razvetvlennoy rusla [Hydrological functions of branched channels], Moscow, 2009, 240 p. (in Russian).
- Иванов В.В.* Условия формирования, гидролого-морфометрические зависимости и деформации относительно прямолинейных, неразветвленных русел: Автореф. канд. дисс. М., 1989. 23 с.
- Ivanov V.V. Usloviya formirovaniya, gidrologo-morfometricheskie zavisimosti i deformatsii otnositelno pryamolineynykh, nerazvetvlennykh rusel [Formation conditions, hydrological-morphological relations and deformation of relatively straight non-branched channels]: Avtoreferat kandidatskoy dissertatsii, Moscow, MGU, 1989, 23 p. (in Russian).
- Маккавеев Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 347 с.
- Makkaveev N.I. Ruslo reki i eroziya v eyo basseine [Riverbed and erosion in the river basin], Moscow, Izdatel'stvo AN SSSR, 1955, 347 p. (in Russian).
- Михайлов В.Н.* Динамика потока и русла в непривливаемых устьях рек // Тр. ГОИН. Вып. 102. 1971. 260 с.
- Mikhailov V.N. Dinamika potoka i rusla v neprilivnykh ustyakh rek [Stream and channel dynamics in non-tidal estuaries], Trudy GOIN, no 102, 1971, 260 p. (in Russian).
- Проектирование судовых ходов на свободных реках // Тр. ЦНИИЭВТ. Вып. 36. 1964. 262 с.
- Proektirovaniye sudovykh hodov na svobodnykh reках [Designing ship moves on the broad rivers], Trudy TsNIIIEVT, no 36, 1964, 262 p. (in Russian).
- Русловой режим рек Северной Евразии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. 336 с.
- Ruslovoy rezhim rek Severnoy Evrazii [Riverbed regime of rivers of Northern Eurasia], Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1994, 336 p. (in Russian).
- Спиридонов А.И.* Геоморфология европейской части СССР. М.: Высшая школа, 1978. 331 с.
- Spiridonov A.I. Geomorfologiya evropeyskoy chasti SSSR [Geomorphology of the european part of the USSR], Moscow, Vysshaya shkola, 1978, 331 p. (in Russian).
- Тарбеева А.М.* Формирование и эволюция островов в русле Оби // Эрозионные и русловые процессы и проблемы гидроэкологии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. С. 202–208.
- Tarbeeveva A.M. Formirovaniye i evolutsiya ostrovov v rusle Obi [Formation and evolution of islands in Ob riverbed], Eroziionnye i ruslovyye processy i problemy gidroekologii, Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2004, pp. 202–208 (in Russian).
- Чалов Р.С.* Географические исследования русловых процессов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 232 с.
- Chalov R.S. Geograficheskie issledovaniya ruslovykh processov [Geographical studies of the channel processes], Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1979, 232 p. (in Russian).
- Чалов Р.С.* Русловедение: теория, география, практика. Т. 2. Морфодинамика речных русел. М.: КРАСАНД, 2011. 960 с.
- Chalov R.S. Ruslovedenie: teoriya, geografiya, praktika. V. 2, Morfodinamika rechnykh rusel [Science of the riverbed processes: theory, geography, praxis. V. 2, Morphodynamics of the riverbeds], Moscow, KRASAND, 2011, 960 p. (in Russian).
- Чалов Р.С., Алабян А.М., Иванов В.В. и др.* Морфодинамика русел равнинных рек. М.: ГЕОС, 1998. 288 с.
- Chalov R.S., Alabyan A.M., Ivanov V.V. i dr. Morfodinamika rusel ravninnykh rek [Morphodynamics of channels of lowland rivers], Moscow, GEOS, 1998, 288 p. (in Russian).
- Чалов Р.С., Завадский А.С., Панин А.В.* Речные излучины. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 371 с.
- Chalov R.S., Zavadskiy A.S., Panin A.V. Rechnye izluchiny [River meanders], Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2004, 371 p. (in Russian).
- Baker V.R.* Stream-channel response to floods with examples from central Texas, Geol. Soc. Am. Bull., 1977, V. 88, no 8, pp. 1057–1071.
- Komar P.D.* Shape of streamlined island on Earth and Mars: Experiments and analyses of the minimum-drag form, Geology, 1983, no 11, pp. 651–654.

Поступила в редакцию
24.03.2014

E.A. Lvovskaya, R.S. Chalov

HYDROLOGIC-MORPHOLOGICAL ANALYSIS OF DIVIDED CHANNEL OF THE PECHORA RIVER

Distribution of the morphodynamic types of channel is analyzed for the middle and lower courses of the Pechora River, a largest river of the European North, for which the channel processes were not yet studied. Channel braids of all known types, including those of 2-nd order, account for more than 80% of the river's length. Hydrologic-morphological analysis of divided channel of the Pechora River was carried out for the first time. Interrelations between the relative width of islands and branches and the flow characteristics (channel-forming and specific mean maximum water discharge) were established. Close hydrologic-morphological correlations were obtained for meanders in the branches of floodplain-channel, singular and joint braids. It was demonstrated that correlations depend on the type of braids and the order of branches, while the values of coefficients are of regional character. The branches were for the first time ever classified according to their importance into main ones (with the principal one among them) and secondary.

Key words: channel processes, morphodynamic types of channel, braids, branches, islands, morphometrics, hydrologic-morphological correlations.

УДК 551.3.051+ 62-62

Г.Б. Рязанцев¹, В.Г. Мнацаканян², В.И. Мысливец³, Л.М. Шипилова⁴

УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВ В ДОННЫХ ИЛАХ АЗОВСКОГО МОРЯ

Изложены данные о поступлении органического вещества в Азовское море, содержании его во взвеси; представлены данные о химическом составе донных илов; рассмотрен состав выделяемого илами биогаза. Охарактеризованы геоморфологическое положение Белосарайского залива и отмечены границы накапливающихся в нем илов. Сделан вывод, что биогаз из илистых отложений Азовского моря может быть включен в альтернативный энергобаланс. Результаты исследований важны для понимания проблем перехода на биоэнергетику в будущем и представляют интерес для компаний топливно-энергетического комплекса.

Ключевые слова: Азовское море, донные илы, органическое вещество, биогаз, природные условия.

Введение. Проблема возобновляемых источников энергии стоит очень остро перед всеми промышленными странами. Один из таких источников — газ, содержащийся в донных илах многих водоемов, в том числе в Азовском море. Согласно принятой точке зрения этот газ имеет биогенное происхождение; источником газа служит органическое вещество донных осадков. Статья посвящена условиям образования и накопления биогенных газов в илах Азовского моря.

В Азовском море известно несколько месторождений природного газа глубинного происхождения. Однако промышленная добыча углеводородов из глубинных слоев всегда сопряжена с экологическим риском для окружающей среды. Между тем существуют природные предпосылки для получения альтернативного источника энергии — биогаза из донного ила. Особенности моря — мелководность и хорошая прогреваемость — способствуют бурному размножению планктона.

Постановка проблемы. Генерация биогаза подчинена пространственным и временным закономерностям, приурочена к илистым осадкам, площадь которых изменяется во времени. Во времени наблюдается изменчивость процессов, определяющих биопродуктивность и объем генерации биогенного газа в осадках. Квазициклический характер носят изменения водного речного стока, поступление биогенных веществ в твердом и растворенном виде, приток соленых черноморских вод, некоторые изменения видового состава организмов. Таким образом, выяснение природных условий генерации донных газов весьма актуально.

Биогаз — смесь газов. Его основные компоненты: метан CH_4 (55–70%) и углекислый газ CO_2

(28–43%), в очень небольшом количестве присутствуют и другие газы, например сероводород H_2S [Баагер и др., 1982].

В задачи исследований входила геолого-геоморфологическая характеристика современных условий осадконакопления, а также установление и выяснение мощности газонасыщенных илов, определение химического состава газа донных отложений, выяснение условий возможной подпитки отложений газом глубинного происхождения.

Материалы и методы исследований. Основой для работы послужили полевые материалы авторов, лабораторное определение химического состава газов и содержания органического вещества в илистых отложениях, наблюдения за динамикой природных процессов, обобщение литературных материалов. Наблюдения за динамикой природных процессов на северном побережье Азовского моря проводятся с 1997 г. С 2010 г. В Белосарайском заливе оконтуривали границы илистых отложений, отбирали пробы и определяли содержание органического вещества (ОВ) в илах, проводили специальные наблюдения за процессами генерации биогаза, изучали химический состав газа, выделяемого из донных отложений до его подъема на поверхность, разрабатывали варианты его наиболее целесообразной утилизации, для чего необходимы представления о хронологической структуре процессов генерации биогаза.

Пробы донного ила отобраны в трех обстановках седиментации — у уреза воды и с поверхности дна на глубине 0,5 и 1 м [Волошин и др., 2011]. Выполнена ИК—Фурье-спектроскопия биогаза из донного ила (прибор “BrukerTensor 27”, диапазон измерения 4000–650 cm^{-1} , разрешение 4 cm^{-1}). Для

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет, кафедра радиохимии, науч. с.; e-mail: anis-mgu@rambler.ru

² Приазовский государственный технический университет, энергетический факультет, кафедра теплоэнергетики, аспирант; e-mail: mnasakanian-vaag@rambler.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, вед. науч. с.; e-mail: myslivets@yandex.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии, науч. с.; e-mail:

количественного определения содержания метана и углекислого газа в пробе биогаза использовали газовый хроматограф (фирма “Мета-Хром Кристаллюкс-4000М”, газ-носитель гелий, цеолитовый сорбент, диаметр колонки 0,53, длина 30 м).

Результаты исследований и их обсуждение. Общая характеристика илистых отложений. Особенность донных отложений Азовского моря — преобладание илов на большей части площади водоема, чему способствует общая морфология впадины моря: его полужамкнутый характер, преобладание глубины 11–13 м и повышение дна на 2 м в Керченском проливе. Илистые частицы, которые на открытых побережьях сносятся на большую глубину, здесь оказываются в седиментационной ловушке. Глинистый ил, в котором фракция размером $<0,01$ мм составляет $>70\%$, занимает всю площадь аккумулятивной равнины моря (равнина Панова), заходя языками в Таганрогский, Темрюкский заливы северного побережья, а по ложбинам Бейсугской, Ачужевской и другим понижениям подходит к берегу. Ареал глинистых илов окружен полосой илистого алевролита (пелитовая фракция составляет 50–70%), а вблизи берега встречаются смешанные осадки — алевроитово-илисто-песчаные, где каждой фракции содержится по 30–40%, и алевроитово-илистый песок [Матишов, 2007; Польшин, 2009].

Визуально илы Азовского моря представляют собой черные, темно-серые и серые желеподобные осадки, цвет которых светлеет при увеличении содержания песчаных и алевроитовых частиц. Они содержат большое количество органики, часто газонасыщены, пахнут сероводородом. В них встречаются раковины моллюсков; частицы псаммитовой размерности имеют терригенное происхождение или представляют собой раковинный детрит.

Поступление терригенного материала и его изменчивость. Терригенная составляющая илов поступает в море с речными наносами, в результате абразии берегов и дна, в ходе эолового переноса, в результате поступления материала грязевого вулканизма и при истирании пляжевого материала. Поступление терригенного материала после зарегулирования стока Дона и Кубани значительно снизилось. Кроме того, оно характеризуется сильной изменчивостью в результате проявления квазициклических колебаний соответствующих процессов. Так, сток наносов Дона до зарегулирования изменялся от 1,7 до 7,9 млн т, Кубани — от 5,17 до 14,3 млн т. После зарегулирования изменения составили для Дона от 315 тыс. т до 6 млн т, для Кубани — от 2,24 до 10 млн т. Поступление абразионного материала изменялось от 2 до 16 млн т, эолового от 3,8 до 40–50 млн т и более [Закономерности..., 2006; Мамыкина, Хрусталева, 1980]. Ю.П. Хрусталева и Ф.А. Щербаков в начале 70-х гг. XX в. оценивали общее поступление минеральных веществ в Азовское море в 51,17 млн т при значительном преобладании взвешенного материала над растворами.

Из них выносы Дона и Кубани составляли 36,7%, абразия берегов — 32,5%, размыв дна — 21,3%, эоловый привнос — 9,5% [Сорокина, 2006]. Поступление фракции $<0,05$ мм оценивается в 24,9 млн т, а фракции 0,1–0,05 мм — в 5,94 млн т. Доля терригенного материала (62,1%) значительно выше биогенного (37,9%, или 19,85 млн т) [Хрусталева, Щербаков, 1974].

Через 30 лет В.В. Сорокина [2006] подсчитала баланс терригенного материала в море. Она отметила уменьшение поступления терригенного материала в 2–3 раза, а речных наносов — в 5 раз. Объем материала, поставляемого в результате абразии в 1940–2000 гг., изменялся от 2 до 13 млн т. На фоне общего снижения количества абразионного материала его поступление в Восточное Приазовье за последние 25 лет увеличилось в 1,5 раза. Если в 1940–1952 гг. на дне моря ежегодно откладывался слой осадка мощностью 0,69 мм, то в 1987–2000 гг. он составил 0,25 мм/год. Темп накопления терригенных осадков составляет в Таганрогском заливе 600–800 г/м² в год, в кутовых частях заливов северного побережья 500 г/м² в год, в центральной части моря около 300 г/м² в год [Сорокина, 2006]. Таким образом, уменьшение поступления терригенного материала приводит к увеличению относительной доли биогенного источника.

Поступление органического вещества. Количество биомассы фитопланктона достигает в отдельные годы 270 г/м³, а бентоса — 313 г/м³. В общем балансе Азовского моря органическое вещество составляет 3,3 млн т; из них растворенного вещества около 2,8, а взвешенного — 0,5 млн т [Дацко, 1959]. Состав фитопланктона Азовского моря насчитывает 258 видов и разновидностей водорослей. В прибрежной части моря и лиманах обнаружено 174 вида микроводорослей. Биомасса фитопланктона в Азовском море составляет в среднем 3635 мг/м³ [Зенкевич, 1963]. В Азовском море среди организмов фитопланктона преобладают диатомеи (55% от всего количества), перидинеи (41,2%) и синезеленые водоросли (4,2%) [Закономерности..., 2006]. Обилию фитопланктона способствует вынос питательных солей фосфора, азота, кремниевой кислоты Доном и Кубанью как во взвешенной, так и в растворенной форме. В стоке Кубани взвешенного вещества больше (60%), чем в стоке Дона (40%). Благоприятна для фитопланктона также мелководность моря, способствующая не только его прогреваемости и освещенности воды (несмотря на невысокую прозрачность), но и возврату биогенных веществ из осадка обратно в водную толщу в результате перемешивания. Кроме того, полужамкнутый характер водоема способствует тому, что питательные вещества не выносятся на большую глубину, а накапливаются в море, отрицательно воздействуют и кислородные заморы, возникающие при отсутствии перемешивания и возникновении устойчивой стратификации.

Вследствие низкой солености в Азовском море распространены такие пресноводные синезеленые водоросли, как афанизоменон и анабена. Наряду с ними в большом количестве присутствуют чисто морские перидинеи (экзувиелла, пророцентрум, гленодиниум) и диатомовые (скелетонема, косцинодискус, ризосоления и хетоцерас). В течение года планктон испытывает два пика численности — в начале лета и в августе—сентябре. Во время весеннего цветения количество диатомовых достигает 7 г/м^3 , а во время осеннего количество перидиней доходит до 2 г/м^3 [Зенкевич, 1963].

Органическое вещество во взвеси. Литологический и химический облик осадков Азовского моря определяется не только механическим разделением взвеси в водной толще, но и очень большим участием морских организмов в седиментогенезе. Их роль состоит в продуцировании биогенной составляющей отложений, во фракционировании взвесей различной природы, фильтрации и адсорбировании организмами планктона и зообентоса пелагической и придонной взвеси [Хрусталеv, 1999]. Истирание раковин моллюсков на пляжах служит одним из источников пелитоморфного кальцита. При этом отмечается невысокое (<10%) содержание CaCO_3 в глинистых илах. Продукты жизнедеятельности фитопланктона — ОВ и скелетные остатки преимущественно диатомовых, размерность которых не превышает $0,01 \text{ мм}$, — составная часть илистого осадка. По генетическому признаку во взвешенном ОВ выделяются целые створки и обломки морских планктонных водорослей, аллохтонный детрит, остатки зоопланктона, бактерий и органоминеральные сгустки, состоящие из глинистых минералов и продуктов распада водорослей [Хрусталеv и др., 1982]. Характерно, что в отличие от терригенного материала, претерпевающего механическую дифференциацию, остатки фитопланктона присутствуют повсеместно независимо от глубины и удаленности от берега. Вместе с тем в процессе осаднения происходит их трансформация — механическое разрушение, растворение, минерализация; часть дошедшей до дна органики потребляется детритофагами и илоедами. В результате в ходе осаднения взвешенное ОВ испытывает глубокие биогеохимические превращения, приводящие к уменьшению крупности фракций [там же].

Органическое вещество в донных осадках. В минералогическом отношении пелитовая фракция донных осадков состоит из гидрослюды, монтмориллонита, каолинита, хлорита, встречаются также смектит, тонкодисперсный кварц, углефицированная органика. Алевритовая фракция состоит из угловатых зерен кварца, полевого шпата, чешуек хлорита и мусковита. Аутигенные минералы представлены гидротроилитом, пиритом, пелитоморфным кальцитом, аморфным кремнеземом [Геология..., 1974; Польшин, 2009].

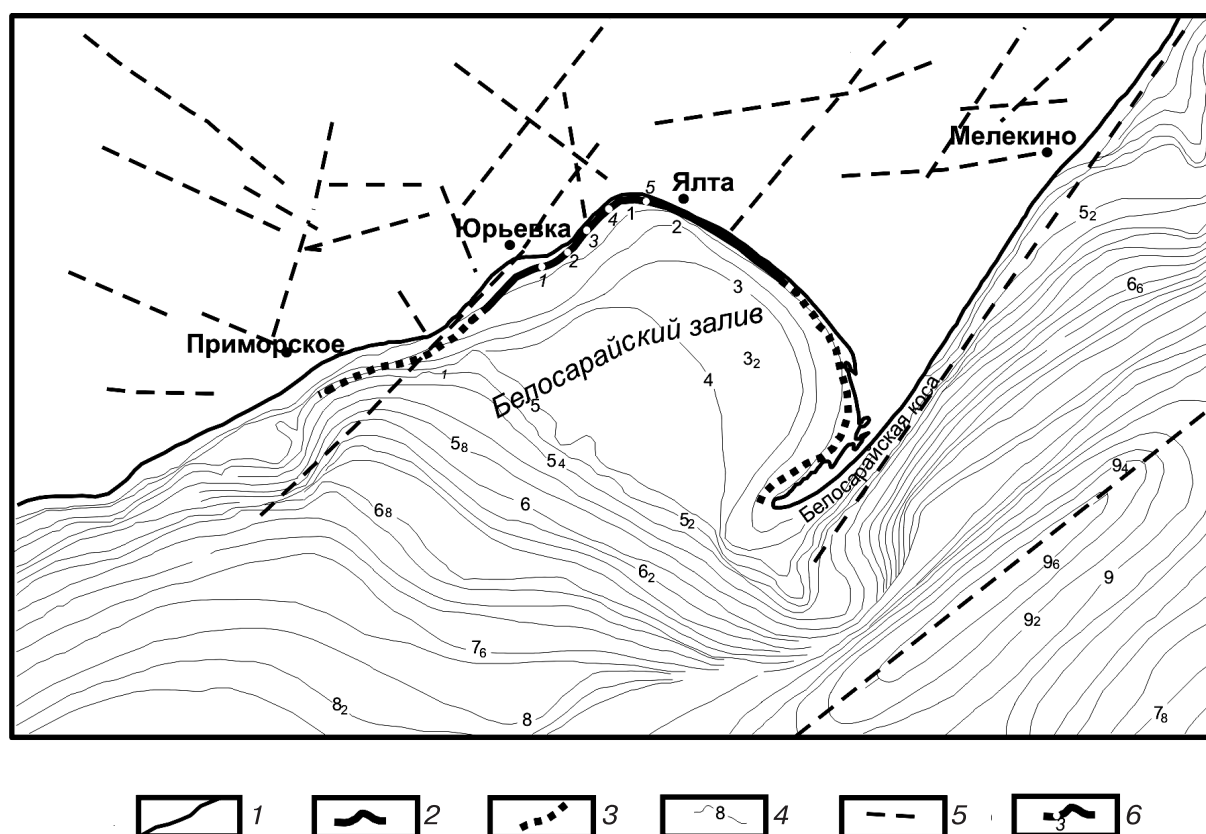
В цепочке планктон — взвесь — осадок происходят сложные изменения органического вещества. В частности, в процессе разложения оно обогащается органическим углеродом ($\text{C}_{\text{орг}}$) относительно азота и фосфора, в связи с чем ОВ поверхностного слоя донных осадков обеднено этими веществами. Концентрация $\text{C}_{\text{орг}}$ в осадках Азовского моря изменяется в пределах $0,23\text{--}3,63\%$, а органического вещества — от $0,39$ до $6,24\%$ [Дацко, 1959].

Большую часть органического вещества составляют битумоиды и гуминовые кислоты. Битумоиды — высокомолекулярные органические соединения, рассеянные в донных отложениях; их содержание варьирует от $0,15$ до $1,09\%$. Гуминовые кислоты — также высокомолекулярные органические соединения, образующиеся в осадках в результате химического и биохимического преобразования органического вещества животного и растительного происхождения, их содержание достигает в центральной части моря и в заливах $0,2\%$, а в устьях Дона и Кубани $0,5\%$ [там же].

Мощность отложений и скорость осадконакопления. Максимальных значений мощность наиболее молодых новоазовских отложений достигает в Таганрогском заливе — до $10\text{--}11 \text{ м}$, а также в зоне Индоло-Кубанского прогиба, в южной части моря, где она составляет $2\text{--}7 \text{ м}$. На большей части акватории мощность новоазовских отложений составляет $1\text{--}2 \text{ м}$. Скорость накопления осадков в районе Белосарайской косы варьирует от $0,82$ до $0,91 \text{ мм/год}$ [Геология..., 1974].

Рис.

Краткая характеристика Белосарайского залива. Залив представляет собой полузамкнутую акваторию с максимальной глубиной $4\text{--}5 \text{ м}$, отделенную от открытой части моря одноименной косой, входящей в систему так называемых кос азовского типа (рисунок). Северное побережье Азовского моря приурочено к южному ограничению Азовского блока Украинского щита и Северо-Азовскому прогибу. Кристаллические породы фундамента залегают здесь на небольшой глубине — в районе Белосарайской косы на 100 м ниже уровня моря [Геология..., 1974]. Фундамент разбит на блоки, разделяющие их разломы субширотного и северо-восточного направления контролируют не только долины рек, овраги, простирающиеся речных и морских террас, но и современные очертания берега [Солнечная..., 1979]. В частности, анализ картографического материала показывает, что побережье Белосарайского залива приурочено к крупному нарушению северо-восточного направления, поэтому не исключено поступление природного газа в ходе глубинной дегазации. Однако состав газов из меловых, юрских и палеозойских отложений, по данным изучения глубоких скважин, в зоне Ново-Украинского разлома имеет следующий состав (%): CO_2 $1\text{--}30$, N_2 $25\text{--}98$, H_2 $14\text{--}7$, CH_4 $1\text{--}40$ [Альбов, 1972], что сильно отличается от состава биогаза и требует дальнейшего изучения.



Картограмма Белосарайского залива: 1 — береговая линия; 2 — граница илов четкая; 3 — граница илов нечеткая; 4 — изобаты; 5 — тектонические нарушения; 6 — точки отбора проб донного ила. Изобаты проведены через 0,2 м, в пределах залива — через 1 м

Большую роль играют квазициклические процессы развития берегов Азовского моря. На фоне продолжающегося эвстатического подъема уровня моря отмечается чередование аккумуляции и размыва кос, баров в дельтах рек (например, Кубани), пляжей и других аккумулятивных форм. Цикличность процессов происходит с разной периодичностью; один из проявляющихся циклов составляет 30–35 лет. Однако в целом эти колебания имеют более сложный характер и состоят из ряда гармоник. Это определяет развитие берегов с переменным режимом. Можно предполагать, что такой же характер имеют процессы накопления ила и генерации биогаза.

Результаты исследований и их обсуждение. Вследствие чрезвычайной мелководности и низкой солености (в среднем около 11,5‰) на Азовском море ежегодно наблюдается бурное размножение фитопланктона (цветение воды), основного поставщика органического вещества в донные осадки. В отдельные годы вся вода в мелководных и хорошо прогретых заливах представляет собой сплошную зеленую киселеобразную массу. На процессе захоронения ОВ (прежде всего планктонного) сказываются мелководность, интенсивное перемешивание вод, особый кислородный режим, хорошая прогреваемость вод, большая масса терригенного материала. Все это приводит к быстрому разложению в первую очередь планктонного органического вещества. Поэтому, несмотря на чрезвычайную

биопродуктивность (одна из самых высоких в мировых водоемах на единицу площади), лишь небольшая часть ОВ долговременно захоранивается в осадках.

В летнее время воды Азовского моря прогреваются у берегов до 30–31 °С, а в средней части моря — до 25–26 °С [Зенкевич, 1963], зимой же температура опускается ниже нуля. Вследствие мелководности воды Азовского моря хорошо перемешиваются, соленость и температура не изменяются от поверхности до дна, поэтому кислород присутствует в достаточном количестве во всей толще воды. Но если перемешивание затормаживается, что бывает летом в жаркую и безветренную погоду, может происходить катастрофический замор из-за того, что верхний сильно прогретый и несколько опресненный слой становится легче лежащих глубже слоев, а волнение и ветер, которые перемешивают воду, отсутствуют.

Дно Азовского моря плотно заселено организмами, а грунты содержат очень большое количество ОВ. При отсутствии перемешивания и поступления кислорода в придонные слои имеющийся там кислород быстро исчезает, процессы разложения обильного органического вещества обуславливают образование сероводорода, тем более что в грунтах повсеместно присутствует *Microspira aestuarii*, восстанавливающая сульфаты и способствующая образованию H_2S . В результате граница восстановительной зоны поднимается над грунтом, придонные

слои воды лишаются кислорода, заражаются сероводородом, и донная фауна иногда на большом пространстве нацело погибает, что увеличивает сероводородное брожение. Первый же ветер, а тем более шторм перемешивает воду и ликвидирует явление замора.

В Азовском море илистые осадки занимают не только центральную его часть, но и береговую зону с глубиной 2–3 м, хотя волновое движения у дна там достаточно интенсивное. Смещение границы илов с больших глубин непосредственно в прибреговую зону, по-видимому, является результатом изменившихся гидродинамических условий. Мощность современных илистых отложений в акватории Белосарайского залива в некоторых местах превышает 5–6 м (в среднем ~4,5 м). Анализ образцов ила показал, что основную долю составляют алюмосиликаты. Среди элементов преобладают кремний, алюминий, железо, кальций и калий.

Химический состав вырабатываемого биогаза до его подъема на поверхность представлен в табл. 1. Обращает на себя внимание высокое содержание углекислого газа и присутствие сероводорода. Анализ проб газа, взятых с поверхности воды, показал, что газ бесцветный, прозрачный, без запаха, горючий; результаты ИК–Фурье-спектроскопии показывают отсутствие сероводорода. По результатам хроматографического анализа установлено, что метана в образцах биогаза содержится от 80 до 93%, что значительно выше, чем в обычных образцах биогаза из метантенков. Содержание углекислого газа (~7%) указывает на значительное его растворение в морской воде даже на небольшой глубине.

Таблица 1

Химический состав газа, отобранного у дна

Состав первичного донного газа	%
CH ₄	63
CO ₂	33
H ₂ S	2
NH ₃	1
H ₂	1

Слой морской воды толщиной >1 м практически полностью очищает биогаз от сероводорода и значительно снижает концентрацию углекислого газа в нем. Полученные результаты дают возможность сделать вывод о том, что выделяемый в атмосферу биогаз из донных илов Азовского моря по химическому составу идентичен повсеместно используемому очищенному природному газу. Этот факт позволяет сделать вывод о возможности и целесообразности использования биогаза Азовского моря в качестве частичной альтернативы природному газу.

Интенсивность выделения биогаза и его химический состав, в частности количество CH₄, напрямую зависят от исходного сырья, т.е. донного

ила, а точнее от его органической составляющей. С целью определения количества органического вещества были взяты 5 проб донного ила, результаты анализа которых приведены в табл. 2. Как видно из полученных данных, наличие органического остатка в прибрежном иле весьма высоко — 7–14%, что в несколько раз выше, чем содержание органического остатка в отдаленных от берега участках моря (2–3%). Такая разница объясняется небольшой глубиной у берега, а также присутствием планктона и других органических веществ, приносимых волнами. Полученные данные позволяют сделать предположение, что биогаз в прибрежной зоне выделяется интенсивнее, чем в отдаленных участках акватории.

Таблица 2

Содержание органического вещества в прибрежном иле Азовского моря

Номер пробы	Пункт отбора	Координаты		Зольность, %	Органи-ка, %
		с.ш.	в.д.		
1	Юрьевка	46°56,549'	37°13,171'	85,71	14
2	Н. Ялта	46°57,046'	37°14,501'	93,23	7
3	Н. Ялта	46°56,900'	37°15,159'	93,00	7
4	Ялта	46°56,617'	37°16,041'	89,70	10
5	Ялта	46°56,401'	37°16,589'	90,17	10

Выводы:

— под воздействием анаэробных бактерий (археев) происходит процесс биологического разложения органических илов, что сопровождается среди прочего выделением биогаза. Установлено, что донные иловые отложения выделяют в атмосферу биогаз со средним содержанием метана 90%. По предварительным оценкам, вся акватория Азовского моря может выделять около 100 млрд м³ метана в год;

— показано, что природные условия мелководных заливов Азовского моря способствуют образованию биогаза. Содержание органического вещества в прибрежном иле достигает 7–14% по сравнению с 2–3% вдали от берега;

— выявлено высокое содержание метана (> 90%), низкое углекислого газа (<10%), практически полное отсутствие сероводорода при отборе газа с поверхности воды при глубине >1 м. Таким образом, происходит естественная очистка и концентрирование биометана (за счет более высокой растворимости H₂S, NH₃, CO₂, чем CH₄) при прохождении через морскую воду;

— подпитка газом глубинного происхождения маловероятна, о чем свидетельствует сравнение данных о химическом составе глубинного и поверхностного газа. Биогаз из илистых отложений Азовского моря может быть включен в альтернативный энергобаланс. Результаты исследований могут представлять интерес для предприятий топливно-энергетического комплекса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Альбов С.В.* О гидрогеохимии Сиваша и Перекопских озер // Литология и полезные ископаемые. 1972. № 1. С. 83–87.
- Albov S.V. O gidrogeohimii Sivasha i Perekopskikh ozer [About hydrogeochemistry Sivash and lakes of Perekop region], Lithologiya i poleznyie iskopaemye, 1972, no 1, pp. 83–87 (in Russian).
- Баадер В., Доне Е., Бренндерфер М.* Биогаз: теория и практика. М.: Колос, 1982. 148 с.
- Baader V., Done E., Brennderfer M. Biogaz: teoriya i praktika [Biogas: Theory and Practice], M.: Kolos, 1982, 148 p.
- Волошин В.С., Мнацаканян В.Г., Рязанцев Г.Б., Федосов А.В., Хасков М.А.* Исследование биогазовой продуктивности донного ила Азовского моря. Мариуполь: Вестн. ПГТУ. Сер. Тех. науки. 2011. С. 261–265.
- Voloshin V.S., Mnatsakanyan V.G., Ryazantsev G.B., Fedosov A.V., Haskov M.A. Issledovanie biogazovoy produktivnosti donnogo ila Azovskogo moray [Research biogas productivity bottom silt of the Azov Sea], Mariupol, Vestnik PGUTU, Ser. Teh. Nauki, 2011, pp. 261–265 (in Russian).
- Геология Азовского моря / Отв. ред. Е.Ф. Шнюкова.* Киев: Наукова думка, 1974. 248 с.
- Geologiya Azovskogo moray, Otв. red. E.F. Shnyukova [Geology of the Sea of Azov, Ed. by E.F. Shnyukova], Kiev, Naukova Dumka, 1974, 248 p. (in Russian).
- Дацко В.Г.* Органическое вещество в водах южных морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 212 с.
- Datsko V.G. Organicheskoe veshchestvo v vodah yuzhnykh morey SSSR [Organic matter in the waters of the southern seas of the USSR], Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR, 1959, 212 p. (in Russian).
- Закономерности экосистемных процессов в Азовском море.* М.: Наука, 2006. 304 с.
- Zakonornosti ekosistemnykh protsessov v Azovskom more [Patterns of ecosystem processes in the Azov Sea], Moscow: Nauka, 2006, 304 p. (in Russian).
- Зенкевич Л.А.* Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 740 с.
- Zenkevich L.A. Biologiya morey SSSR [Biology of the USSR seas], Moscow: Izdatel'stvo AN SSSR, 1963, 740 p. (in Russian).
- Мамыкина В.А., Хрусталева Ю.П.* Береговая зона Азовского моря. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 1980. 176 с.
- Mamykina V.A., Hrustalev Yu.P. Beregovaya zona Azovskogo moray [The coastal zone of the Azov Sea], Rostov n/D: Izdatel'stvo Rostovskogo Universiteta, 1980, 176 p. (in Russian).
- Матишов Г.Г.* Карта донных отложений Азовского моря. Ростов-н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2007. М-6 1:500 000.
- Matishov G.G. Karta donnykh otlozheniy Azovskogo moray [Map of sediments of the Azov Sea], Rostov n/D: Izdatel'stvo YuNTs RAN, 2007, Scale 1:500 000 (in Russian).
- Польшин В.В.* Донные отложения позднего голоцена Азовского моря // Геология, география и экология океана. Ростов н/Д: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009. С. 269–272.
- Polshin V.V. Donnyie otlozheniya pozdnego golotsena Azovskogo morya, Geologiya, geografiya i ekologiya okeana [The sediments of the Late Holocene Sea of Azov, Geology, geography and ecology of the ocean], Rostov n/D: Izdatel'stvo YuNTs RAN, 2009, pp. 269–272 (in Russian).
- Собакарь Г.Т.* Разломная тектоника и магматизм Северного Приазовья // Геофизический журн. 1981. Т. 3, № 1. С. 70–73.
- Sobakar' G.T. Razlomnaya tektonika i magmatizm Severnogo Priazovya [Fault tectonics and magmatism of the Northern Azov region], Geofizicheskiy Journal, 1981, V. 3, no 1, pp. 70–73 (in Russian).
- Солнечная энергетика:* М.: Мир, 1979. 390 с.
- Solnechnaya energetika [Solar energetics], Moscow: Mir, 1979, 390 p. (in Russian).
- Сорокина В.В.* Особенности терригенного осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века: Автореф. канд. дисс. Ростов н/Д, 2006. 23 с.
- Sorokina V.V. Osobennosti terrigennoy osadkonakopleniya v Azovskom more vo vtoroy polovine XX veka [Features terrigenous sedimentation in the Azov Sea in the second half of the XX century], PhD autoreferat, Rostov n/D: Rostov University, 2006, 23 p. (in Russian).
- Хрусталева Ю.П., Клунникова Л.З., Мирзоян И.Я.* Количественное распределение и основные типы взвеси Азовского моря // Лавинная седиментация в океане. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 1982. С. 95–118.
- Hrustalev Yu.P., Klunnikova L.Z., Mirzoyan I.Ya. Kolichestvennoe raspredelenie i os-novnyie tipyi vzvesi Azovskogo moray, Lavinnaya sedimentatsiya v okeane [Quantitative distribution of the main types of suspension at the Sea of Azov, Avalanche sedimentation in the ocean], Rostov n/D, Izdatel'stvo Rostovskogo Universiteta, 1982, pp. 95–118 (in Russian).
- Хрусталева Ю.П., Щербakov Ф.А.* Позднечетвертичные отложения Азовского моря и условия их накопления. Ростов н/Д: Изд-во Ростовского ун-та, 1974. 152 с.
- Hrustalev Yu.P., Scherbakov F.A. Pozdnechetvertichnyie otlozheniya Azovskogo morya i usloviya ih nakopleniya [Late Quaternary sediments of the Azov Sea and the conditions of their accumulation], Rostov n/D: Izdatel'stvo Rostovskogo Universiteta, 1974, 152 p. (in Russian).
- Хрусталева Ю.П.* Основные проблемы геохимии седиментогенеза в Азовском море. Апатиты: КНЦ РАН, 1999. 286 с.
- Hrustalev Yu.P. Osnovnyie problemyi geohimii sedimentogeneza v Azovskom more [The main problems of geochemistry of sedimentation in the Azov Sea], Apatity, KNTs RAN, 1999, 286 p. (in Russian).

G.B. Ryazantsev, V.G. Mnatsakanyan, V.I. Myslivets, L.M. Shipilova

**BACKGROUND OF GAS FORMATION IN THE BOTTOM MUD
OF THE AZOV SEA**

Input of organic matter into the Azov Sea and its accumulation in suspended matter and bottom sediments are discussed. The anaerobic bacteria (Archaea) decompose the organic mud and the biogas is emitted. If the depth exceeds 1 m gas samples from water surface have high concentration of methane (more than 90%), low concentration of carbon dioxide (below 10%) and practically no sulphurated hydrogen. Thus the natural purification and concentration of bio-methane take place while it passes through the sea water (due to higher dissolution of H_2S , NH_3 and CO_2 as compared with CH_4). Total output of methane from the Azov Sea surface is preliminary estimated at about 100 billion m^3 per year. Natural conditions of shallow bays of the sea are favorable for biogas production. The coastal mud has 7 to 14% of organic matter, while in the open sea its concentration is 2 to 3%. Inflow of gas from the deep layers is hardly possible, because chemical parameters of the surface and deep-earth gas are different. The biogas from the mud sediments of the Azov Sea could become a part of the alternative energy balance.

Key words: organic matter, suspended matter, bottom sediments, biogas, the Azov Sea.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 528.94

В.С. Тикунов¹**МЕТРО ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ, ИЛИ КАК РЕКОНСТРУИРОВАТЬ
ЛЕНИНСКИЙ ПРОСПЕКТ В МОСКВЕ**

Предложена конкретная модель двухуровневого транспортного движения на примере Ленинского проспекта г. Москвы. Описана идея транспортных развязок и сочетания дорог для автомобильного движения и линий метро.

Ключевые слова: метро, автомобильный транспорт, Москва.

В ряде городов страны, и прежде всего в Москве, власти прикладывают множество усилий и тратят немалые средства на улучшение транспортной ситуации, а “неблагодарные” жители иногда еще и протестуют против “улучшений”. Недавний пример — план реконструкции Ленинского проспекта в Москве, когда инициативные группы противников плана приложили немалые усилия и при поддержке международно-признанных авторитетов добились его отмены. Лозунг “Вы хотите жить рядом с МКАД?” убедил многих в необходимости пересмотра проекта. Действительно, малопривлекательно жить рядом со скоростной магистралью, а Ленинский проспект согласно проекту рассматривался только как транспортная артерия.

С нашей точки зрения, план реконструкции должен быть комплексным и вести к минимальным нарушениям сложившейся структуры города. Не следует улучшать одну сферу жизни за счет другой, а нужно искать некоторый оптимум за счет разумных компромиссов. Что же можно предложить в рассматриваемом случае? Лучший вариант — это прокладка метро неглубокого заложения, а над ним двухуровневая дорога (первый уровень прямо над линией метро, а второй чуть ниже уровня земли). Метро от ст. Столбово в Новой Москве до будущей ст. ул. Новаторов (пересечение ул. Новаторов и Ленинского проспекта) в планах строительства и эту ветку можно продолжить, например, до пл. Гарины.

Нам доводилось уже писать о преимуществах двухуровневых дорог в газете префектуры Юго-Западного административного округа Москвы “За Калужской заставой” (2010, № 40) и кратко в газете “Аргументы и факты” (2010, № 47). В этом случае ширина проезжей части на поверхности земли может быть сильно заужена и дополнительно засажена деревьями, но при этом реконструкция позволит увеличить транспортный поток сразу в 2 раза. Осуществить организацию движения можно так,

чтобы поток в центр шел бы по второму уровню, а из центра — по первому, т.е. сделать его двухуровневым. Это обезопасит движение, так как нельзя будет ездить по встречной полосе, сэкономят место на разделительной полосе, избавит от светофоров, позволит легко организовать развязки, а реконструкция будет намного дешевле, чем строительство дублера дороги в районах со старой застройкой (что также когда-то планировалось). Кроме того, станет легче организовать пешеходные переходы, разместить продовольственные магазины (которых здесь почти не осталось), общественные автостоянки у крупных магазинов, парковки и гаражи для жителей. Это попутно решает три проблемы — безсветофорное движение с легкой организацией развязок, размещение магазинов в шаговой доступности и ликвидация стихийных стоянок во дворах.

Технически перестроить движение можно исходя из существующей ширины дороги (8 полос и разделение между ними превращаются в 9 полос). На первом уровне крайние правая и левые полосы отдаются общественному транспорту (в одном направлении общественный транспорт движется навстречу основному потоку), их можно огородить столбиками. Оставшиеся 7 полос используются следующим образом — средняя полоса — для машин с наибольшей скоростью, две ближайших полосы от полос для общественного транспорта используются как полосы разгона и торможения при съездах и разворотах, уводя и принимая потоки влево или вправо за счет опускания или поднятия над полосами общественного транспорта. Полосы торможения и разгона следуют одна за другой, до и после съезда/выезда на трассу, соответственно. Пересекающие магистрали уходят под дорогу в виде туннелей и к ним примыкают съезды/выезды, на втором уровне (7 полос) — центральная полоса скоростная, крайние слева и справа полосы для разгона/торможения. Схема развязок для двухуровневой магистрали представлена в работе автора

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра географии мирового хозяйства, профессор, докт. геогр. н.; e-mail: vstikunov@yandex.ru

[Тикунов, 2014] в виде фотографий разных ракурсов трехмерной виртуальной модели транспортного движения, а также в виде анимации на сайте <http://icsu-wds.ru/index.php/ru/2013-04-09-19-12-50/our-projects/15-balanced-developing-of-rural-areas>. При этом на поверхности земли можно оставить по одной полосе для подъезда жителей к своим домам, а остальное место может быть отдано мамам с колясками, лавочкам и кустам. Выхлопные газы из автомобильного метро утилизируются, жители вдоль

магистрали дышат чистым воздухом, при этом углекислый газ может отчасти использоваться и для стимулирования роста травы и растений на поверхности. Сделанное предложение следует рассматривать как идею, а не как конкретную разработку для Ленинского проспекта.

Для территории Новой Москвы имеет смысл проанализировать возможность создания двухуровневых дорог над проектируемыми линиями метро, где пока легко зарезервировать место под развязки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENTS

Тикунов В.С. О комплексности развития городских территорий // Управление развитием территории. 2014. № 1. С. 29–30.

Tikunov V.S. O kompleksnosti razvitiya gorodskih territoriy [On the integrity of urban development], Upravlenie razvitiem territoriy, 2014, no 1, pp. 29–30.

Поступила в редакцию
24.02.2015

Tikunov V.S.

SUBWAY FOR MOTOR CARS, OR HOW CAN WE RECONSTRUCT THE LENINSKY AVENUE IN MOSCOW

A model of two-level traffic organization is proposed for the case study of the Leninsky Avenue in Moscow. The concept of interchanges and combining subways and motor roads is discussed.

Key words: subway, motor transport, Moscow.

ЮБИЛЕИ

ЮБИЛЕЙ Т.М. БЕЛЯКОВОЙ

1 января 2015 г. отметила юбилей Татьяна Михайловна Белякова, доцент кафедры геохимии ландшафтов и географии почв. Вся жизнь Татьяны Михайловны связана с географическим факультетом и кафедрой геохимии ландшафтов и географии почв, на которой она работает с 1958 г.

На протяжении этих лет она ведет большую научную, педагогическую и общественную работу. В 1970-е гг. Т.М. Белякова была у истоков становления на кафедре нового научного направления — медицинской геохимии ландшафтов, развивавшегося на стыке геохимии ландшафтов, медицины и медицинской географии. В рамках медико-экологических исследований изучалось влияние геохимических особенностей окружающей среды на здоровье человека, географические закономерности распространения заболеваний человека. Под ее руководством проводились работы совместно с Институтом морфологии человека, Всесоюзным онкологическим центром АМН, Институтом онкологии Казахстана, были организованы многочисленные экспедиционные исследования в Казахстане, на Среднем и Южном Урале, в Прикаспии, Подмосковье. Т.М. Беляковой разработаны новые методы медико-геохимической оценки территорий и экологического прогнозирования, методология составления комплексных медико-экологических карт.

Полученные результаты внедрены в учебный процесс, в практику хозяйства и здравоохранения,

доклаживались на международных, всесоюзных и всероссийских съездах, конгрессах и конференциях. Ею опубликовано более 200 научных работ.

Татьяна Михайловна читает оригинальный курс лекций “Медицинская геохимия”, она теоретически переработала и обновила традиционные курсы “Методы полевых исследований”, “Диагностика почв и элементарных ландшафтов”. В течение многих лет она руководила почвенно-географической практикой студентов 1-го курса в Сатине, где благодаря ее активной деятельности был создан методический кабинет. Она подготовила и опубликовала методическое пособие “Полевая практика по почвоведению”. Татьяна Михайловна руководила студенческими курсовыми и дипломными работами, под ее руководством успешно защищено 9 кандидатских диссертаций.

Т.М. Белякова пользуется заслуженным авторитетом и большим уважением коллектива кафедры. За многолетнюю научно-педагогическую деятельность и большой вклад в подготовку специалистов она награждена юбилейным знаком “250 лет МГУ имени М.В. Ломоносова”, медалью “В память 850-летия Москвы”, медалью В.В. Ковальского, а в 2006 г. ей присвоено почетное звание “Заслуженный преподаватель Московского университета”.

Сердечно поздравляем Татьяну Михайловну с юбилеем, желаем ей крепкого здоровья и многолетней плодотворной деятельности.

ЮБИЛЕЙ Н.С. БОЛИХОВСКОЙ

28 февраля 2015 г. — юбилей у Наталии Степановны Болиховской, доктора географических наук, ведущего научного сотрудника научно-исследовательской лаборатории новейших отложений и палеогеографии плейстоцена, заслуженного научного сотрудника Московского университета.

Н.С. Болиховская — выпускница кафедры общей физической географии и палеогеографии географического факультета МГУ. Вся ее творческая жизнь связана с факультетом, кафедрой и лабораторией. Здесь она прошла путь от старшего лаборанта до ведущего научного сотрудника (1997). В 1975 г. ею защищена диссертация на соискание ученой степени кандидата, а в 1996 г. — доктора географических наук. Ученое звание “старший научный сотрудник” присвоено ей в 1991 г., почетное звание “Заслуженный научный сотрудник Московского университета” — в 2013 г.

Наталия Степановна — признанный специалист в области палеогеографии и стратиграфии

четвертичного периода в нашей стране и за рубежом. Она внесла весомый вклад в решение важнейшей проблемы эволюционной географии — выявление закономерностей развития растительности и климата Северной Евразии в плейстоцене. На основе оригинальных методик Н.С. Болиховской выполнено подробное палинологическое изучение ранее немых в палеоботаническом отношении субэкральных отложений, создано новое палеогеографическое направление — палинология лёссов и ископаемых почв, что позволило разрешить так называемую проблему палеогеографии лёссов. Она разработала принципиально новую концепцию генезиса, климатостратиграфии и палеогеографии лёссово-почвенной формации Северной Евразии на основе синтеза комплекса палеогеографических данных и впервые полученных результатов детального палинологического анализа лёссов и ископаемых почв в опорных разрезах плейстоцена Восточно-Европейской, Западно-Европейской и Центрально-Ази-

атской лёссовых провинций. Ею впервые установлены особенности направленного, ритмического и циклического развития флоры, растительности и климата в плейстоцене; на основе палинологических, геохронологических и комплекса палеогеографических данных разработана климато-хроностратиграфическая схема межледниковой и ледниковой, межстадиальной и стадияльной климаторитмики плейстоцена Северной Евразии.

Научные труды Н.С. Болиховской широко известны. Она автор 22 монографий и около 200 статей, многочисленных докладов на российских и международных научных форумах. Ее работы всегда основаны на большом объеме экспедиционных и лабораторных данных. Наталия Степановна — руководитель и участник многих проектов РФФИ, ряда международных программ и проектов. Помимо научной деятельности она выполняет большой объем научно-организационной, экспертной и педагогической работы. Она председатель Палинологической комиссии РАН, член совета Международной федерации палинологических обществ, Регионального межведомственного стратиграфи-

ческого комитета, входит в состав диссертационного совета при МГУ. Наталия Степановна часто выступает инициатором и организатором научных мероприятий разного ранга в нашей стране и за ее пределами, редактирует научные сборники, рецензирует статьи в российских и зарубежных научных журналах, оппонирует докторские и кандидатские диссертации. Ее педагогическая работа заключается в чтении лекций, руководстве кандидатскими и магистерскими диссертациями, консультировании докторских диссертаций, проведении стажировок молодых специалистов по палинологии, климатостратиграфии и палеогеографии.

Многогранная работа, исследовательский талант и незаурядная работоспособность Наталии Степановны, искренняя преданность своему делу, доброжелательность и неравнодушие снискали ей искреннюю любовь и уважение коллег.

От всей души поздравляем Наталию Степановну с юбилеем и желаем на долгие годы крепкого здоровья, новых творческих успехов, счастья и благополучия!

70-ЛЕТИЕ Г.Г. МАТИШОВА



1 января 2015 г. — 70-летний юбилей академика Геннадия Григорьевича Матишова, известного российского географа, океанолога, эколога. В 35 лет он защитил на географическом факультете Московского государственного университета докторскую диссертацию, в которой разработал принципиально новую концепцию морских экзогенных процессов в ледниковый период. С 1981 г. он возглавляет Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН, в 1997 г. он стал действительным членом Российской академии наук. С 2002 г. академик Г.Г. Матишов — председатель Южного научного центра РАН.

Желаем Геннадию Григорьевичу крепкого здоровья, дальнейших успехов, новых творческих свершений.

Редколлегия журнала

ПОТЕРИ НАУКИ

А.Н. КОСАРЕВ

21 сентября 2014 г. после тяжелой болезни на 81-м году жизни скончался Алексей Нилович Косарев, главный научный сотрудник кафедры океанологии географического факультета, профессор, доктор географических наук.

А.Н. Косарев поступил на географический факультет в начале 1950-х гг., в течение 60 лет он сначала учился, а затем работал на кафедре океанологии, со времени ее основания прошел славный путь от студента до главного научного сотрудника, одного из крупнейших российских океанологов-мореведов с широким международным признанием. Все эти годы он в высшей степени успешно вел большую и разнообразную научную и педагогическую работу. Ее итогом стали десятки монографий, в том числе опубликованные в ведущих мировых издательствах. Под его руководством подготовлено свыше десяти кандидатских диссертаций, неко-

торые из его учеников ныне стали академиками. Особое внимание уделял Алексей Нилович Каспийскому морю, был одним из крупнейших в России специалистов по гидрологии этого бассейна.

В течение многих лет А.Н. Косарев работал в отечественных и международных научных учреждениях и организациях по изучению океанов и морей, был членом специализированных диссертационных советов географического факультета и Института океанологии РАН, руководил морскими и океанскими научными экспедициями, консультировал инженерные океанологические изыскания на Кубе и в Гвинее. Трудовая деятельность А.Н. Косарева отмечена медалями и почетными званиями.

Память об Алексее Ниловиче — большом ученом и отзывчивом старшем товарище — навсегда сохранится в наших сердцах.

Н.С. МИРОНЕНКО

6 декабря 2014 г. ушел из жизни, Николай Семенович Мироненко, Заслуженный деятель науки РФ, Почетный работник высшего профессионального образования РФ, Заслуженный профессор Московского университета, доктор географических наук, свыше 20 лет заведовавший кафедрой географии мирового хозяйства географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Н.С. Мироненко родился 5 сентября 1941 г. в Джанкойском районе Крыма. В 1968 г. он окончил естественно-географический факультет Крымского педагогического института и работал ассистентом кафедры экономической географии Симферопольского пединститута. В дальнейшем трудовая биография Николая Семеновича теснейшим образом связана с географическим факультетом МГУ — в 1970 г. он поступил в аспирантуру факультета и в 1974 г. защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата географических наук на тему “Проблемы рекреационного районирования Причерноморья социалистических стран”. После окончания аспирантуры он остался работать на кафедре экономической географии зарубежных социалистических стран сначала в должности младшего научного сотрудника, затем — старшего преподавателя, доцента. В 1987 г. Н.С. Мироненко защитил докторскую диссертацию на тему “Рекреационная среда зарубежных европейских стран — членов СЭВ (принципы и методы социально-географического исследования)”, с 1991 г. он работал на кафедре в должности профессора. Весной 1991 г. кафедра была преобразована в кафедру географии

мирового хозяйства, которую спустя несколько месяцев возглавил Николай Семенович.

Н.С. Мироненко — выдающийся ученый, крупнейший авторитет в области социально-экономической, политической и рекреационной географии. Его творческий путь ярок и насыщен. Н.С. Мироненко — один из основоположников научной школы рекреационной географии, отечественной геополитики и политической географии, он внес большой вклад в разработку теоретических и методических положений комплексного страноведения. Он создал новое направление в российской экономико-географической науке — географию мирового хозяйства. Разработкой представлений о пространственной структуре мирового хозяйства и ее генезисе Николай Семенович активно занимался вплоть до последних дней.

Н.С. Мироненко оставил богатое научное наследие — свыше 200 работ, насыщенных глубокими размышлениями и новыми идеями, осваивать и развивать которые предстоит его многочисленным ученикам. Он автор и соавтор многих фундаментальных трудов: “Рекреационная география” (1981); “Рекреационные системы” (1986); “Методика страноведческого исследования” (1993), за которую ему была присуждена премия имени Д.Н. Анучина; “Введение в географию мирового хозяйства” (1995); “Страноведение: теория и методы” (2001); “Геополитика и политическая география” (2001), а также учебного пособия “Введение в географию мирового хозяйства. Международное разделение труда” (2006), написанного на основе прочитанных ранее курсов

лекций на географическом факультете МГУ, где обобщены результаты его многолетних исследований. Под руководством Н.С. Мироненко во второй половине 2000-х гг. коллективом кафедры была выпущена серия научных сборников, посвященных различным проблемам развития территориальной структуры мирового хозяйства, а в 2012 г. — учебник для студентов вузов “География мирового хозяйства”.

Как прозорливый руководитель Н.С. Мироненко всегда уделял первостепенное внимание развитию человеческого капитала, обеспечению образовательного процесса, разработке и модернизации учебного плана. Будучи талантливым педагогом, он вложил душу и силы в подготовку сотен студентов кафедры; под его руководством защищено более 30 кандидатских диссертаций.

Н.С. Мироненко занимался активной общественной деятельностью. С 1995 г. он — бессменный председатель экономико-географического диссертационного совета при МГУ; с 1998 г. — глава секции географии Центрального дома ученых РАН; на протяжении многих лет он входил в Экспертный совет по наукам о Земле ВАК РФ, был членом Федерального реестра экспертов научно-технической сферы и других организаций, а также редколлегий целого ряда географических журналов.

Мы потеряли доброго, скромного и отзывчивого человека, эрудита и большого труженика, талантливого ученого и мягкого преподавателя. Светлая память о Николае Семеновиче навсегда сохранится в сердцах его коллег, друзей и многочисленных учеников.

Редколлегия журнала

ХРОНИКА

**ВОПРОСЫ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИЙ
НА НАУЧНОЙ СЕССИИ В БАКУ**

С 16 по 20 сентября 2014 г. в Баку (Азербайджан) прошла XVII сессия Объединенного научного совета по фундаментальным географическим проблемам при Международной ассоциации академий наук и Научного совета по фундаментальным географическим проблемам РАН. Подобные сессии проводятся ежегодно. Тема сессии в Баку — географические проблемы региона Каспийского моря и изучение путей достижения устойчивого развития территорий. В организации сессии деятельное участие принял Институт географии имени акад. Г. Алиева Национальной академии наук Азербайджана (НАНА). На сессии проведено семь заседаний.

Первым был заслушан доклад акад. НАНА Р.М. Мамедова “Воздействие климатических изменений и антропогенной нагрузки на экосистему Каспийского моря”, в котором изложена история изучения Каспия, современная экологическая ситуация, проанализированы климатические изменения и современная антропогенная нагрузка на экосистему, уделено внимание комплексному мониторингу водоема. В докладе чл.-корр. РАН С.А. Добролюбова с соавторами представлены материалы создаваемого комплексного электронного атласа Каспийского моря, где будут подведены итоги многолетних комплексных исследований этого региона, проводившихся последние полвека коллективом географов МГУ имени М.В. Ломоносова. В атласе приводятся карты истории изучения Каспия, гидрометеорологической обстановки, а также геоморфологические и ландшафтные, дана современная социально-экономическая информация, сделан прогноз развития региона на ближайшие десятилетия. В докладе Ф.А. Кадырова и А.А. Фейзуллаева (Институт геологии НАНА) была продемонстрирована геодинамическая модель нефтегазоносности Южно-Каспийской впадины.

В докладе чл.-корр. НАНА Э.К. Ализаде с соавторами (Институт географии НАНА) отражены ландшафтно-экологические особенности геосистем западного побережья Каспийского моря, представлены результаты детального ландшафтно-геохимического картографирования. Д.В. Десинов с соавторами (Институт географии РАН) убедительно показали возможности использовать данные с международных космических станций для мониторинга нефтяных загрязнений в Прикаспийском регионе. Доклад акад. В.А. Румянцева (Институт озероведения РАН) “Цветение синезеленых водорослей — глобальная социально-экологическая проблема” был сделан с учетом каспийских материалов.

В докладе Н.И. Коронкевича с соавторами (Институт географии РАН) “Факторы изменения

волжского притока в Каспийское море” обобщены результаты многолетних гидрологических работ в бассейне Волги, показана межгодовая и многолетняя изменчивость притока воды в Каспий. Ф.А. Имам-ов (Бакинский государственный университет) доложил данные о естественной и антропогенной трансформации годового стока р. Кура. В докладе А.В. Измайловой (Институт озероведения РАН) на примере Прикаспийского региона показана роль больших и малых озер в развитии территорий.

Вопросы пространственного планирования предгорных районов Азербайджана рассмотрены в докладе А.И. Чистобаева с соавторами (Научно-исследовательский институт пространственного планирования “Энко”, Россия) и В. Сефиханлы (Компания R.I.S.K., Республика Азербайджан). Территориальная структура населения и перспективы модернизационных процессов в Кавказском регионе рассмотрены в докладе О.Б. Глезер (Институт географии РАН) и С.Г. Сафронова (МГУ).

Современному состоянию и перспективам общекавказского научного сотрудничества были посвящены выступления Р.Г. Грачевой и Ю.П. Баденкова (Институт географии РАН).

Стратегия сохранения биологического и ландшафтного разнообразия северного побережья Каспия изложена в докладе А.А. Тишкова и Е.А. Белановской (Институт географии РАН), динамика экологических характеристик почвенно-растительного покрова дельты реки Волги в зависимости от изменения климата — в докладе А.Н. Бармина (Астраханский государственный университет). В докладе чл.-корр. РАН В.А. Снытко (Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН) изложен историко-научный анализ исследования Прикаспия в 1930-е гг. на примере работ Нижне-Волжской экспедиции Академии наук СССР.

Специальное заседание было посвящено путям достижения устойчивого развития территорий. Так, в докладе акад. В.Ф. Логинова, М.И. Струка, В.С. Хомича (Институт природопользования НАН Республики Беларусь) рассмотрены проблемы устойчивого территориального развития Белоруссии. Чл.-корр. РАН А.А. Чибилев с соавторами (Институт степи УрО РАН) в своем докладе представили бассейн Урала как трансграничный регион и изложили проблемы его устойчивого развития. В докладе чл.-корр. РАН Б.А. Воронова (Институт водных и экологических проблем ДВО РАН) изложены некоторые аспекты экологической политики обеспечения устойчивого развития территории на примере Дальнего Востока. “Географические векторы устойчивого развития Сибири” — тема доклада

Л.А. Безрукова, Л.М. Коротного, В.М. Плюснина (Институт географии имени В.Б. Сочавы СО РАН). Об особенностях устойчивого развития горных регионов в условиях трансграничности на примере Алтая говорилось в докладе Ю.И. Винокурова и Б.А. Краснояровой (Институт водных и экологических проблем СО РАН).

В целом на сессии обсуждался широкий спектр физико-, экономико- и социогеографических про-

блем Каспийского моря, а также устойчивого развития территорий разных географических масштабов на евразийском пространстве.

Для участников сессии азербайджанские географы провели полевые экскурсии на северо-восточный склон Большого Кавказа и Азербайджанское побережье Каспийского моря.

С.А. Добролюбов, В.А. Снытко