

Вестник Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

Серия 5

ГЕОГРАФИЯ

№ 3 • 2015 • МАЙ — ИЮНЬ

Издательство Московского университета

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

Теория и методология

- Климанова О.А., Козлов Д.Н. Формализованные подходы к оценке неопределенности географического районирования. 3

География и экология

- Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В. Почвенный покров космодрома Байконур и его устойчивость к техногенному воздействию. 12
- Исаков В.А. Температурный режим в основаниях дорог в вечной мерзлоте. 25
- Дехнич В.С., Дронин Н.М. Расчет выбросов парниковых газов коммунальным сектором г. Астана. 35

Методы географических исследований

- Иванова А.А., Архипкин В.С., Мысленков С.А., Шевченко Г.В. Моделирование штормовых нагонов в прибрежной зоне о. Сахалин. 41
- Христофоров А.В., Юмина Н.М., Белякова П.А. Прогноз паводкового стока рек Черноморского побережья Кавказа с заблаговременностью одни сутки. 50
- Кожин М.Н., Ершова Е.Г., Смышляева О.И., Попова К.Б. Современные спорово-пыльцевые спектры островов Белого моря (Порья губа) . . . 58

Региональные исследования

- Медведев И.П., Архипкин В.С. Колебания уровня моря в Голубой бухте (Геленджик) 70
- Шустова Е.А. География банковской системы Германии. 79
- Вонгтуй Б., Алексеева Н.Н. Современное обезлесение горных районов Таиланда на основе изучения динамики землепользования 86

Хроника

- Мазуров Ю.Л. Нагойская конференция по образованию в интересах устойчивого развития 92

Юбилей

- 75-летие Андрея Александровича Лукашова 94

Потери науки

- Николай Иванович Алексеевский 95

CONTENTS

Theory and methodology

- Klimanova O.A., Kozlov D.N. Formal approaches to the evaluation of non-uniqueness of the delimitation of geographical regions. 3

Geography and ecology

- Krechetov P.P., Koroleva T.V., Chernitsova O.V. Soil cover of the Baikonur Cosmodrome area and its resistance to the technogenic impact 12
Isakov V.A. Temperature regime of road basements in the permafrost 25
Dekhnich V.S., Dronin N.M. Estimate of greenhouse gases emissions from the municipal sector sources in the town of Astana. 35

Methods of geographical studies

- Ivanova A.A., Arkhipkin V.S., Myslenkov S.A., Shevchenko G.V. Modeling of storm surges in the coastal zone of the Sakhalin Island 41
Khristoforov A.V., Yumina N.M., Belyakova P.A. A one-day lead time flood forecast for the rivers of the Black Sea coast of the Caucasus 50
Kozhin M.N., Ershova E.G., Smyshlyaeva O.I., Popova K.B. Modern pollen spectra of the White Sea islands (case study of the Poriya Guba Bay) 58

Regional studies

- Medvedev I.P., Arkhipkin V.S. Sea level oscillations in the Golubaya Bay (the town of Gelendzhik) 70
Shustova E.A. Geography of banking in Germany 79
Wongtui B., Alekseeva N.N. The present-day deforestation of mountain regions in Thailand (on the basis of land use dynamics studies) 86

Chronicle

- Mazurov Yu.L. Nagoya conference on the education for sustainable development 92

Jubilee

- To the 75th birthday of Andrey Aleksandrovich Lukashov 94

Obituary

- Nikolay Ivanovich Alekseevsky 95

ТЕОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ

УДК 911.6; 51-7

О.А. Климанова¹, Д.Н. Козлов²ФОРМАЛИЗОВАННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ

Продемонстрированы возможности применения формализованных подходов для оценки определенности индивидуальных районов, выделенных на основе методики мягкого районирования. В качестве объекта исследования и проверки на предмет определенности выбрана схема геоэкологического районирования Африки, выполненная в результате комплексного многокритериального анализа с использованием жестких и “плавающих” признаков. Операционно-территориальные единицы исследования — ячейки, элементы регулярной сетки размером $0,5 \times 0,5^\circ$, для них на основе тематических баз данных определены характеристики различных показателей в номинальной и интервальной шкалах. Район представляется как территориальная совокупность смежных ячеек, обладающих сходными значениями признаков районирования. Рассмотрены три типовые ситуации пересечения в математическом пространстве признаков множеств ячеек, образующих районы, соответствующие высокой, средней и низкой неопределенности районирования. Полученные результаты объясняются с позиций индивидуальных особенностей районов, обсуждены ограничения примененных для их анализа математических методов. Определены переменные (признаки) районирования, внесшие наибольший вклад в разделение на районы. Показаны возможности применения указанных методов для локализации ядер типичности и периферийных частей районов.

Ключевые слова: районирование, математический анализ, неопределенность, операционно-территориальные единицы.

Введение. В отечественной географической традиции районирование считается важнейшей составляющей территориальных исследований [Саушкин, 2001] и даже ее характерной особенностью [Смирнягин, 2005]. Как результат последовательного анализа и синтеза эмпирической информации о территории, оно полностью воплощает комплексный географический подход к ее изучению и имеет как общетеоретическое, так и прикладное значение. Вместе с тем не теряют актуальности теоретические и методические проблемы районирования, неоднократно затрагивавшиеся в работах, вышедших в 1970-е гг. прошлого века. К их числу относятся, например, вопросы объективности (целостности) регионов [Арманд, 1975], дискретности/континуальности их границ, значимости признаков, положенных в основу выделения [Ретеюм, 1975]. Широкое распространение геопространственных данных придает развитию регионального концепта новый импульс и предоставляет новые возможности для осмысления понятия региона. Это касается как использования данных и результатов эмпирических исследований, так и совершенствования методических принципов районирования. Наличие информации в цифровом формате и адаптивных средств

ее математического анализа позволяет не только изучать региональные различия на территориях любой размерности, но и создает новые возможности для верификации результатов исследований, в том числе построенных на экспертных оценках. Последнее дает возможность на формальной основе подойти к рассмотрению обоснованности экспертного районирования, выполненного на основе плавающих признаков — наиболее уязвимого с точки зрения классификационной логики. В связи с этим цель статьи — продемонстрировать возможности применения формализованных подходов для оценки определенности индивидуальных районов, выделенных на основе методики мягкого районирования.

Материалы и методы исследований. Известно, что при выделении районов основное внимание исследователя концентрируется на поиске различий между ними [Тикунов, 1994; Claval, 2006]. Именно различия определяют индивидуальные особенности данного района по сравнению с аналогичными. С формальной точки зрения индивидуальность района может быть описана через совокупность количественных показателей, значения которых для каждого района отличаются от наблюдаемых в других районах [Eetvelde, Anthrop, 2009; Scheinberg,

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии и ландшафтоведения, доцент, канд. геогр. н.; e-mail: daniilkozlov@gmail.com

2006], однако по мере нарастания числа показателей эти различия становятся все менее выраженными. В связи с этим одна из дополнительных задач, решаемых в ходе районирования, — поиск сбалансированной по количеству и содержанию совокупности показателей, которые могли бы адекватно отражать специфику каждого района.

Единой теории районирования в географии пока не создано [Шувалов, 2013], хотя методологические проблемы, характерные для районирования в целом, неоднократно рассматривались в ряде теоретических публикаций [Родоман, 1999; Каганский, 2003; Исаченко, 2004; Смирнягин, 2005]. Различия в подходах к выделению интегральных районов в физической и социально-экономической географии достаточно определены. Так, физико-географические районы состоят из иерархически соподчиненных природных комплексов разных размеров [Михайлов, 1985]; их единство сформировано за счет причинно-следственных связей [Исаченко, 2004]. В социально-экономической географии на этапе индустриализации районы выделяли преимущественно как экономические районы, однако в последней трети XX в. на роль интегральных стали претендовать социальные или общественные районы [Шувалов, 2013]. Однако районирование во многом остается экспертной процедурой и содержит элемент субъективности. Особенно это касается случаев исследовательского районирования, когда оно осуществляется не под какую-то прикладную задачу, а представляет собой инструмент познания территориальной неоднородности. Существенная роль эксперта в процедуре географического районирования обусловлена принципиальной нечеткостью картографического отображения географических объектов и их границ [Тикунов, 1997].

Результат районирования в значительной степени зависит не только от его целей, но и от того, какие операционно-территориальные единицы (ОТЕ) [Дьяконов, 1975; Куприянова, 1975] — ландшафты, территориально-производственные комплексы, ячейки регулярной сетки — объединяются в ходе районирования. Появление геоинформационных систем способствовало значительному расширению возможностей применения в районировании параметрического подхода [Eetvelde, Anthrop, 2009]. В ка-

честве начального этапа исследования он был известен и с успехом применялся еще в первых работах по географическому районированию в конце XIX — начале XX в. При использовании геоинформационных систем для ландшафтного районирования его суть в самом общем смысле состоит в последовательном наложении серии тематических карт, образующих композитное изображение, где средствами пространственного анализа выделяются участки, которые можно классифицировать как комплексы, обладающие относительной однородностью. Пространственные ландшафтные мозаики, образованные разными типами комплексов, определяют уникальность территории и составляют основу выделения (делимитации) района [Fairclough, Macinnes, 2003; Eetvelde, Anthrop, 2009]. Взаимосвязь ландшафтных комплексов формирует не только морфологию, но и содержание района, из которого вытекает его целостность.

В отличие от традиционного ручного районирования, которое чаще всего имело дело с ареалами, отражающими локализацию природных комплексов, цифровое картографирование, оперирующее растровыми изображениями, качественно меняет принцип районирования. В этом случае операционно-территориальными единицами становятся элементы регулярной сетки с фиксированным шагом ($1 \times 1^\circ$, $0,5 \times 0,5^\circ$, 10×10 км). Для каждого элемента (пикселя, ячейки) территории исследования на основе тематических баз данных могут быть определены характеристики различных показателей в номинальной и интервальной шкалах. В таком случае район можно представить как территориальную совокупность смежных ячеек, обладающих сходными значениями признаков районирования.

В математическом пространстве признаков районирования множества, которые образованы смежными ячейками, входящими в состав района, могут: а) не иметь пересечений, б) пересекаться, в) практически полностью совпадать (рис. 1).

Характер пересечения множеств позволяет оценить степень индивидуальности выделенных районов. Так, в первом случае множества ячеек первого и второго районов не пересекаются, поэтому с достаточной долей уверенности можно утверждать, что выделенные районы обладают высокой сте-

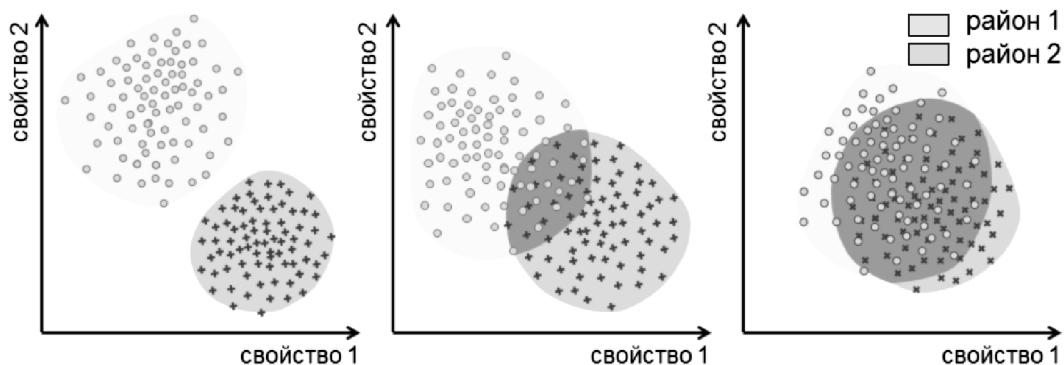


Рис. 1. Свойства районов в пространстве признаков районирования

пенью индивидуальности. Во втором случае часть ячеек, входящих в состав одного района, обладает сходными свойствами с частью ячеек другого района, что позволяет предположить, например, что ядра (центры) обоих районов выделены правильно, а их периферия обладает сходными свойствами. В третьем случае выделенные районы обладают малой степенью индивидуальности, так как их свойства в пространстве признаков очень близки. Однако подобная принципиальная схема может быть справедлива и для типологии районов по совокупности признаков. Для разделения территории на районы необходимо объединение территориальных единиц [Исаченко, 1991; Тикунов, 1994]. В предложенной схеме признаками смежности могут быть: 1) расстояние ячейки от географического центра района (для изоморфных ареалов), 2) расстояние до границы, 3) число ячеек разных районов в окрестности обособленного размера.

В случае наличия уже выполненной схемы районирования каждой ячейке наряду с другими признаками можно придать характеристику принадлежности к тому или иному району и оценить неопределенность выполненного районирования. Под регионом с высокой степенью неопределенности можно понимать: 1) регион, не обладающий

собственной самостоятельностью (целостностью), 2) регион, имеющий широкую зону перехода с соседними.

Не касаясь вопросов автоматического районирования, продемонстрируем подход к формальной оценке неопределенности экспертного районирования на примере результатов комплексного геоэкологического районирования Африки [Климанова, 2014] (рис. 2).

Выделение геоэкологических районов проводилось по результатам комплексного многокритериального анализа с использованием жестких и “плавающих” признаков. Геоэкологические районы 1-го порядка (макрорегионы) выделялись на основе общности геоструктурного плана и макрорельефа территории, сходства макроклиматических условий (географический пояс и сектор), своеобразия зональной структуры, а также особенностей бассейновой дифференциации. Затем на основе общности истории цивилизационного освоения, этнолингвистического состава территории и типа хозяйственного освоения они разделены на геоэкологические районы 2-го порядка. Таким образом, в ходе районирования выделено 10 геоэкологических районов 1-го порядка и 45 геоэкологических районов 2-го порядка.

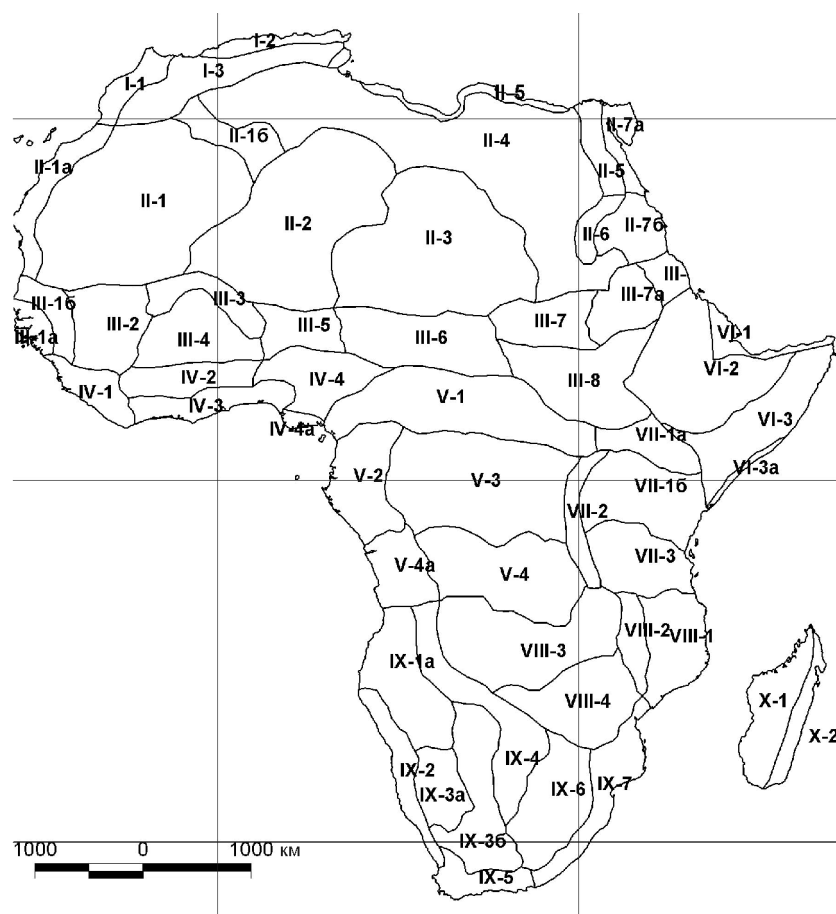


Рис. 2. Геоэкологическое районирование Африки (по [Климанова, 2014] с изменениями). Римские цифры — геоэкологические районы 1-го порядка: I — Магриб, II — Пустынный пояс, III — Судано-Сахельский коридор, IV — леса и лесосаванны Гвинейского побережья, V — Лесное Конго, VI — Эфиопское нагорье, VII — Высокие плоскогорья Восточной Африки, VIII — Юго-Восточная Африка, IX — Южная Африка, X — Мадагаскар

Таблица 1

Источники растровых данных, использованные при анализе

Наименование	Шкала признаков	Размер ячейки	Источник
Высотные ступени	Относительная	0,5°	[United States Geological Survey, 1996]
Индекс аридности	Интервальная	0,166667×0,166667	[Food and Agricultural Organization, 2014]
Типы земельного покрова и землепользования	Номинальная	0,008928×0,008928	[Global Land Cover, 2000, 2003]
Плотность населения	Относительная	0,041666×0,041666	[Center for International Earth Science Information Network, 2003]
Антропогенные биомы	Номинальная	5 угл. минут	[Ellis, Ramankutty, 2008]

Для оценки неопределенности результатов районирования мы использовали слои растровых данных, доступные на картографическом портале FAO-GeoNetwork [Food..., 2014], данные цифрового моделирования GTOPO 30 [United..., 1996], данные CIESIN [Center..., 2003] (табл. 1). Все пространственные данные были преобразованы к сетке с размером ячейки 0,5×0,5°. Затем для каждой ячейки получены показатели средней плотности населения, абсолютной высоты, первичной продуктивности и индекса аридности. Для учета вклада городского населения для каждого пикселя введен показатель стандартного отклонения от средней плотности населения. Для признаков в номинальной шкале свойство каждой ячейки задавалось как принадлежность к наиболее характерным с точки зрения геоэкологического районирования категориям земельного покрова и антропогенных биомов. Эти показатели характеризуют антропогенное воздействие в разных аспектах, например принадлежность к категории земельного покрова отражает современное землепользование и характер растительности, принадлежность к антропогенным биомам — степень

и характер освоенности территории [Ellis, Ramankutty, 2008].

В общей сложности для характеристики ячеек использовано 16 признаков. Региональная принадлежность ячеек определялась их положением внутри ареала геоэкологического районирования. Дальнейший анализ заключался в вычислении вероятности принадлежности каждой ячейки априорному району по всей совокупности признаков средствами дискриминантного анализа [Пузаченко, 2004; Козлов и др., 2008]. Общая схема исследования представлена на рис. 3.

Результаты исследований и их обсуждение. Применение средств дискриминантного анализа позволило получить следующие результаты: 1) для всей территории Африки — долю ячеек, однозначно отнесенных к своему району, 2) для каждого геоэкологического района — долю ячеек, однозначно отнесенных к этому району, 3) для каждой ячейки — наиболее вероятный район.

Для наглядности предложенного подхода рассмотрены 9 геоэкологических районов 1-го порядка (за исключением Мадагаскара). В табл. 2 показана

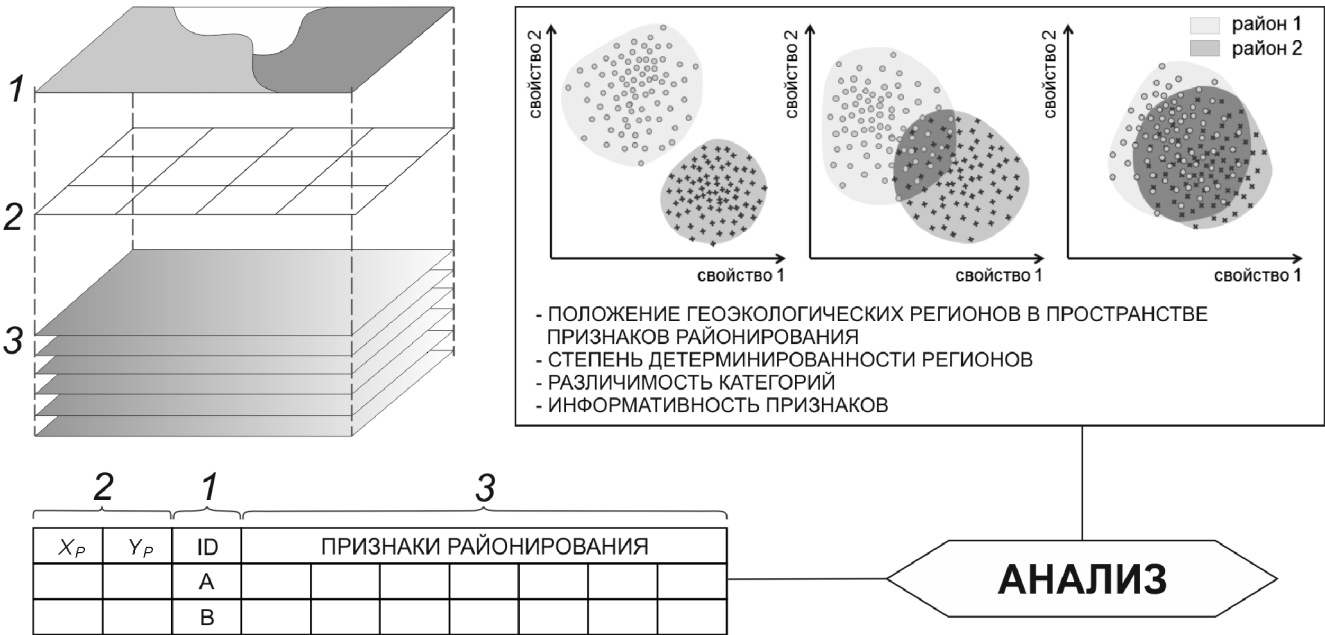


Рис. 3. Общая схема исследований

Таблица 2

Степень изолированности районов в пространстве рассмотренных признаков

Район*	Точность, %	Предсказанное для каждого района число ячеек								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
I	30,9	344	114	172	12	0	11.0	20	0	442
II	90,4	336	11900	562	0	0	3.0	11	0	350
III	69,5	158	429	3852	94	42	2.0	42	544	382
IV	50,4	1	1	639	895	97	6.0	58	79	0
V	70,1	0	0	73	101	3998	9.0	0	1519	4
VI	16,7	0	276	712	3	15	406.0	179	190	646
VII	39,1	114	7	282	67	27	7.0	824	510	272
VIII	69,1	4	3	267	8	14	2.0	176	2140	481
IX	68,1	0	237	527	0	11	114.0	0	653	3290
Всего	69,5	957	12967	7086	1180	4204	560.0	1310	5635	5867

* Номера районов соответствуют нумерации районов на рис. 2.

степень изолированности каждого района в совокупном пространстве признаков.

Общая определенность районирования составляет 70% (именно столько ячеек на районированной территории однозначно относится к одному из райо-

нов). Районы с самой высокой степенью определенности районирования (>70%) — Пустынный пояс (II) и Лесное Конго (V). Наименее определенный район — Эфиопское нагорье (VI). Как видно из данных табл. 2, в пространстве признаков он

Таблица 3

Оценка вклада переменных в разделение территории на геоэкологические районы

Переменная	Содержание	Критерий Фишера, F
gtopo_qd	Абсолютная высота территории и уклон местности	2016
pop_avg	Среднее значение плотности населения	1535
aridity_qd	Индекс аридности	1314
npp_qd	Первичная продуктивность	1285
pop_StDev	Стандартное отклонение от средней плотности населения	790
Принадлежность к типу антропогенного биома		
a_40_44	Пастбища	2161
a_31_35	Пахотные земли	920
a_51_52	Леса	619
a_21_26	Селитебные земли	297
a_11_12	Территории с высокой плотностью населения, в том числе городские земли	17
Принадлежность к типу земельного покрова		
lcv_7	Мозаика лесов и сельскохозяйственных земель	795
lcv_1	Сомкнутые вечнозеленые леса	677
lcv_8	Мозаика лесов и саванн	566
lcv_15	Злаковые полупустыни	236
lcv_24	Каменистые россыпи	102

пересекается с районами III (Судано-Сахельский коридор) и IX (Южная Африка). Магриб (I) также имеет много пересечений с этими районами, а также с Пустынным поясом (II). У района VII (Высокие плоскогорья Восточной Африки) много общих признаков с районами VIII, IX и III. Район IV (Леса и лесосаванны Гвинейского побережья) пересекается в пространстве признаков с районом III. Три оставшихся района с достаточно высокой определенностью районирования (68–69%) — Судано-Сахельский коридор (III), Юго-Восточная Африка (VIII), Южная Африка (IX) — в пространстве признаков пересекаются между собой.

Для каждой ячейки определена степень неопределенности ее отнесения к “своему” району (рис. 4). Чем светлее ячейка на рисунке, тем выше степень определенности. Максимальные значения определенности характерны для ячеек в центральной части Лесного Конго, южной части района Лесов и лесосаванн Гвинейского побережья, а также большей части ячеек Пустынного пояса. Наименьшая определенность (самый темный цвет) отмечена на периферии районов Эфиопское нагорье, Судано-Сахельский коридор и Юго-Западная Африка. Таким образом, на территории каждого района есть ареалы с высокой степенью определенности — “ядро района” и “периферия”. Хуже всего ядро выражено в Эфиопском нагорье и Судано-Сахельском коридоре.

Самостоятельный результат анализа — значимость каждого признака при разделении районов

(табл. 3). Из данных табл. 3 видно, что максимальный вклад в разделение районов вносит переменная *a_40_44*, характеризующая принадлежность ячейки к антропогенному биому пастбищных земель. Немногим ниже вклад в разделение районов вносит морфолитогенная основа (*gtopo_qd*), который превышает вклад средней по району плотности населения (*pop_avg*). Примерно одинаковы вклады в разделение районов у индекса аридности и первичной продуктивности, минимален у отнесения ячеек к категориям “каменистые россыпи” и “городские земли”. Это может быть связано как с зональным характером распределения ландшафтов, так и с преобладанием натурального хозяйства на большей части Африки [Africa..., 2002].

Лучше всего выделяются районы, свойства которых радикально отличаются от остальных, — пустынные районы Сахары и влажные леса впадины Конго. Пустынный пояс Сахары большей частью равнинный, аридный, малоиспользуемый, он сильно отличается от остальной территории Африки. При этом, как видно на рис. 4, в его пределах отчетливо выделяются области, свойства которых отличаются от свойств большинства ячеек района. К таким областям относятся складчато-блоковые нагорья в центре и на южной периферии (особенности их рельефа схожи с таковыми в районе Высоких плоскогорий Восточной Африки), оазис долины Нила и переходные полосы на юге и севере (схожи по аридности и типам земельного покрова

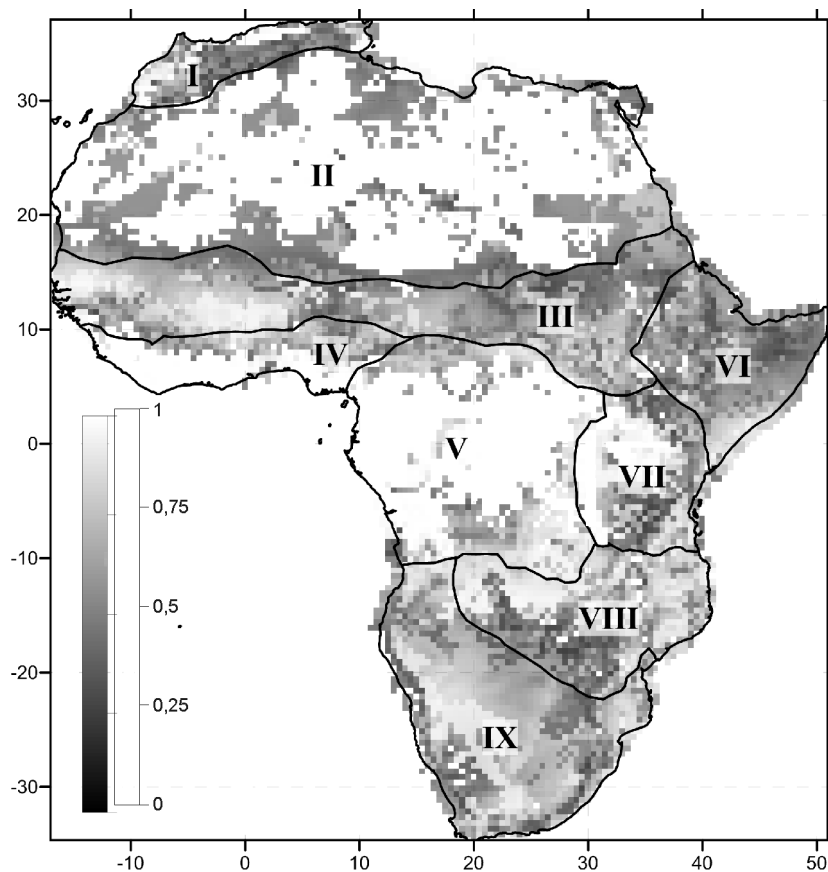


Рис. 4. Степень неопределенности отнесения ячеек к геоэкологическим районам

с районами Магриба и Судано-Сахельского коридора, а также Южной Африки). Район Лесного Конго определен с меньшей степенью определенности, чем Сахара, причем наиболее четко выделяется его центральная часть, занятая влажными экваториальными лесами. На юго-востоке, в зоне листопадных лесов на водоразделе Конго—Замбези, ячейки по свойствам совпадают со смежным регионом Юго-Восточной Африки.

Регионы со средней неопределенностью районирования — Судано-Сахельский коридор, Юго-Восточная Африка и Южная Африка. Они близки между собой по свойствам, что объясняет высокий процент ячеек, совпадающих в пространстве признаков, — семиаридные, саванново-редколесные, плоскогорные, с экстенсивным ведением хозяйства, преимущественным развитием пастбищного животноводства.

В группу с высокой неопределенностью попали горные и плоскогорные регионы — Магриб, Эфиопское нагорье и Высокие плоскогорья Восточной Африки. Это можно объяснить тем, что показателей рельефа (абсолютная высота и уклон местности), которые учитывались в качестве признаков районирования, явно недостаточно для определения индивидуальности указанных регионов. Их средние абсолютные высоты характерны и для других регионов Африки, поэтому в качестве дополнительных признаков районирования следует выбирать, например, характер горных пород и генезис отложений. Указанное может быть дополнительным подтверждением того, что зональные факторы дифференциации ландшафтов играют в Африке очень большую роль, превосходя выбранные факторы морфоструктурной дифференциации. Кроме того, возможно, были выбраны критерии, не позволяющие определить индивидуальность района, или же районы выделены необоснованно подробно для такого пространства признаков.

Применение описанных формализованных подходов позволило количественно подтвердить определенность районирования. Полученный показатель — 70% — позволяет считать, что районирование выполнено с высокой долей достоверности. То что результат не равен 100%, можно объяснить тем, что при исследовании не учитывались характеристики смежности ячеек в составе района. Сходство других характеристик ячеек в ряде районов не позволило разделить их только на основе общей совокупности признаков районирования. Иными словами, ячейки с размером $0,5 \times 0,5^\circ$ на 30% территории Африки не обладают индивидуальностью, которая может быть определена на основе данной совокупности признаков. Это подтверждает гипотезу о значимости масштаба исследования для результата районирования на разных территориальных уровнях [Gibson et al., 2000]. Так, при реализации описанного алгоритма оценки неопределенности необходимо обращать внимание на следующее: 1) шаг сетки — размер каждой ячейки на местности —

определяется исходя из гетерогенности территории и подробности исходных данных; 2) совокупность признаков должна адекватно отражать особенности территории, в том числе ее значимые индивидуальные свойства; 3) способ определения области пересечения районов в пространстве признаков — меры неопределенности районирования.

Реализованный подход дает дополнительные возможности для определения ядер типичности и периферийных частей территории, обладающих общими признаками со сходными районами. Эти результаты способствуют поиску “слабых мест” в границах районов и указывают на дальнейшие направления совершенствования методов районирования.

Оценка достоверности районирования зависит от способа описания положения каждого района в пространстве признаков. При параметрической основе статистического дискриминантного анализа допускается, что каждый район определяется как ареал эллиптической формы, в то время как его реальная конфигурация может отличаться. Исключить подобные ограничения позволяют адаптивные средства математического анализа, например метод поддерживающих векторов [Scheinberg, 2006].

Наконец, без учета смежности ячеек предложенная реализация тождественна типизации, а не районированию. Например, получена высокая неопределенность в районировании саванн Эфиопии и Южной Африки. При добавлении признаков смежности (например, удаление от географического центра района) неопределенность их районирования стремится к нулю. Вообще, при реализации предложенного подхода без признаков смежности оценивается неопределенность выделения регионов как целостных единиц, а при учете признаков смежности — неопределенность границ между ними.

Выводы:

— предложенный и апробированный формализованный подход к оценке достоверности географического районирования состоит из трех последовательных этапов: 1) использование в качестве операционных территориальных единиц элементов регулярной сетки, шаг которой определяется исходя из гетерогенности территории и набора исходных данных, для макрорегионального — материкового — уровня выбранный размер ячейки ($0,5 \times 0,5^\circ$) оказался достаточным; 2) получение унифицированным способом набора признаков, репрезентативных для целей районирования; 3) оценка степени пересечения пикселей в пространстве признаков;

— применение описанных формализованных подходов к оценке экспертного районирования позволило определить общую определенность геоэкологического районирования Африки, которая составила 70%. В то же время определенность выделенных районов неодинакова. Районы с самой высокой степенью определенности районирования — Пустынный пояс и Лесное Конго (более

70%), наименее определенный район — Эфиопское нагорье (16,7%). Остальные районы определены со степенью вероятности 30–68%;

— определенная значимость переменных в разделении районов соответствует особенностям природы и характера землепользования на материке. Наибольшая значимость абсолютной высоты территории и плотности населения подчеркивает контрастность природных условий материка — разделение на Низкую и Высокую Африку, а также безлюдность Сахары и южных аридных районов. Другие переменные, характеризующие земельный покров и использование территории (антропогенные биомы), обладают гораздо меньшей значимостью;

— примененные формализованные методы оценки неопределенности обладают и рядом недостатков. Так, имеющийся математический аппарат позволяет проводить оценку достоверности, но ее узким местом остается полнота набора исходных данных, определяющих использование переменных для разделения районов. Например, отсутствие адекват-

ных источников информации не позволило использовать в качестве признака районирования чрезвычайно важный для Африки этнический состав населения, часто определяющий характер землепользования и хозяйственно-культурный тип, в будущем это может быть устранено с появлением репрезентативного цифрового источника данных;

— выявленная неопределенность районирования, с одной стороны, связана с неполнотой и генерализованностью использованных признаков, а с другой — с природной нечеткостью объектов районирования. Даже при использовании формализованных процедур на основе количественных показателей роль эксперта сохраняется и сводится к отбору и упорядочиванию целевых признаков и обоснованию алгоритма автоматизированной территориальной дифференциации. И, наконец, проверка схемы районирования при помощи формализованных методов выступает необходимым предварительным шагом для развития методов автоматизации районирования на основе совокупности признаков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Арманд Д.Л. Наука о ландшафте: Основы теории и логико-математические методы. М.: Мысль, 1975. 288 с.

Armand D.L. Nauka o landshafte: Osnovy teorii y logiko-matematicheskiye metody [Landscape science: Theory and mathematic methods], M., Mysl, 1975, 288 p. (in Russian).

Дьяконов К.Н. Методологические проблемы изучения физико-географической дифференциации // Вопросы географии. Вып. 98. Количественные методы изучения природы. М.: Мысль, 1975.

Dyakonov K.N. Metodologicheskiye problemy izucheniya fiziko-geograficheskoy differentsiatsii [Methodological approaches to investigation of physical geographical differentiation] // Voprosy geografii. V. 98. Kolichestvenniye metody izucheniya prirody, M., Mysl, 1975 (in Russian).

Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование: Учебник. М.: Высш. школа, 1991.

Isachenko A.G. Landshaftovedeniye y fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye [Landscape science and physiographical regionalization], Uchebnik, M., Vyshaya shkola, 1991 (in Russian).

Исаченко А.Г. Теория и методология географической науки. М.: Академия, 2004. 400 с.

Isachenko A.G. Teoriya y metodologiya geograficheskoy nauki [Theory and methodology of geography], M., Akademiya, 2004, 400 p. (in Russian).

Каганский В.Л. Основные практики и парадигмы районирования // Региональные исследования. 2003. № 2. С. 16–30.

Kaganskiy V.L. Osnovniye praktiki i paragigmy rayonirovaniya [main approaches and paradigms of delimitation of regions], Regionalnye issledovaniya, 2003, no 2, pp. 16–30 (in Russian).

Климанова О.А. Геоэкологическое страноведение: Природные и антропогенные факторы формирования регионов. М.: Ленанд, 2014. 304 с.

Klimanova O.A. Geoecologicheskoye stranovedeniye: prirodniye y antropogenniye factory formorovaniya regionov

[Environmental regional studies: natural and anthropogenic factors of regionalization], M., Lenand, 2014, 304 p. (in Russian).

Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В., Пузаченко Ю.Г. Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа // Изв. РАН. Сер. геогр. 2008. № 4. С. 112–124.

Kozlov D.N., Puzachenko M.Yu., Fedyaeva M.V., Puzachenko Yu.G. Otobrazheniye prostranstvennogo varyirovaniya svoistv landshaftnogo pokrova na osnove distantsionnoy informatsii I cifrovoy modeli reliefa [Visualization of spatial variety of land cover properties on the base of remote sensing information and digital elevation model], Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2008, no 4, pp. 112–124 (in Russian).

Куприянова Т.П. Физико-географическое районирование по принципам однородности территории // Вопросы географии. Вып. 98. Количественные методы изучения природы. М.: Мысль, 1975.

Kupriyanova T.P. Fisiko-geograficheskoye rayonirovaniye po printsipam odnorodnosti territorii [Delimitation of physiographic regions by principles of homogeneity of the territory], Voprosy geografii, V. 98, Kolichestvenniye metody izucheniya prirody, M., Mysl, 1975 (in Russian).

Михайлов Н.И. Физико-географическое районирование. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 184 с.

Mikhailov N.I. Fisiko-geograficheskoye rayonirovaniye [Delimitation of physiographic regions], M., Izdatelstvo Moskovskogo Universiteta, 1985, 184 p. (in Russian).

Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.

Puzachenko Yu.G. Matematicheskiye metody v ekologicheskikh I geograficheskikh issledovaniyakh [Mathematic methods in ecology and geography], M., Akademiya, 2004, 416 p. (in Russian).

Ретеюм А.Ю. Физико-географическое районирование для выделения геосистем // Вопросы географии. Вып. 98: Количественные методы изучения природы. М.: Мысль, 1975.

Reteyum A.Yu. Fisiko-geograficheskoye rayonirovaniye dlya vydeleniya geosistem [Physiographic regionalization for delimitation of geosystems], Voprosy geografii, V. 98, Kolichestvenniye metody izucheniya prirody, M., Mysl, 1975 (in Russian).

Родоман Б.Б. Территориальные ареалы и сети. Смоленск: Ойкумена, 1999. 256 с.

Rodoman B.B. Territorialniye arealy i seti [Territorial areal and networks], Smolensk, Oykumena, 1999, 256 p. (in Russian).

Саушкин Ю.Г. Избр. Тр. Смоленск: Универсум, 2001. 416 с.

Saushkin Yu.G. Izbrannye Trudy [Selected papers], Smolensk, Universum, 2001, 416 p. (in Russian).

Смирнягин Л.В. Узловые вопросы районирования // Изв. РАН. Сер. геогр. 2005. № 1. С. 5–16.

Smirnyagin L.V. Uzloviye voprosy rayonirovaniya [Nodal questions of regionalization], Izvestiya Rossiyskoy Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya, 2005, no 1, pp. 5–16 (in Russian).

Тикун В.С. Проявление нечеткости знаний в процессе моделирования географических систем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 1994. № 2. С. 9–16.

Tikunov V.S. Proyavleniye nechetskosti znaniy v procese modelirovaniya geograficheskikh sistem [Uncertainty of knowledge in modeling of geographical systems], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya, 1994, no 2, pp. 9–16 (in Russian).

Тикун В.С. Классификации в географии: ренессанс или увядание? (Опыт формальных классификаций). М.; Смоленск: Изд-во СГУ, 1997. 367 с.

Tikunov V.S. Klassifikatsii v geografii: renessans ili uvayadaniye? (Opyt formalnykh klassifikatsiy) [Classification in geography: Renaissance or decay? (Experience of formal classification)], Moscow, Smolensk, Izdatelstvo SGU, 1997, 367 p.

Шувалов В.Е. Районирование // Социально-экономическая география: понятия и термины. Смоленск: Ойкумена, 2013. С. 202.

Shuvalov V.E. Rayonirovaniye [Delimitation of regions], Socialno-ekonomicheskaya geografiya: ponyatiya i terminy, Smolensk, Oykumena, 2013, pp. 202 (in Russian).

Africa environment outlook: Past, present and future perspectives. 2002. URL: <http://www.grida.no/publications> (Accessed: 24.11.2014).

Claval P. Géographie régionale. De la région au territoire. P., Armand Colin, 2006.

Eetvelde V., Anthrop M. A stepwise multi-scaled landscape typology and characterisation for trans-regional integration, applied on the federal state of Belgium // Landscape and Urban Planning. 2009. Vol. 91, Iss. 3. P. 160–170.

Ellis E.C., Ramankutty N. Putting people in the map: anthropogenic biomes of the world // Frontiers in Ecology and the Environment. 2008. doi:10.1890/070062. 289.

Fairclough G., Macinnes L. Landscape character assessment // Guidance for England and Scotland. Top. Pap. 5. Understanding Historic Landscape Character. 2003. The Countryside Agency, Scottish Natural Heritage. URL: http://www.ccnetwork.org.uk/lca_topic_5.htm (Accessed: 24.11.2014).

Gibson C.C., Ostrom E., Ahn T.K. The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey // Ecol. Econ. 2000. Vol. 32. P. 217–239.

Scheinberg K. An efficient implementation of an active set method for svms // J. Mach. Learn. Res. 2006. Vol. 7. P. 2237–2257.

Swanwick C. Landscape character assessment // Guidance for England and Scotland. The Countryside Agency, Scottish Natural Heritage, 2002.

Center for International Earth science information network (CIESIN), International food policy research institute (IFPRI) and World resources nstitute (WRI). 2003. Gridded Population of the World (GPW). Ver. 3 [online data]. Palisades, NY: CIESIN. Columbia University. URL: <http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/collection/gpw-v3> (Accessed: 24.11.2014).

Food and Agricultural Organization, GEONETWORK, Collection datasets. 2014. URL: <http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home>. (Accessed: 24.11.2014).

Global Land Cover 2000 database. European Commission, Joint Research Centre, 2003. URL: <http://bioval.jrc.ec.europa.eu/products/glc2000/glc2000.php> (Accessed: 24.11.2014).

United States Geological Survey. GTOPO Digital Elevation Model. 1996. URL: <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30> (Accessed: 24.11.2014).

Поступила в редакцию
22.01.2015

O.A. Klimanova, D.N. Kozlov

FORMAL APPROACHES TO THE EVALUATION OF NON-UNIQUENESS OF THE DELIMITATION OF GEOGRAPHICAL REGIONS

Possible application of formal approaches for the evaluation of certainty of particular regions which are the result of flexible delimitation procedures is demonstrated. The scheme of the geoeological regions of Africa compiled through the complex multi-criteria analysis with both definite and flexible indicators was the object of study and certainty control. Regular grid cells of 0,5° 0,5° are the operational territorial units of study which are described by various parameters (in nominal or interval scales) from available thematic databases. A region is a territorial combination of adjacent grid cells characterized by similar values of region delimitation criteria. Three typical situations of the mathematical intersection of indicators for cell combinations (regions) are discussed which correspond to high, medium and low non-uniqueness of region delimitation. The results are interpreted in terms of the individual features of the regions; limitations of mathematical methods applied for their analysis are discussed. The most significant variables (criteria of the delimitation of regions) are determined. Possible application of the above-discussed methods for localization of the typical cores and peripheral parts of regions is described.

Key words: delimitation of regions, mathematical analysis, non-uniqueness, operational territorial units.

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.05

П.П. Кречетов¹, Т.В. Королева², О.В. Черницова³ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ КОСМОДРОМА БАЙКОНУР
И ЕГО УСТОЙЧИВОСТЬ К ТЕХНОГЕННОМУ ВОЗДЕЙСТВИЮ⁴

Исследован почвенный покров космодрома Байконур. На основе полевых и химико-аналитических исследований, а также данных дистанционного зондирования актуализирована среднемасштабная почвенная карта космодрома (1:300 000). Выполнена оценка устойчивости почв к химическому и физическому воздействию, оказываемому при осуществлении ракетно-космической деятельности, и на ее основе — зонирование территории космодрома Байконур по потенциальной устойчивости почв.

Показано, что интегральная оценка потенциальной устойчивости почв к химическому загрязнению складывается из реализации буферных механизмов физико-химических свойств почв и каталитической активности химических элементов. На почвах с низкой потенциальной устойчивостью к химическому воздействию размещено примерно 65% производственных объектов космодрома Байконур. Учет этих данных необходим при определении мероприятий по минимизации экологических рисков, а также при разработке методик детоксикации почвенного покрова в случае возникновения нештатных ситуаций.

Проанализированы факторы, влияющие на устойчивость почв к физическому воздействию. Большинство объектов космодрома (85%) расположено на территориях, природные почвы которых обладают средней устойчивостью к физическому воздействию; 15% объектов — на участках с почвами, характеризующимися низкой устойчивостью к физическому воздействию. Соблюдение на объектах космодрома экологических требований к определенным видам работ позволит снизить масштабы антропогенной трансформации природных ландшафтов на прилегающих к ним территориях.

Ключевые слова: устойчивость, почвы, компоненты ракетного топлива, НМДГ, космодром Байконур, экосистема, химическая устойчивость, физическая устойчивость.

Введение. Космодром Байконур, площадь которого составляет ~650 тыс. га, расположен на слабоболнистой щебнистой суглинисто-супесчаной равнине в пределах пластово-останцового плато Дарьялык [Ботаническая..., 2003]. При общем природном однообразии на плато отчетливо прослеживается мозаичность почвенно-литологических условий, выраженная в наличии суглинистых, щебнистых, супесчаных участков и небольших изолированных массивов закрепленных песков. Физико-географические особенности территории определяют исходное разнообразие почв и разную степень их устойчивости к техногенным воздействиям.

На территории космодрома находится г. Байконур (~0,6% площади космодрома), размещено несколько производственных площадок с объектами, участвующими в цикле подготовки ракетной техники и пуске ракет-носителей, а также расположены административно-хозяйственные сооружения. В целом все объекты космодрома представляют собой источники разнообразного техногенного

воздействия — механического, химического, акустического и электромагнитного [Кондратьев и др., 2008]. Значительные участки территории (более 98% площади) — природные экосистемы, которые в той или иной степени подвержены этому воздействию.

Под устойчивостью экосистем к техногенному воздействию авторы понимают их свойство сохранять, а также восстанавливать (с учетом непрерывно идущего эволюционного процесса) свое естественное состояние и функционирование, несмотря на разнообразные (физические, химические, биологические) внешние воздействия. Устойчивость наземных экосистем определяется двумя основными факторами: чувствительностью растительности к антропогенному воздействию, или биологической устойчивостью, рассмотренной авторами применительно к космодрому Байконур ранее [Неронов и др., 2012], и буферными свойствами основного средообразующего компонента наземных экосистем — почв.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, доцент, канд. биол. н.; *e-mail:* krechetov@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв, зав. лабораторией экологической безопасности, канд. геогр. н.; *e-mail:* korolevat@mail.ru

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

⁴ Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-27-00083).

За основу оценки устойчивости почв космодрома Байконур к техногенному воздействию взята методика экспертной балльной оценки [Букс, 1987; Глазовская, 1994; Кречетов, 2008; Снакин и др., 1995]. В основе такой оценки лежит учет показателей, характеризующих способность экосистем к самоочищению от продуктов загрязнения или снижению их токсичности за счет перехода в биологически недоступные формы (химическая устойчивость), а также устойчивость литологической основы к механическим воздействиям (физическая устойчивость). К достоинствам методики экспертной балльной оценки следует отнести возможность учесть многообразие факторов, влияющих на устойчивость почв, и их вклад в общую оценку; к недостаткам — субъективизм, присущий экспертным оценкам.

Материалы и методы исследований. Изучение почвенного покрова космодрома проводится с 2002 г. в рамках системы экологического мониторинга ракетно-космической деятельности. На территории космодрома в основных типах экосистем расположены точки мониторинговых наблюдений, в которых заложены почвенные разрезы. Ежегодно в этих точках проводится опробование почв для наблюдения за химическими и физическими показателями.

Помимо этих данных для оценки потенциальной устойчивости почв к техногенному воздействию использованы результаты проведенного авторами полевого маршрутного исследования современного состояния почвенного покрова космодрома, в ходе которого заложено несколько линейных профилей. В 180 маршрутных точках определена плотность почвы ненарушенного сложения, отобраны пробы почвы, выполнены почвенные и геоботанические описания.

По данным геоботанических исследований территории космодрома Байконур принадлежит к восточной окраине Западно-Северотуранской подпровинции Северотуранской провинции Сахаро-Гобийской пустынной области [Ботаническая..., 2003] и целиком находится в подзоне средних пустынь. Анализ распределения корневых систем растений в точках мониторинга показал, что их основная масса сосредоточена в слое 5–10 см. Кроме того, на поверхности функционируют водорослевые и лишайниковые сообщества, которые в случае воздействия компонентов ракетного топлива (КРТ) будут нарушены в первую очередь, поэтому отбор смешанных образцов почв проводили из биологически активного слоя — с глубины 0–10 см. Сравнительный анализ вещественного состава и химических свойств этого почвенного горизонта с нижележащими показал, что поверхностные слои, как правило, характеризуются наименьшими буферными свойствами по отношению к антропогенному воздействию и, следовательно, отражают реальную устойчивость почв.

Полученные полевые данные, а также дешифрирование многозональных космических снимков Landsat ETM+ с разрешением 30 м позволили уточ-

нить составленную ранее карту почвенного покрова космодрома Байконур и создать на ее основе карты устойчивости почв к химическому и физическому воздействию.

С учетом данных об особенностях воздействия ракетно-космической деятельности на окружающую среду [Касимов и др., 2011] и факторов, определяющих буферность почв к воздействию несимметричного диметилгидразина (НДМГ) [Кречетов и др., 2014], предложен набор показателей, характеризующих потенциальную устойчивость почв космодрома Байконур к химическому и физическому воздействию. В отобранных почвенных пробах определены следующие показатели: полевая влажность, гранулометрический состав, pH, содержание гумуса, электропроводность, содержание солей, валовое содержание меди, железа, марганца (табл. 1). Фактические данные по показателям, выбранным для итоговой оценки, преобразованы в баллы от 1 (низкая устойчивость) до 3 (высокая устойчивость). Баллы для почв по группам показателей просуммированы и вновь преобразованы в трехбалльную шкалу. В результате получены таблицы с оценкой потенциальной устойчивости почв к химическому и физическому воздействию (табл. 2, 3).

Результаты исследований и их обсуждение. Исследования показали, что территория космодрома характеризуется значительной комплексностью почвенного покрова, что в целом свойственно пустынно-степным регионам. На большей части исследованной территории распространены зональные серо-бурые пустынные почвы супесчаного и легкосуглинистого состава. На породах тяжелого гранулометрического состава формируются бурые почвы, часто с признаками солонцеватости. К песчаным массивам приурочены пустынные песчаные и серо-бурые песчаные почвы. В комплексе с зональными почвами встречаются пятна такыров и солончаков. Значительные площади заняты такыровидными засоленными почвами, приуроченными к депрессиям, выполненным глинистыми и суглинистыми отложениями (рис. 1). Почвы долины р. Сырдарья (аллювиально-луговые и солончаки) существенно отличаются, они несут в себе черты современного или прошлого повышенного гидроморфизма.

Серо-бурые почвы развиты на повышенных элементах рельефа с ровной или слабоволнистой поверхностью на легкосуглинистых и супесчаных отложениях под различными вариантами белоземельнопопынных растительных сообществ. В гранулометрическом составе почв преобладают песчаные фракции с частицами >0,05 мм. В некоторых случаях содержание крупного песка достигает 25–26%. Несмотря на относительно легкий гранулометрический состав, все горизонты этих почв плотные (за исключением верхнего).

Изученные серо-бурые почвы на глубине могут содержать до 15–20% гипса. Такое скопление гипса в процессе почвообразования обусловлено

Таблица 1
Химические и физические свойства почв (среднее $\pm$ стандартное отклонение)

Почва	Влажность, %	Содержание фракции <0,01 мм, %	Плотность, г/см ³	pH	Гумус, %	MnO, мг/кг	Fe ₂ O ₃ , %	Cu, мг/кг	n*
Бурая солонцеватая суглинистая	6,13 $\pm$ 2,87	21 $\pm$ 16,17	1,4 $\pm$ 0,12	8,65 $\pm$ 0,60	<0,5	623 $\pm$ 305	3,08 $\pm$ 1,15	40,96 $\pm$ 13,36	21
Серо-бурая песчаная и супесчаная	1,54 $\pm$ 0,90	7 $\pm$ 2,92	1,5 $\pm$ 0,07	8,53 $\pm$ 0,42	<0,5	606 $\pm$ 161	2,61 $\pm$ 0,73	36,65 $\pm$ 9,40	33
Серо-бурая суглинистая щебнистая	4,22 $\pm$ 1,35	28 $\pm$ 16,05	1,4 $\pm$ 0,08	8,68 $\pm$ 0,56	<0,5	520 $\pm$ 215	3,18 $\pm$ 2,27	41,12 $\pm$ 14,75	32
Такыр и такыровидная суглинистая солонцевато-солончаковатая	17,11 $\pm$ 5,10	32 $\pm$ 11,54	1,5 $\pm$ 0,10	9,17 $\pm$ 0,50	<0,5	678 $\pm$ 388	6,64 $\pm$ 1,54	51,24 $\pm$ 21,00	10
Такыр глинистый	21,11 $\pm$ 7,38	79 $\pm$ 18,81	1,8 $\pm$ 0,21	9,03 $\pm$ 0,38	<0,5	900 $\pm$ 552	6,40 $\pm$ 1,09	53,92 $\pm$ 19,81	17
Аллювиально-луговая супесчаная и суглинистая	10,12 $\pm$ 4,32	30 $\pm$ 19,25	1,4 $\pm$ 0,08	8,5 $\pm$ 0,55	3,45 $\pm$ 1,32	564 $\pm$ 148	3,2 $\pm$ 1,89	41 $\pm$ 12,43	5
Солончак такыровидный	13,59 $\pm$ 5,26	12 $\pm$ 4,31	1,5 $\pm$ 0,08	8,90 $\pm$ 0,21	<0,5	901 $\pm$ 177	4,78 $\pm$ 0,83	68,79 $\pm$ 15,67	5
Солончак	12,59 $\pm$ 6,56	29 $\pm$ 30,57	1,5 $\pm$ 0,06	8,40 $\pm$ 0,23	<0,5	507 $\pm$ 283	4,16 $\pm$ 1,88	59,64 $\pm$ 12,37	5
Песчаная пустынная	1,06 $\pm$ 0,69	6 $\pm$ 2,58	1,5 $\pm$ 0,08	7,9 $\pm$ 0,71	<0,5	388 $\pm$ 117	1,33 $\pm$ 0,54	22,64 $\pm$ 7,75	12
Серо-бурая суглинистая в комплексе с серо-бурой суглинистой солонцеватой и солончаковатой	5,13 $\pm$ 3,03	64 $\pm$ 31,76	1,6 $\pm$ 0,08	8,64 $\pm$ 0,34	<0,5	561 $\pm$ 175	2,66 $\pm$ 1,45	42,28 $\pm$ 11,40	40

* n — число точек.

Интегральная оценка потенциальной устойчивости почв к химическому загрязнению

Таблица 2

Почва	Балльная оценка*							Сумма баллов	Степень устойчивости
	физические и химические свойства почв				каталитическая активность почв				
	содержание фракции <0,01 мм	плотность	pH	гумус	MnO	Fe ₂ O ₃	Cu		
Бурая солонцеватая суглинистая	2	2	3	3	2	2	2	16	2
Серо-бурая песчаная и супесчаная	3	2	3	3	2	2	2	17	3
Серо-бурая суглинистая щебнистая	2	2	3	3	2	2	2	16	2
Такыр и такыровидная суглинистая солонцевато-солончаковатая	2	2	3	3	2	3	2	17	3
Такыр глинистый	1	1	3	3	3	3	2	16	2
Аллювиально-луговая супесчаная и суглинистая	2	2	3	1	2	2	2	14	1
Солончак такыровидный	3	2	3	3	3	2	3	19	3
Солончак	2	2	3	3	2	2	3	17	3
Песчаная пустынная	3	2	3	3	1	1	1	14	1
Серо-бурая суглинистая в комплексе с серо-бурой суглинистой солонцеватой и солончаковатой	1	1	3	3	2	2	2	14	1

* Количественные критерии балльных оценок приведены в табл. 4.

Таблица 3
Интегральная оценка потенциальной устойчивости почв к физическому (механическому) воздействию

Почва	Балльная оценка физических свойств почв*			Сумма баллов	Степень устойчи- вости
	содержание фракции <0,01 мм	плотность	влажность		
Бурая солонцеватая суглинистая	2	2	2	6	2
Серо-бурая песчаная и супесчаная	1	2	1	4	1
Серо-бурая суглинистая щебнистая	2	2	1	5	1
Такыр и такыровидная суглинистая солонцевато-солончаковатая	2	2	3	7	2
Такыр глинистый	3	3	3	9	3
Аллювиально-луговая супесчаная и суглинистая	2	2	2	6	2
Солончак такыровидный	1	2	3	6	2
Солончак	2	2	3	7	2
Песчаная пустынная	1	2	1	4	1
Серо-бурая суглинистая в комплексе с серо-бурой суглинистой солонце- ватой и солончаковатой	3	3	1	7	2

* Количественные критерии балльных оценок приведены в табл. 4.

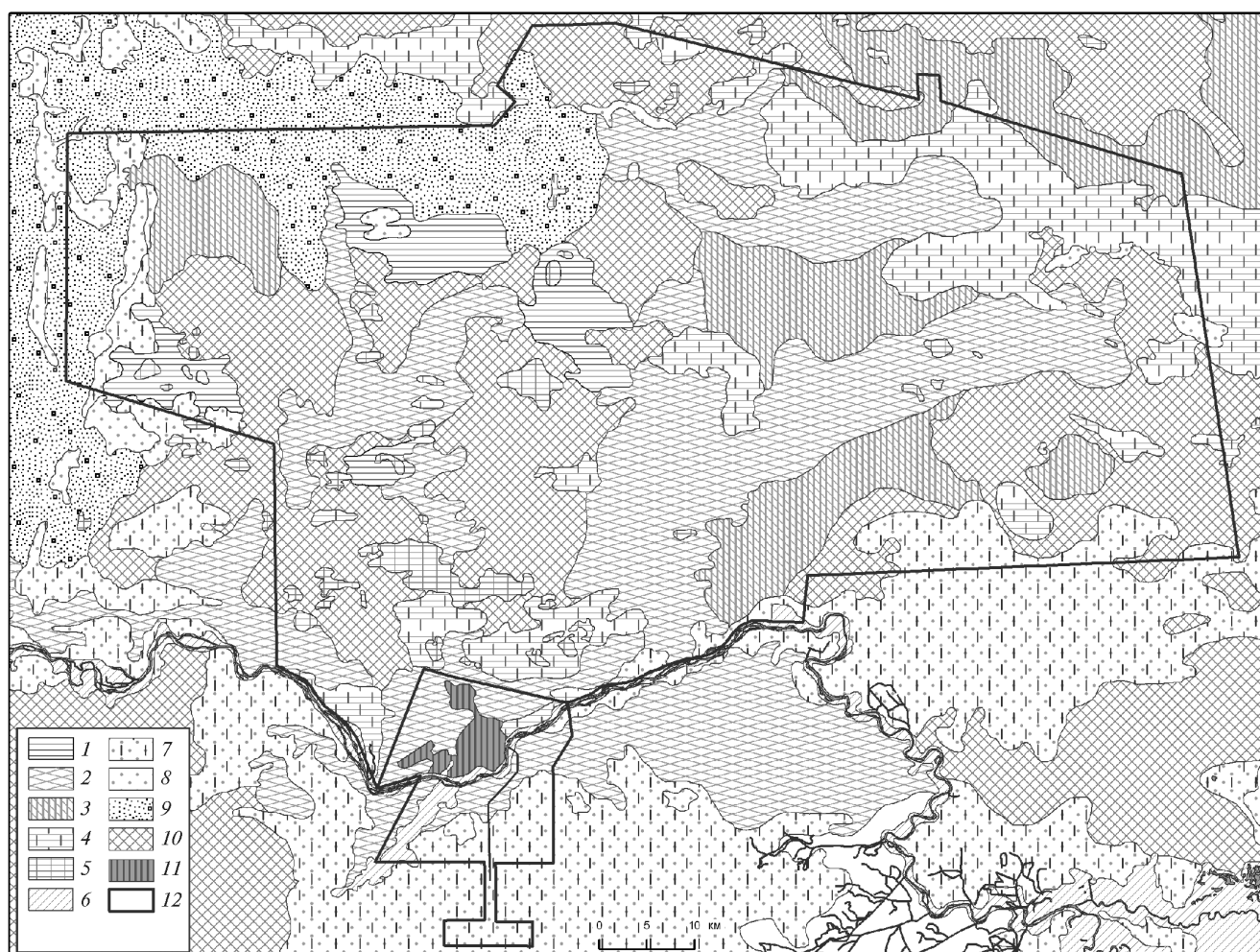


Рис. 1. Почвенная карта космодрома Байконур. Почвы: 1 — бурые солонцеватые суглинистые; 2 — серо-бурые песчаные и супесчаные; 3 — серо-бурые суглинистые щебнистые; 4 — такыры и такыровидные суглинистые солонцевато-солончаковатые; 5 — такыры глинистые; 6 — аллювиально-луговые супесчаные и суглинистые солонцевато-солончаковатые; 7 — солончаки такыровидные; 8 — солончаки; 9 — песчаные пустынные; 10 — серо-бурые суглинистые в комплексе с серо-бурыми суглинистыми солонцеватыми и солончаковатыми; 11 — территория г. Байконур; 12 — граница космодрома Байконур

химическим составом почвообразующих пород, которые здесь представлены отложениями палеоген-неогенового возраста, богатыми солями, особенно сульфатами кальция. Серо-бурые почвы, как правило, хлоридов содержат в 2–3 раза меньше, чем сульфатов. Максимум щелочности наблюдается в верхних горизонтах. Наибольшее количество карбонатов также отмечено в верхних горизонтах и постепенно убывает вниз по профилю. Выделение карбоната кальция в виде белесоватых выцветов обнаруживается обычно с глубины 10–20 см.

Серо-бурые почвы содержат <0,5% гумуса, при этом его содержание убывает вниз по профилю. Емкость поглощения этих почв достигает 10–15 ммоль(+)/100 г почвы. Из поглощенных оснований доминирует кальций (60–80%). В иллювиальном горизонте несколько возрастает роль магния и натрия, что придает этим почвам признаки солонцеватости.

Бурые почвы формируются на отложениях палеоген-неогенового и четвертичного возраста на относительно пониженных элементах рельефа или на платообразных возвышениях под белоземельной

полюнью и биюргуном. По гранулометрическому составу преобладают средне- и тяжелосуглинистые почвы с разной степенью щебнистости. Верхние горизонты, за редким исключением, бедны илом, что обусловлено выносом последнего в нижележащие горизонты. В солонцеватых почвах выявлено накопление илистой фракции (<0,001 мм) в иллювиальном горизонте. Количество гумуса не превышает 0,5%. Верхний горизонт беден легкорастворимыми солями (0,1–0,2%), вниз по профилю количество солей резко увеличивается. В иллювиальном горизонте наблюдается некоторое увеличение органического вещества. Реакция почвенной суспензии в бурых солонцеватых почвах нейтральная или слабощелочная, величина pH в верхнем горизонте колеблется в сравнительно узком интервале (7,8–8,7). С глубиной значение pH, как правило, возрастает. Среди поглощенных оснований ведущее место занимает кальций. Содержание поглощенного натрия в солонцеватом горизонте составляет 15–17% от емкости поглощения.

Солончаки представлены в основном солончаками типичными (пухлыми и корково-пухлыми) и

солончаками такыровидными. Как правило, они приурочены к выходам засоленных пород или древним речным террасам. Растительность представлена однолетне- и многолетнесолянковыми, галофитнозлаковыми и галофитнопопынными сообществами. Солончаки на территории космодрома имеют пухлую или корково-пухлую поверхность с обильными выцветами солей, которые образуют бородавчатую хрупкую корочку с содержанием солей до 45%. До глубины 1,5 м содержание солей, как правило, не опускается ниже 2–3%; по химизму засоление преимущественно хлоридно-сульфатно-натриевое. Содержание гумуса в большинстве случаев не превышает 0,5%. Реакция среды от слабодо сильнощелочной.

Такыры и такыровидные почвы формируются в условиях периодического застоя вод в условиях бессточных поверхностей, сложенных суглинками и глинами под попынно-бюргуновой растительностью. На лишенных высшей растительности участках распространены слоевищные (водорослевые и лишайниковые) группировки. Такыры и такыровидные почвы характеризуются незначительной гумусностью, солонцеватостью и солончаковатостью. По всему профилю встречаются карбонаты. Такыры отличаются наличием гладкой и плотной поверхностной корочки, разбитой трещинами усыхания. Они формируются на отложениях тяжелого гранулометрического состава и поэтому обладают низкой фильтрационной способностью. Ниже корочки залегает слоево-чешуйчатый горизонт буроватого цвета, глубже — плотные породы, мало измененные почвообразованием. Количество гумуса составляет 0,3–0,6%, pH 8,5–9,7, емкость поглощения 5–10 ммоль(+)/100 г почвы.

Засоление у такыров пестрое. Типичные такыры имеют сульфатно-хлоридно-натриевый тип засоления по всему профилю (0,3–0,8% солей) с солевым максимумом (3%) на поверхности. Менее засоленные почвы имеют опресненную корочку (0,2–0,3%) и максимум солей (0,9–1,3%) на глубине 15–35 см; вниз по профилю содержание солей составляет 0,3–0,8%.

Такыровидные почвы формируются на четвертичных аллювиальных, преимущественно пылеватых отложениях. Для них характерны пористая корочка, слоево-чешуйчатый подкорковый слой, микроагрегированность, повышенная щелочность в поверхностном горизонте, хлоридно-сульфатно-натриевый тип засоления. Гумуса в этих почвах <0,5%.

Песчаные почвы отличаются слабой дифференциацией профиля. Растительность представлена белоземельнопопынниками с включениями дерновинных злаков (ковыль прикаспийский и житняк ломкий). Встречаются незасоленные и засоленные варианты. Содержание гумуса в них варьирует от 0,3 до 0,5%, реакция среды слабощелочная, емкость поглощения невысокая, не более 5 ммоль(+)/100 г почвы.

Аллювиально-луговые почвы распространены в долине р. Сырдарья и формируются на слоистом и неоднородном по гранулометрическому составу пойменном аллювии под галофитно-луговой и галофитно-кустарниковой растительностью. Грунтовые воды залегают на глубине 1–3 м, они преимущественно пресные, реже слабосоленые сульфатно-натриевого состава. Иногда встречаются варианты этих почв, засоленные с поверхности. Содержание гумуса не превышает 3,5%, емкость катионного обмена варьирует в зависимости от гранулометрического состава.

Потенциальная устойчивость почв к химическому воздействию. При оценке устойчивости почв космодрома Байконур к химическому воздействию авторы прежде всего рассматривали устойчивость к загрязнению наиболее опасным экотоксикантом ракетно-космической деятельности — НДМГ, относящимся к 1-му классу опасности. НДМГ обладает высокой летучестью, хорошо адсорбируется на различных поверхностях, легко испаряется и десорбируется, смешивается с водой практически в любых соотношениях, т.е. это мобильный токсикант, легко мигрирующий в любых компонентах экосистем. При поступлении на поверхность почвы НДМГ и продукты его трансформации могут вымываться из почвы атмосферными водами, попадать в открытые водоемы, мигрировать в подземные водоносные слои, вторично загрязнять атмосферный воздух, поступая с пылью и испаряясь из почвы, а также мигрировать по пищевым цепям.

Окислительно-восстановительный режим почв, за исключением почв гидроморфного ряда, характеризуется преобладанием окислительных условий по всему профилю, что приводит к окислительной трансформации НДМГ. Окисление НДМГ в почве — сложный процесс, включающий серию последовательно-параллельных реакций. Проведена достоверная идентификация 12 продуктов трансформации НДМГ в почвах методами ядерного магнитного резонанса, жидкостной и газовой хромато-масс-спектрометрии [Буряк и др., 2004; Родин и др., 2008; Родин и др., 2009; Родин и др., 2012; Kenessov et al., 2008]. Так, попадая в окружающую природную среду, НДМГ может частично трансформироваться в N-нитрозоамины, в том числе нитрозодиметиламин (НДМА), обладающий выраженными канцерогенными свойствами. Экспериментальными исследованиями установлено, что большинство продуктов трансформации (за исключением НДМА) обладают существенно меньшей токсичностью по сравнению с самим НДМГ [Смоленков и др., 2013].

Исходя из особенностей поведения НДМГ в почвах в итоговые показатели, использованные для оценки потенциальной устойчивости почв к химическому воздействию, включены гранулометрический состав почвы (%); плотность почвы (г/см³); величина pH; содержание гумуса (%); содержание катионов меди, железа, марганца (табл. 1). Балльная

оценка выполнена в два этапа — отдельно для физических и химических свойств почвы и для каталитической активности почвы, затем определен интегральный балл оценки потенциальной устойчивости почв к химическому воздействию.

Гранулометрический состав почвы — один из основных факторов, влияющих на степень сорбции НДМГ, т.е. чем выше площадь поверхности частиц, тем больше степень поглощения НДМГ и, следовательно, удержание его в почвенном профиле в биологически доступном состоянии. При легком гранулометрическом составе степень сорбции мала, что дает возможность выноса НДМГ в глубь профиля за пределы корнеобитаемого слоя, поэтому почвам с низким содержанием физической глины присвоен максимальный балл устойчивости к загрязнению (3). В почвах с тяжелым гранулометрическим составом с высокой сорбционной емкостью НДМГ концентрируется в поверхностном горизонте почвы — почвам, где частиц размером $<0,01$ мм больше 60%, присвоен минимальный балл устойчивости к химическому загрязнению (1).

На фильтрационные свойства почв сильно влияет увеличение их плотности. В целом почвы космодрома Байконур характеризуются высокой плотностью поверхностных горизонтов (1,4–1,5 г/см³). Большинству почв присвоен средний балл устойчивости (2). Несколько выше плотность у серо-бурых суглинистых почв в комплексе с серо-бурыми суглинистыми солонцеватыми и солончаковатыми, а также у такыров глинистых (1,6–1,8 г/см³); поэтому этим почвам присвоен минимальный балл устойчивости (1).

На устойчивость НДМГ в почве существенно влияют ее кислотно-основные свойства. В кислой среде НДМГ находится в протонированной форме, имеет положительный заряд и способен закрепляться в почвенном поглощающем комплексе. В нейтральной и в щелочной среде НДМГ находится в электронейтральной форме, поэтому он плохо сорбируется почвенными частицами и мигрирует в водном растворе. По кислотно-основным свойствам почвы космодрома Байконур не дифференцируются, для них характерна щелочная реакция среды. Поэтому при проведении балльной оценки всем почвам космодрома присвоен максимальный балл устойчивости к загрязнению НДМГ (3).

Поскольку НДМГ способен реагировать с карбоксильной группой, он образует соединения с органическими кислотами почв, а также связи с угольной кислотой. В работах [Кречетов и др., 2014; Экологические..., 2000] установлена прямая зависимость поглощения НДМГ от содержания в почве органических веществ. Однако почвы космодрома малогумусные, что не способствует накоплению в них НДМГ. Всем почвам, за исключением аллювиально-луговой супесчаной и суглинистой, также присвоен максимальный балл устойчивости к химическому загрязнению (3).

Интегральная оценка исследованных почв по всем предложенным показателям позволила выделить три группы — с суммой баллов 8, 10 и 11 из 12 возможных, что позволяет говорить о том, что все почвы космодрома обладают достаточно высокой (выше средней) потенциальной устойчивостью к химическому воздействию.

Как установлено экспериментальными исследованиями [Елизарова и др., 1998; Ушакова и др., 2004], многие металлы (Cu^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+}) проявляют каталитическое действие и ускоряют процесс окисления НДМГ в почвах. Кроме того, по данным [Братков и др., 1987], оксиды металлов катализируют разложение гидразиновых горючих веществ более активно, чем ионы. В условиях аридных ландшафтов в большинстве почв значительная часть этих металлов присутствует в оксидных пленках на поверхности минералов.

Оценка каталитической активности почв космодрома показала, что почвы космодрома можно отнести к трем группам — с суммой баллов 3, 6 и 7–8 из 9 возможных. Минимальной каталитической активностью перечисленных выше химических элементов (сумма баллов 3) обладают песчаные пустынные почвы. Остальные почвы космодрома оценены как почвы со средней и высокой каталитической активностью (табл. 1, 2).

В целом почвы автономных ландшафтов космодрома Байконур с легким гранулометрическим составом по кислотно-основным и окислительно-восстановительным условиям имеют благоприятную среду для окисления и миграции НДМГ с поверхностным и внутрипочвенным стоком. На участках, сложенных водоупорными глинами и суглинками с солонцеватыми почвами и солончаками, проникновение НДМГ в почвенную толщу затруднено, что создает условия для его накопления в верхних горизонтах почв и миграции с поверхностным стоком в местные депрессии.

Однако, учитывая особенности геоморфологического строения территории космодрома — чередование плоских пространств с бессточными понижениями в виде логов и впадин с солончаками, а также небольшое количество осадков (100–120 мм/год), — можно утверждать, что вероятность латеральной миграции загрязнителей в подчиненные экосистемы невелика из-за отсутствия достаточного поверхностного стока.

Интегральная балльная оценка потенциальной устойчивости почв космодрома Байконур к химическому загрязнению позволила разделить почвы космодрома на три группы — с суммой баллов 14, 16 и >16 . По увеличению степени устойчивости они образуют следующий ряд (рис. 2): серо-бурая суглинистая в комплексе с серо-бурой суглинистой солонцеватой и солончаковатой, аллювиально-луговая супесчаная и суглинистая, песчаная пустынная → бурая солонцеватая суглинистая, серо-бурая суглинистая щебнистая, такыр глинистый → серо-бурая песчаная и супесчаная, солончак, такыр

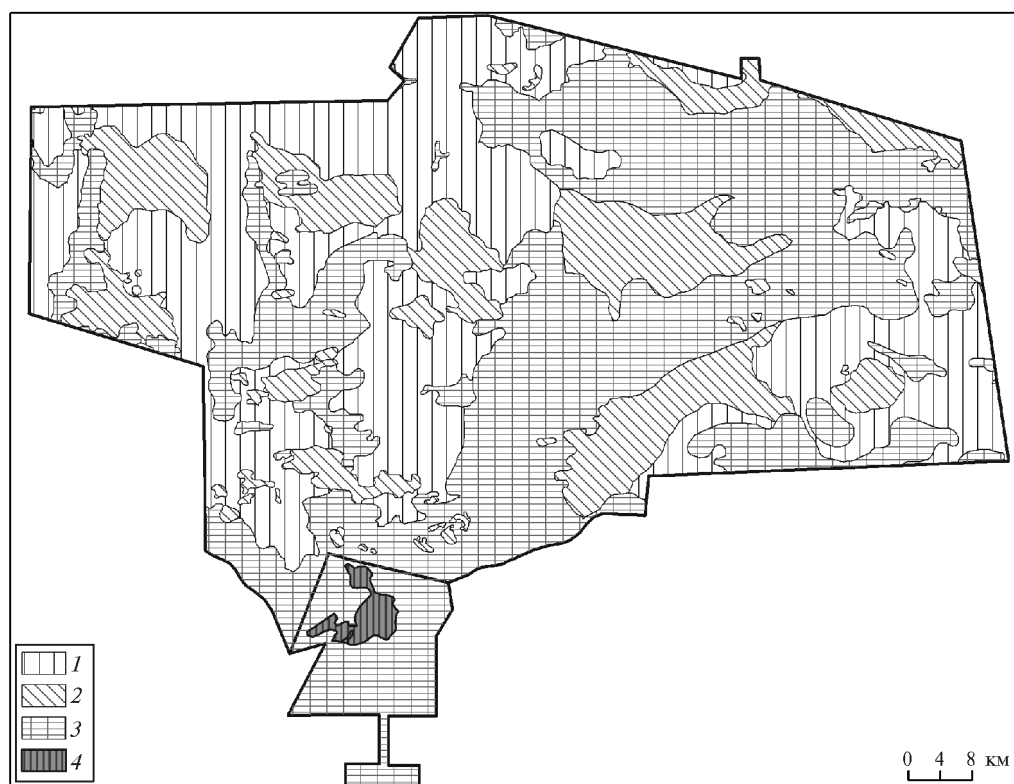


Рис. 2. Устойчивость почв к химическому воздействию: 1 — низкая, 2 — средняя, 3 — высокая; 4 — территория г. Байконур

и такыровидная суглинистая солонцевато-солончаковатая, солончак такыровидный.

В целом малоустойчивые к химическому воздействию почвы занимают 37% территории космодрома, почвы со средней устойчивостью — 19%; с высокой устойчивостью — 44%.

Потенциальную устойчивость почв к физическому воздействию в первую очередь необходимо оценивать с точки зрения вероятности усиления развития процессов ветровой и водной эрозии в результате антропогенного воздействия, определяемой комплексом факторов. В аридной зоне основной деградационный процесс — ветровая эрозия, развитию которой на космодроме способствует уничтожение естественной растительности в результате антропогенной деятельности (строительство дорог, разработка карьеров, движение автомобильного транспорта вне основных дорог, строительство промышленных объектов на площадках космодрома и т.п.). Техногенно нарушенные растительные сообщества занимают около 5% площади космодрома [Неронов и др., 2012]. Интенсивная хозяйственная деятельность приводит к появлению незакрепленных, часто подвижных песков. Подтверждается широкое развитие процессов дефляции на космодроме наличием у большинства автоморфных почв тонкого (до 5 см) навесного песчаного слоя (чехла). Еще один дефляционный процесс, характерный для почв космодрома, — усиление эолового выноса солей и засоление территории в результате разрушения солевой корочки на поверхности засоленных почв.

Водная эрозия на космодроме в силу небольшого годового количества осадков менее значимый деградационный процесс. Существенно она проявляется лишь на крутых склонах останцов, где почвенный покров, представленный маломощными бурыми пустынными почвами, местами полностью уничтожен под действием талых вод, и на поверхности выходят коренные породы.

Наиболее существенные факторы, влияющие на потенциальную устойчивость почв к физическому воздействию, — гранулометрический состав почвы, ее плотность и полевая влажность. Наиболее устойчивы к физическому воздействию почвы с тяжелым гранулометрическим составом и высокой плотностью. На устойчивость к дефляции сильно влияет сезонное увлажнение почв. Оценка полевой влажности почв показала, что минимальная влажность, а следовательно, и минимальная устойчивость к дефляции характерна для почв с легким гранулометрическим составом — песчаных пустынных и серо-бурых песчаных и супесчаных почв. Максимальная полевая влажность присуща такырам и солончакам, которые в наибольшей степени устойчивы к физическому воздействию.

По аналогии с оценкой потенциальной устойчивости почв к химическому воздействию выполнена экспертная балльная оценка потенциальной устойчивости почв к физическому воздействию (табл. 3, 4, рис. 3). Почвы космодрома образуют следующий ряд от малоустойчивых до устойчивых к физическому воздействию: песчаная пустынная, серо-бурая песчаная и супесчаная, серо-бурая суглинистая щебнистая → бурая солонцеватая су-



Рис. 3. Устойчивость почв к физическому воздействию: 1 — низкая, 2 — средняя, 3 — высокая; 4 — территория г. Байконур

Таблица 4

Количественные критерии балльных оценок

Показатели		Степень устойчивости		
		1 — низкая	2 — средняя	3 — высокая
Содержание фракции <0,01 мм, %:		<10	10–40	60–90
Плотность, г/см ³	устойчивость к химическому загрязнению	1,4–1,5	1,6–1,8	
	устойчивость к физическому воздействию		1,4–1,5	1,6–1,8
Гумус, %		<0,5	0,5–3	>3
рН				>=8
Влажность, %		<3	6–10	12–22
MnO, мг/кг		<400	500–700	>900
Fe ₂ O ₃ , %		<1,5	2,5–5	>6
Cu, мг/кг		<35	35–55	>55

глинистая, солончак такыровидный, аллювиально-луговая супесчаная и суглинистая, солончак, такыр и такыровидная суглинистая солонцеватосолончаковатая, серо-бурая суглинистая в комплексе с серо-бурой суглинистой солонцеватой и солончаковатой → такыр глинистый.

В целом почвы с низкой устойчивостью к физическому воздействию занимают 46% территории космодрома, почвы со средней устойчивостью — 52%, с высокой устойчивостью лишь 2%.

Выводы:

— оценка устойчивости почв космодрома Байконур к техногенному воздействию выполнена на основе характеристик почвенного покрова, полученных в результате масштабных полевых и химико-аналитических исследований. Для оценки устойчивости почв к химическому загрязнению предложен комплекс показателей, учитывающих как традиционные характеристики физических и химических свойств почв, так и оценку каталити-

ческих свойств почв, впервые использованную авторами. Особенно высока роль каталитических свойств почв при оценке устойчивости почв к загрязнению несимметричным диметилгидразином. Большинство почв космодрома обладают средней и высокой каталитической активностью. Минимальной каталитической активностью из почв, представленных на космодроме Байконур, обладают песчаные пустынные почвы;

— оценка устойчивости почв по всему комплексу показателей показала, что в целом наиболее уязвимы к химическому загрязнению компонентами ракетных топлив серо-бурые суглинистые в комплексе с серо-бурой суглинистой солонцеватой и солончаковатой, а также песчаные пустынные и аллювиально-луговые супесчаные и суглинистые почвы (в сумме они занимают 37% территории космодрома); наиболее устойчивы солончаки, такыры и такыровидные суглинистые солонцевато-солончаковатые почвы (44% территории). На территориях, природные почвы которых обладают низкой устойчивостью к химическому воздействию, размещено примерно 65% производственных объектов космодрома Байконур и лишь 27% — на участках с высокой потенциальной устойчивостью почв к химическому загрязнению;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области) // Тр. Ботан. ин-та имени В.Л. Комарова РАН. СПб., 2003. 424 с.

Botanicheskaja geografija Kazahstana i Srednej Azii (v predelah pustynnoj oblasti) [Botanical geography of Kazakhstan and Central Asia (within the desert area)], Tr. Botanich. in-ta imeni V.L. Komarova RAN. St.-Petersburg, 2003, 424 p. (in Russian).

Братков А.А., Серегин Е.П., Горенков А.Ф. и др. Химмотология ракетных и реактивных топлив. М.: Химия, 1987. 304 с.

Bratkov A.A., Seregin E.P., Gorenkov A.F. et al. Himmotologija raketnyh i reaktivnyh topliv [Chemmotology of rocket and jet fuels], Himija, Moscow, 1987, 304 p. (in Russian).

Букс И.И. Некоторые методические подходы к оценке устойчивости природных комплексов для целей прогноза состояния окружающей природной среды // Проблемы фоновоего мониторинга состояния природной среды. Вып. 5. Л.: Гидрометеиздат, 1987. С. 200–212.

Buks I.I. Nekotorye metodicheskie podhody k ocenke ustojchivosti prirodnyh kompleksov dlja celej prognoza sostojanija okruzhajushhej prirodnoj sredy [Some methodological approaches to assessing the sustainability of natural systems for the purposes of predicting the state of the environment], Problemy fonovogo monitoringa sostojanija prirodnoj sredy, V. 5, Leningrad, Gidrometeoizdat, 1987, pp. 200–212 (in Russian).

Буряк А.К., Татаурова О.Г., Ульянов А.В. Исследование продуктов трансформации несимметричного диметилгидразина на модельных сорбентах методом газохроматографии/масс-спектрометрии // Масс-спектрометрия. 2004. № 1 (2). С. 147–152.

— механическое разрушение поверхностного слоя в результате антропогенной деятельности приводит к усилению ветровой и водной эрозии. Это подтверждается наличием у большинства автоморфных почв космодрома песчаного наноса мощностью до 5 см. Ведущие факторы, определяющие устойчивость почв к физической деградации, — гранулометрический состав, плотность почв ненарушенного сложения и сезонное увлажнение почв. Наименьшая устойчивость к механическим нарушениям характерна для почв с легким гранулометрическим составом — песчаных пустынных и серобурых песчаных и супесчаных почв (46% площади космодрома), максимальная — для такыров и солончаков (2%). В настоящее время большинство производственных объектов космодрома (85%) расположено на территориях, природные почвы которых обладают средней устойчивостью к физическому воздействию; 15% объектов размещено на участках с почвами, характеризующимися низкой устойчивостью к физическому воздействию. Соблюдение на объектах космодрома экологических требований к определенным видам работ позволит снизить антропогенную трансформацию природных ландшафтов на прилегающих к ним территориях.

Burjak A.K., Tataurova O.G., Ul'janov A.V. Issledovanie produktov transformacii nesimmetrichnogo dimetilgidrazina na model'nyh sorbentah metodom gazohromatografii/mass-spektrometrii [Studying transformation products of unsymmetrical dimethylhydrazine on model sorbents by gas chromatography / mass spectrometry], Mass-spektrometrija, 2004, no 1 (2), pp. 147–152 (in Russian).

Глазовская М.А. Качественные и количественные оценки сенсорности и устойчивости природных систем к техногенным кислотным воздействиям // Почвоведение. 1994. № 1. С. 134–140.

Glazovskaja M.A. Qualitative and quantitative evaluation of sensority and sustainability of natural systems to anthropogenic acid impacts // Eurasian Soil Science, 1994, no 1, pp. 134–140.

Елизарова Г.Л., Матвиенко Л.Г., Пестунова О.П. и др. Каталитическое окисление 1,1-диметилгидразина кислородом воздуха в разбавленных водных растворах // Кинетика и катализ. 1998. Т. 39, № 1. С. 49–55.

Elizarova G.L., Matvienko L.G., Pestunova O.P. et al. Kataliticheskoe okislenie 1,1-dimetilgidrazina kislorodom vozduha v razbavlennyh vodnyh rastvorah [Catalytic oxidation of 1,1-dimethylhydrazine by atmospheric oxygen in dilute aqueous solutions], Kinetika i kataliz, 1998, Vol. 39, no 1, pp. 49–55 (in Russian).

Касимов Н.С., Кондратьев А.Д., Королева Т.В. и др. Экологический мониторинг ракетно-космической деятельности. М.: Рестарт, 2011. 472 с.

Kasimov N.S., Kondrat'ev A.D., Koroleva T.V. et al. Jekologicheskij monitoring raketno-kosmicheskoy dejatel'nosti [Ecological monitoring of Space-Rocket Activities], Restart, Moscow, 2011, 472 p. (in Russian).

Кондратьев А.Д., Кречетов П.П., Королева Т.В., Черницова О.В. Космодром Байконур как объект природопользования. М.: Пеликан, 2008. 176 с.

Kondrat'ev A.D., Krechetov P.P., Koroleva T.V., Chernitsova O.V. Kosmodrom Bajkonur kak ob'ekt prirodopol'zovaniya [Cosmodrome Baikonur as the Object of Nature Management], Pelikan, Moscow, 2008, 176 p. (in Russian).

Кречетов П.П. Методические подходы к количественной оценке устойчивости наземных экосистем к воздействию загрязняющих веществ // Естеств. и техн. науки. 2008. № 6. С. 105–108.

Krechetov P.P. Metodicheskie podhody k kolichestvennoj ocenke ustojchivosti nazemnyh jekosistem k vozdeystviyu zagraznjajushhih veshhestv [Methodological approaches to quantify the sustainability of terrestrial ecosystems to the impacts of pollutants], Estestv. i tehn. nauki, 2008, no 6, pp. 105–108 (in Russian).

Кречетов П.П., Касимов Н.С., Королева Т.В., Черницова О.В. Экспериментальное изучение буферности почв к воздействию несимметричного диметилгидразина // Докл. РАН. 2014. Т. 455, № 3. С. 337–341.

Krechetov P.P., Kasimov N.S., Koroleva T.V., Chernitsova O.V. Experimental Investigations of the Soil Buffer Capacity Relative to the Unsymmetrical Dimethylhydrazine-Induced Impact // Doklady AN. Earth Sciences, 2014, Vol. 455, pp. 1. P. 355–359.

Неронов В.В., Черницова О.В., Королева Т.В., Кречетов П.П. Современное состояние растительности космодрома Байконур и оценка ее потенциальной устойчивости к воздействию ракетно-космической деятельности // Аридные экосистемы. 2012. Т. 18, № 3 (52). С. 72–85.

Neronov V.V., Chernitsova O.V., Koroleva T.V., Krechetov P.P. Contemporary state of vegetation of the Baikonur cosmodrome and estimation of its potential stability to the impact of space rocket launches // Arid Ecosystems, 2012, Vol. 18, no 3 (52), pp. 72–85 (in Russian).

Родин И.А., Ананьева И.А., Смоленков А.Д., Шпигун О.А. Определение продуктов окислительной трансформации несимметричного диметилгидразина в почвах методом жидкостной хроматографии // Масс-спектрометрия. 2009. Т. 6, № 4. С. 302–306.

Rodin I.A., Anan'eva I.A., Smolenkov A.D., Shpigun O.A. Opredelenie produktov okislitel'noj transformacii nesimmetrichnogo dimetilgidrazina v pochvah metodom zhidkostnoj hromotografii [Determining products of oxidative transformation of unsymmetrical dimethylhydrazine in soils by liquid chromatography], Mass-spektrometrija, 2009, V. 6, no 4, pp. 302–306 (in Russian).

Родин И.А., Москвин Д.Н., Смоленков А.Д., Шпигун О.А. ВЭЖХ-МС исследование превращений несимметричного диметилгидразина в почвах // Журн. физ. химии. 2008. Т. 82, № 6. С. 1039–1044.

Rodin I.A., Moskvina D.N., Smolenkov A.D., Shpigun O.A. Transformations of Asymmetric Dimethylhydrazine in Soils // Russian Journal of Physical Chemistry, 2008, Vol. 82, no 6, pp. 911–915.

Родин И.А., Смирнов Р.С., Смоленков А.Д. и др. Трансформация несимметричного диметилгидразина в почвах // Почвоведение. 2012. № 4. С. 439–444.

Rodin I.A., Smirnov R.S., Smolenkov A.D. et al. Transformation of Unsymmetrical Dimethylhydrazine in Soils // Eurasian Soil Science, 2012, V. 45, no 4, pp. 386–391 (in Russian).

Смирнов Р.С., Родин И.А., Смоленков А.Д., Шпигун О.А. Хромато-масс-спектрометрическое определение продуктов трансформации несимметричного диметилгидразина в почвах // Журн. аналит. химии. 2010. Т. 65, № 12. С. 1295–1301.

Smirnov R. S., Rodin I. A., Smolenkov A. D., Shpigun O.A. Determination of the Products of the Transformation of Unsymmetrical Dimethylhydrazine in Soils Using Chromatography/Mass Spectrometry // Journal of Analytical Chemistry, 2010, Vol. 65, no 12, pp. 1266–1272 (in Russian).

Смоленков А.Д., Попутникова Т.О., Смирнов Р.С. и др. Сравнительная оценка токсичности несимметричного диметилгидразина и продуктов его трансформации методами биотестирования // Теория и прикладная экология. 2013. № 2. С. 85–90.

Smolenkov A.D., Poputnikova T.O., Smirnov R.S. et al. Sravnitel'naja ocenka toksichnosti nesimmetrichnogo dimetilgidrazina i produktov ego transformacii metodami biotestirovaniya [Comparative evaluation of the toxicity of unsymmetrical dimethylhydrazine and products of its transformation by bioassay], Teoreticheskaja i prikladnaja jekologija, 2013, no 2, pp. 85–90 (in Russian).

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

Snakin V.V., Aljabina I.O., Krechetov P.P. Jekologicheskaja ocenka ustojchivosti pochv k antropogennomu vozdeystviyu [Environmental assessment of soil sustainability to anthropogenic influence], Izv. RAN. Ser. geogr., 1995, no 5, pp. 50–57 (in Russian).

Ушакова В.Г., Шпигун О.Н., Старыгин О.И. Особенности химических превращений НДМГ и его поведение в объектах окружающей среды // Ползуновский вестн. 2004. № 4. С. 177–184.

Ushakova V.G., Shpigun O.N., Starygin O.I. Osobennosti himicheskikh prevrashhenij NDMG i ego povedenie v ob'ektah okruzhajushhej sredy [Features of chemical transformations of UDMH and its behavior in the environment], Polzunovskij vestnik, 2004, no 4, pp. 177–184 (in Russian).

Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую природную среду: Справочное пособие / Под общ. ред. В.В. Адушкина и др. М.: Анкил, 2000. 640 с.

Jekologicheskie problemy i riski vozdeystvij raketno-kosmicheskoi tehniki na okruzhajushhiju prirodnuju sredu [Environmental challenges and risks of the impact of space-rocket technology on the environment: Reference Guide], 2000, Moscow, Ankyl, 640 p. (in Russian).

Kenessov B., Batyrbekova S., Nauryzbayev M. et al. GC-MS Determination of 1-Methyl-1H-1,2,4-triazole in Soils Affected by Rocket Fuel Spills in Central Kazakhstan // Chromatographia. 2008. Vol. 67. P. 421–424.

P.P. Krechetov, T.V. Koroleva, O.V. Chernitsova

**SOIL COVER OF THE BAIKONUR COSMODROME AREA
AND ITS RESISTANCE TO THE TECHNOGENIC IMPACT**

Soil cover of the Baikonur Cosmodrome area is studied. Basing on the field and chemical-analytical investigations, as well as the Earth remote sensing data the medium-scale (1:300 000) soil map of the cosmodrome area was updated. Soil resistance to chemical and physical impacts related to the rocket-and-space activities was evaluated which allowed zoning the Baikonur Cosmodrome area regarding the potential resistance of soils.

The integral assessment of potential resistance of soils to chemical pollution depends both on the realization of buffer mechanisms of their physical-chemical properties and the catalytic reactivity of the chemical elements. Soils with low potential resistance to chemical impact host about 65% of the cosmodrome operation facilities. These data should be taken into account while planning measures for the environmental risks mitigation and choosing soil decontamination techniques in emergencies.

Factors influencing the resistance of soils to physical impacts were also analyzed. The cosmodrome facilities are located within areas with medium (85%) and low (15%) soil resistance to physical impacts. If the environmental standards for particular types of activities are met at the cosmodrome facilities the anthropogenic transformation of natural landscapes in their vicinity could be scaled down.

Key words: resistance, soils, components of rocket fuel, dimazine, the Baikonur Cosmodrome, ecosystem, chemical resistance, physical resistance.

УДК 551.340: 624.139

В.А. Исаков¹**ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ В ОСНОВАНИЯХ ДОРОГ НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ²**

Рассмотрены направленность и основные причины изменения температурного режима в основаниях дорожных насыпей в криолитозоне. В программе “WARM” выполнено моделирование температурного поля в основании дорожных насыпей для 11 пунктов криолитозоны с учетом их климатических и геокриологических особенностей. По результатам моделирования выделено 4 основных типа многолетнего квазистационарного состояния температурного поля в основаниях дорог: устойчивый, переходный низкотемпературный, переходный высокотемпературный и неустойчивый. Рассмотрены основные причины их формирования: дополнительный разогрев искусственно созданных поверхностей, перераспределение снега и особенности морфологии дорожной насыпи, препятствующие равномерному промерзанию мерзлых грунтов в ее основании. Сделан вывод о влиянии характерных неравномерностей температурного поля на сезонную и многолетнюю динамику геокриологических условий в природно-технической системе земляного полотна. На основании литературных источников и полевых наблюдений проведена апробация результатов моделирования, показавшая их высокую сходимость с результатами натурных наблюдений. Отмечено, что в регионах, где по результатам расчета отмечается устойчивый и переходный низкотемпературный тип квазистационарного температурного поля, также наблюдаются деформации дорожных насыпей, вызванные динамическими нагрузками либо активизацией опасных криогенных процессов.

Ключевые слова: криолитозона, дорожная насыпь, моделирование, региональная изменчивость.

Введение. Разнообразие природных условий криолитозоны России очень велико, многие факторы природной среды вносят значительный и своеобразный вклад в формирование и свойства массивов мерзлых пород. Техногенная нагрузка при строительстве и эксплуатации дорог изменяет соотношение и масштаб воздействия различных факторов на верхние горизонты мерзлых пород и вызывает изменение свойств последних, что часто приводит к деформациям и выходу из строя дорожного полотна. Поэтому основная цель исследования — определение закономерностей изменения геокриологической обстановки в основаниях автомобильных и железных дорог в различных регионах криолитозоны России. Обеспечение устойчивости дорог в криолитозоне — одна из наиболее длительно разрабатываемых задач инженерного мерзлотоведения, поставленная практически одновременно с появлением этой науки на рубеже XIX и XX вв. В пределах области распространения мерзлых пород и глубокого сезонного промерзания построены тысячи километров железных и автомобильных дорог, крупнейшие из которых Транссибирская, Байкало-Амурская, Амуро-Якутская магистрали, так называемая Мертвая дорога (Салехард—Уренгой—Игарка), федеральные автотрассы “Амур”, “Колыма” и “Вилуй”. Многие из этих объектов, как построенные в начале XX в. (Транссибирская магистраль), так и относительно недавно

(автодорога “Амур”), испытывают значительные деформации, связанные с изменением геокриологической обстановки и активизацией криогенных процессов в их основаниях и на прилегающих территориях (рис. 1).

Изменения геокриологической обстановки в основаниях насыпей провоцируются в первую очередь формированием новых условий теплообмена мерзлых пород с атмосферой при строительстве и эксплуатации дорог, что связано с перераспределением снежного покрова (расчистка основной площадки, складирование и метелевое переотложение снега), увеличенным поступлением солнечной радиации за счет сравнительно низкого альбеда искусственных покрытий, отсутствием теплоизолирующего влияния растительных покровов (в результате сведения древесного и кустарничкового, а также уплотнения мохово-торфяного покровов). Региональная дифференциация таких показателей, как длительность теплых и холодных сезонов, количество солнечной радиации, поступающей на поверхность грунтов, мощность и обогревающее влияние снежного покрова, скорость ветра, интенсивность метелей, проективное покрытие растительного покрова, распространение и мощность мохово-торфяного покрова, позволяют предположить наличие региональных различий в динамике температурного поля в основаниях дорог.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, аспирант; e-mail: isakov.gc@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра криолитологии и гляциологии, аспирант; e-mail: isakov.gc@gmail.com



Рис. 1. Деформации дорожных насыпей в криолитозоне: слева — оседание насыпи автодороги Норильск — Талнах (построена в 1960-х гг., фото в сентябре 2010 г.), справа — волнообразные деформации на автодороге «Амур» (строительство закончено в 2010 г, фото в августе 2013 г., предоставлено С.А. Пищуловым)

В пределах России выделяются крупные районы со специфической направленностью процессов криолитогенеза, близкие по климатическим, геологическим, геоморфологическим, палеогеографическим и ландшафтным характеристикам [Региональная..., 1989]. Под влиянием криогенных процессов происходит формирование определенных комплексов многолетнемерзлых пород, особенности криогенного строения и термодинамического баланса которых способны в значительной мере повлиять на динамику геокриологической обстановки в основаниях дорожных насыпей.

Мерзлые породы в основаниях насыпей в зависимости от механического состава и криогенного строения по-разному реагируют на изменение температурного поля, происходящее под воздействием техногенной нагрузки. В сильнольдистых мерзлых породах отчетливее проявляется эффект температурного сдвига [Методика..., 1979], что вместе с высокими затратами тепла на фазовые переходы воды в отдельных случаях может нивелировать негативное воздействие техногенного отепления [Пармузин, 2008]. В то же время отепляющее влияние снежного покрова одинаковой мощности на участках водонасыщенных грунтов будет больше, чем на сухих [Основы..., 1974]. Осадка сильнольдистых грунтов при их оттаивании, как правило, существенно выше, чем слабольдистых. Вода, выделяющаяся при вытаивании льда и уплотнении оттаявшей грунтовой массы под действием тепловой и механической нагрузки от насыпи, служит дополнительным источником переувлажнения сезонно-талого слоя и таликовых зон и может способствовать активизации опасных криогенных процессов.

Следует отметить, что в работах, посвященных изменению геокриологической обстановки в основаниях железных и автомобильных дорог в криолитозоне, как правило, рассматриваются отдельные объекты (Байкало-Амурская и Транссибирская магистрали [Кондратьев, 2011; Лисицына и др., 1989], автодорога «Амур» [Бедрин, Дубенков, 2014; Кондратьев, 2011], железные дороги Обская—Бованенково [Шаманова, Титков, Максимов, 2012], Улак-

Эльга [Исаков, Наумов, Телков, 2013] и др.), расположенные в пределах одного-трех соседних регионов криолитозоны. Отличаются в первую очередь технологические решения при строительстве дорог, длительность эксплуатации объектов дорожной сети, количество и качество мониторинговых, в том числе термометрических, наблюдений на разных участках дорожной сети в криолитозоне [Исаков, Телков, 2013]. Все указанное делает проблематичным проведение сравнительного анализа динамики геокриологической обстановки в основаниях дорог в регионах криолитозоны России.

Материалы и методы исследований. Для определения динамики геокриологической ситуации в основаниях дорог в криолитозоне выполнено моделирование температурного поля земляного полотна для разных климатических и грунтовых условий. В качестве объекта моделирования выбрана насыпь с высотой 6 м, шириной основной площадки 9 м, откосами крутизной 1:1,5 (проективная длина откоса 9 м), сложенная гравийно-щебеночной смесью (до высоты 5 м) и балластным щебнем (1 м). (Насыпи распространены в качестве земляного полотна на дорогах в криолитозоне существенно шире, чем выемки, что связано с рекомендациями нормативных документов проектировать земляное полотно на участках со сложными мерзлотно-грунтовыми условиями преимущественно с насыпями [Ведомственные..., 1990; Строительные..., 1987].) Высота насыпи выбрана с учетом требований к минимальной высоте насыпи, условий снеготаносимости и распространения на автомобильных и железных дорогах в равнинной, предгорной и горной частях криолитозоны. Ширина основной площадки, выбранной для моделирования насыпи, соответствует требованиям, предъявляемым к однопутным железным дорогам [Строительные..., 1995] и автомобильным дорогам IV–V категорий [Строительные..., 1987]. Выбор крупнообломочного состава грунтов насыпи обусловлен возможностью применять их без ограничений на различных по состоянию и свойствам грунтах оснований; физические и теплофизические характеристики грунтов взяты из работы [Хрусталева, 2005] и приведены в табл. 1.

Таблица 1

Физические и теплофизические свойства некоторых материалов, используемых в дорожном строительстве, по [Хрусталеv, 2005]

Материал	ρ , кг/м ³	w_{tot} , д.е.	λ_{th} , ккал/(м·ч·°C)	λ_r , ккал/(м·ч·°C)	C_{th} , ккал/(м ³ ·°C)	C_r , ккал/(м ³ ·°C)
Балластный щебень	1900	0,05	1,25	1,3	563	522
Гравийно-щебеночная смесь	2060	0,03	1,8	1,85	626	580

Такие условия моделирования позволяют не учитывать ряд технологических факторов, таких, как положение насыпи на местности, увлажнение основания, разная высота насыпи, длительность эксплуатации сооружения, особенности проектных и строительных решений. Прогноз температурного поля земляного полотна выполнен в разработанной под руководством проф. Л.Н. Хрусталева программе WARM [Хрусталеv и др., 1994], в основе которой лежит решение нестационарной задачи теплопроводности с учетом условия Стефана — подвижная граница раздела фаз. Моделирование проводилось без учета конвективных тепловых потоков как в зимнее, так и в летнее время. Не учитывались конденсация водяного пара в порах насыпи и отепляющее влияние дождевых осадков в летний период. Приведенные выше природные факторы обладают как охлаждающим, так и отепляющим влиянием на мерзлые грунты. Учет только кондуктивного теплообмена позволяет применять результаты моделирования как для железных дорог, где основная площадка сложена дренирующими грунтами, так и для автомобильных дорог с твердым покрытием.

Моделирование температурного поля земляного полотна выполнено для 11 пунктов в пределах криолитозоны (Краснощелье, Нарьян-Мар, Воркута, Амдерма, Салехард, Тазовский, Дудинка, Анадырь, Якутск, Чита, Бомнак). В этих пунктах расположены метеостанции, для которых в открытом доступе есть необходимые для моделирования климатические параметры (среднемесячная температура воздуха, скорость ветра и мощность снежного покрова) за достаточно длительные периоды наблюдений [Архив..., 2014]. Учитывая длительность эксплуатации дорог в криолитозоне, срок которой составляет многие десятки лет, применение длинных рядов данных позволяет нивелировать наличие короткопериодных колебаний температуры воздуха, особо ощутимых в северных широтах [Шполянская, 2008]. В связи с короткопериодными климатическими колебаниями не учтены тренды на межгодовое изменение температуры воздуха.

Расчет температуры искусственных покрытий с учетом радиационной поправки осуществлен по методике, приведенной в работе [Хрусталеv, 2005]. Для периодов с отрицательной среднемесячной температурой температура на поверхности основной площадки и снежного покрова принималась равной температуре воздуха.

Для основной площадки насыпи альбедо имеет значение 0,1 (темное асфальтобетонное покрытие в случае автомобильных дорог и загрязненная неф-

тепродуктами, металлической и угольной пылью, бытовыми отходами основная площадка железных дорог), для откосов — 0,14 (щебенчатое покрытие). Распределение снежного покрова принято исходя из условий его регулярной счистки с основной площадки и равномерного распределения по откосам.

$$H_{\text{отк}} = H_0 (1 + S_{\text{осн}}/2S_{\text{отк}}), \quad (1)$$

где $H_{\text{отк}}$ — мощность снежного покрова на откосах насыпи, м; $S_{\text{осн}}$ — длина поперечного сечения основной площадки, м; $S_{\text{отк}}$ — длина поперечного сечения поверхности откоса, м; H_0 — мощность снежного покрова в естественных условиях, м.

При моделировании не учитывалось увеличение мощности и плотности снежного покрова за счет метелевого переотложения на откосах и территории, прилегающей к насыпи.

Плотность снежного покрова определяли по формуле из [Каган, Кривоногова, 1978] с допущением, что при уменьшении высоты снежного покрова в весенний период не уменьшается его плотность вследствие инфильтрации и повторного замерзания талых вод в снежной толще:

$$P = 180z + 90, \quad (2)$$

где P — плотность снежного покрова, кг/м³, z — высота снежного покрова, м. Мощность снежного покрова на основной площадке принята равной нулю.

Мерзлые породы в качестве оснований для искусственных сооружений в разной степени подвержены изменениям под воздействием техногенной нагрузки. Учет криогенного строения естественных мерзлых грунтов особенно важен для южных регионов криолитозоны, где в современных климатических условиях многолетнемерзлые породы могут существовать только в специфических условиях (торфяные массивы, горные котловины). Для всех исследованных пунктов на основании литературных данных [Криолитологическая..., 1985; Региональная..., 1989], а также по данным полевых исследований автора построены разрезы, обобщенно характеризующие криолитологическое строение верхних горизонтов мерзлых пород (табл. 2). Теплофизические характеристики грунтов естественного основания взяты из [Строительные..., 1990]. Тепловой поток на нижней границе расчетной области был задан, равным нулю. Температура многолетнемерзлых пород на глубине 10 м принята на основании обобщения фактического материала автора и региональных геотермических условий [Региональная..., 1989].

Таблица 2

Состав, свойства и среднегодовая температура грунтов оснований для регионов криолитозоны, принятые в расчетах

Регион	Глубина залегания слоя, м										T_0 , °C
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Красношелье	торф; 0,3; 2,0*	торф; 0,3; 2,0	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	–1,0
Нарьян-Мар	торф; 0,3; 2,0	сугл; 1,4; 0,35	сугл; 1,4; 0,35	песок; 1,6; 0,2	песок; 1,6; 0,2	сугл; 1,8; 0,1	сугл; 1,8; 0,1	сугл; 1,8; 0,1	сугл; 1,8; 0,1	сугл; 1,8; 0,1	–1,0
Воркута	сугл; 1,6; 0,3	сугл; 1,6; 0,3	суп; 1,6; 0,15	суп; 1,6; 0,15	суп; 1,6; 0,15	суп; 1,6; 0,15	суп; 1,6; 0,15	суп; 1,6; 0,15	суп; 1,6; 0,15	суп; 1,6; 0,15	–2,5
Амдерма	суп; 1,4; 0,2	суп; 1,4; 0,2	суп; 1,4; 0,2	песок; 1,4; 0,2	песок; 1,4; 0,2	глина; 1,6; 0,25	глина; 1,6; 0,25	песок; 1,6; 0,2	песок; 1,6; 0,2	сугл; 1,8; 0,1	–3,0
Салехард	торф; 0,4; 2,0	торф; 0,4; 2,0	песок; 1,4; 0,25	песок; 1,4; 0,25	сугл; 1,4; 0,35	сугл; 1,4; 0,35	сугл; 1,6; 0,2	сугл; 1,6; 0,2	сугл; 1,6; 0,2	сугл; 1,6; 0,2	–2,0
Тазовский	сугл; 1,4; 0,25	сугл; 1,4; 0,25	суп; 1,4; 0,25	суп; 1,4; 0,25	песок; 1,4; 0,25	песок; 1,4; 0,25	сугл; 1,6; 0,25	сугл; 1,6; 0,25	сугл; 1,6; 0,25	суп; 1,6; 0,2	–2,5
Дудинка	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	сугл; 1,2; 0,4	–2,5
Анадырь	песок; 1,4; 0,25	песок; 1,4; 0,25	песок; 1,4; 0,25	песок; 1,4; 0,25	песок; 1,4; 0,25	суп; 1,4; 0,35	суп; 1,4; 0,35	суп; 1,4; 0,35	суп; 1,4; 0,35	суп; 1,4; 0,35	–3,0
Якутск	песок; 1,4; 0,2	песок; 1,4; 0,2	песок; 1,4; 0,2	глина; 1,4; 0,2	песок; 1,6; 0,2	песок; 1,6; 0,2	песок; 1,6; 0,2	глина; 1,6; 0,2	глина; 1,6; 0,2	песок; 1,8; 0,15	–2,5
Чита	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	песок; 1,6; 0,15	песок; 1,6; 0,15	песок; 1,6; 0,15	песок; 1,6; 0,15	песок; 2,0; 0,15	песок; 2,0; 0,15	–1,0
Бомнак	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	сугл; 1,8; 0,2	песок; 1,6; 0,15	песок; 1,6; 0,15	песок; 1,6; 0,15	песок; 1,6; 0,15	песок; 2,0; 0,15	песок; 2,0; 0,15	–1,0

* Наименование грунта (сугл — суглинок, суп — супесь); его плотность (т/м^3); влажность за счет свободной воды (д. ед); T_0 — среднегодовая температура мерзлых грунтов на глубине 10 м.

Температура насыпных грунтов в начальный момент расчета (окончание холодного сезона в год строительства) в зависимости от региона и высоты слоя задавалась в диапазоне от $-2,7$ °C до -7 °C с учетом послойного промораживания грунтов насыпи при ее строительстве в зимний период.

Моделирование температурного поля выполнено на период 50 лет, это достаточное время для формирования нового квазистационарного температурного поля в основании земляного полотна.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты расчета температуры искусственных поверхностей, приведенные в табл. 3, показывают, что ее повышение для искусственных поверхностей в разных регионах криолитозоны неравномерно. Различные сочетания основных природных факторов, используемых в расчете, — поступление солнечной радиации, скорость ветра и продолжительность холодного и теплого сезонов — приводят к существенной дифференциации температуры на искусственных поверхностях даже в пунктах с близкой среднегодовой температурой воздуха. Повышение разницы значений среднегодовой температуры на разных поверхностях в пределах земляного полотна и прилегающей территории увеличивает неравномерность температурного поля в основаниях дорог.

Результаты расчета мощности снежного покрова на откосах насыпи приведены в табл. 4. Они позволяют сделать вывод об увеличении неравномерности зимнего промерзания при увеличении высоты снежного покрова.

Данные, полученные при расчете температуры искусственных поверхностей и мощности снега на откосе насыпей, дают возможность предположить наличие значительных неравномерностей в сезонной и многолетней динамике температурного поля в основании дорожных насыпей в разных регионах криолитозоны, что подтверждается результатами моделирования.

Моделирование температурного поля для 11 пунктов в криолитозоне России показало значительную региональную дифференциацию динамики геокриологической обстановки в основании дорожных насыпей. Выделено 4 основных типа квазистационарного (с относительно стабильной среднегодовой температурой грунтов на разных глубинах) температурного состояния насыпных и естественных грунтов:

1) устойчивый тип (Амдерма, Анадырь) характеризуется стабильностью или понижением температуры насыпных и естественных грунтов и подъемом кровли вечной мерзлоты в пределах сооружения;

Таблица 3

Температура искусственных и естественных поверхностей по месяцам и средняя за год

Пункт (период наблюдений)	Температура поверхности*, °C												
	месяц												Год*
	1**	2**	3**	4**	5*	6*	7*	8*	9*	10**	11**	12**	
Краснощелье (1953–2011)	–14,0	–13,9	–9,3	–3,5	3,1; 11,8; 14,3	10,0; 18,7; 21,3	13,5; 22,1; 24,9	10,8; 18,1; 21,2	6,1; 11,9; 14,6	–0,3	–7,2	–11,2	–1,32; 1,2; 2,1
Нарьян-Мар (1926–2008)	–16,9	–16,8	–12,9	–6,5	0,3; 8,0; 10,3	8,2; 15,5; 17,7	13,3; 20,8; 23,2	11,1; 17,3; 19,8	5,9; 11,2; 13,6	–1,2	–8,7	–13,5	–3,1; –0,9; –0,2
Воркута (1953–2011)	–19,5	–20,0	–13,9	–10,0	–1,9	7,6; 12,9; 14,2	13,2; 18,5; 20,0	9,7; 14,1; 15,7	4,3; 8,2; 9,6	–3,4	–13,3	–17,6	–5,4; –3,8; –3,3
Амдерма (1948–2011)	–19	–19,8	–15,6	–11,8	–4,9	2,2; 7,5; 8,8	7,6; 12,7; 14,2	7,0; 11,0; 12,4	4,0; 7,5; 8,7	–3,5	–10,9	–15,0	–6,6; –5,1; –4,7
Салехард (1936–2011)	–23,2	–22,9	–14,9	–9,1	–0,5	9,5; 16,8; 19,0	14,8; 22,0; 24,4	11,4; 18,1; 20,8	5,3; 11,1; 13,7	–3,0	–15,3	–20,7	–5,7; –3,5; –2,6
Тазовский (1953–2011)	–26,4	–26,3	–19,3	–13,6	–4,2	7,3; 13,1; 14,6	14,5; 19,6; 21,1	11,4; 15,8; 17,4	4,6; 8,7; 10,2	–6	–18,3	–24,3	–8,4; –6,8; –6,3
Дудинка (1948–2011)	–26,9	–26,6	–21,2	–15,1	–5,0	6,7; 11,8; 13,1	13,8; 18,5; 19,9	11,2; 15,3; 16,7	4,0; 7,7; 9,1	–7,9	–20,5	–25,1	–9,4; –7,9; –7,5
Анадырь (1949–2011)	–22,6	–22,0	–19,3	–12,8	–1,6	6,3; 10,9; 12,0	11,6; 15,7; 16,8	10,1; 13,7; 14,8	4,6; 8,2; 9,4	–4,6	–13,3	–19,3	–6,9; –5,6; –5,2
Якутск (1888–2008)	–38,6	–33,8	–20,1	–4,8	7,5; 16,5; 19,2	16,4; 25,4; 28,2	19,5; 28,7; 31,7	15,2; 23,1; 26,2	6,1; 13,0; 16,1	–7,8	–27,0	–37,6	–8,8; –5,3; –4,0
Чита (1933–2011)	–26,1	–21,2	–10,8	0,6; 9,0; 11,5	8,9; 17,2; 19,7	16,1; 25,4; 28,3	18,8; 29,1; 32,2	15,7; 25,2; 28,7	8,3; 16,5; 19,7	–1,0	–13,8	–23,2	–2,3; 2,2; 3,7
Бомнак (1953–2011)	–32,5	–24,3	–13,5	–1,7	7,4; 16,3; 19,0	14,3; 23,6; 26,6	17,8; 27,6; 30,8	15,3; 24,3; 27,7	8,5; 16,4; 19,7	–3,1	–19,6	–30,4	–5,2; 1,7; 3,0

* За летние месяцы и в среднем за год — температура естественной поверхности; температура откоса; температура основной площадки; ** температура поверхности снега и основной площадки в зимний период.

2) переходный низкотемпературный тип (Воркута, Тазовский, Дудинка) характеризуется повышением температуры грунтов в пределах зоны ее отрицательных значений при подъеме кровли вечной мерзлоты и в отдельных случаях локальным понижением температуры под основной площадкой насыпи. Конфигурация верхней границы многолетнемерзлых пород приближена к конфигурации поверхности насыпи. У подножий откосов формируются таликовые зоны мощностью до 1–2 м и околонулевой температурой грунтов;

3) переходный высокотемпературный тип (Нарьян-Мар, Салехард, Якутск) характеризуется значительным повышением температуры в основании насыпи и формированием таликовых зон под от-

косами насыпей. Под основной площадкой сохраняются отрицательная среднегодовая температура насыпных грунтов и многолетнемерзлое состояние естественных грунтов при их высокой (не ниже -1°C) температуре;

4) неустойчивый тип (Краснощелье, Чита, Бомнак) характеризуется формированием чаши оттаивания значительной мощности под дорожной насыпью.

Характер залегания кровли многолетнемерзлых грунтов для пунктов с разным типом квазистационарного температурного состояния грунтов представлен на рис. 2.

Анализ динамики изменения температурного поля при переходе к квазистационарному состоянию в условиях техногенного изменения условий

Таблица 4

Среднемесячная мощность снежного покрова

Пункт	Мощность снежного покрова* (м) по месяцам											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Краснощелье	0,32; 0,46	0,44; 0,63	0,51; 0,73	0,40; 0,57	0,18; 0,26	0,04; 0,06	0	0	0	0,06; 0,09	0,11; 0,16	0,19; 0,27
Нарьян-Мар	0,46; 0,66	0,55; 0,78	0,65; 0,93	0,61; 0,87	0,35; 0,5	0,03; 0,04	0	0	0,01; 0,01	0,06; 0,09	0,17; 0,24	0,28; 0,40
Воркута	0,47; 0,67	0,66; 0,94	0,81; 1,15	0,84; 1,19	0,53; 0,75	0,04; 0,06	0	0	0	0,06; 0,09	0,17; 0,24	0,3; 0,43
Амдерма	0,13; 0,19	0,17; 0,24	0,22; 0,31	0,26; 0,37	0,21; 0,3	0,17; 0,24	0	0	0,02; 0,03	0,05; 0,07	0,06; 0,09	0,13; 0,19
Салехард	0,36; 0,51	0,4; 0,57	0,45; 0,64	0,36; 0,51	0,17; 0,24	0	0	0	0	0,05; 0,07	0,2; 0,28	0,3; 0,43
Тазовский	0,44; 0,63	0,55; 0,78	0,67; 0,95	0,72; 1,03	0,52; 0,74	0,12; 0,17	0	0	0,07; 0,10	0,09; 0,13	0,23; 0,33	0,34; 0,48
Дудинка	0,54; 0,77	0,65; 0,92	0,69; 0,98	0,7; 0,99	0,62; 0,88	0,06; 0,09	0	0	0	0,12; 0,17	0,32; 0,45	0,45; 0,64
Анадырь	0,16; 0,23	0,17; 0,24	0,19; 0,27	0,19; 0,27	0,08; 0,11	0	0	0	0	0,03; 0,04	0,06; 0,09	0,11; 0,16
Якутск	0,27; 0,38	0,31; 0,44	0,33; 0,47	0,21; 0,3	0	0	0	0	0	0,04; 0,06	0,15; 0,21	0,22; 0,31
Чита	0,1; 0,14	0,1; 0,14	0,07; 0,1	0,06; 0,09	0,08; 0,11	0	0	0	0	0,02; 0,03	0,05; 0,07	0,08; 0,11
Бомнак	0,27; 0,38	0,29; 0,41	0,3; 0,43	0,09; 0,13	0	0	0	0	0	0,03; 0,04	0,1; 0,14	0,23; 0,33

* Мощность снежного покрова в естественных условиях и на откосе насыпи.

внешнего теплообмена позволил выявить основные причины дифференциации температурных условий в основаниях дорожных насыпей. В пунктах, где сформировался *устойчивый тип* квазистационарного температурного поля, среднезимняя мощность снежного покрова относительно невелика, что не препятствует интенсивному выхолаживанию

грунтов в холодный период года. Снег часто сохраняется и в период с положительной температурой, что сдерживает оттаивание промерзших грунтов.

В пунктах с *переходным низкотемпературным типом* квазистационарного температурного поля мощность снега максимальна среди всех рассмотренных типов, что, несмотря на сравнительно низ-

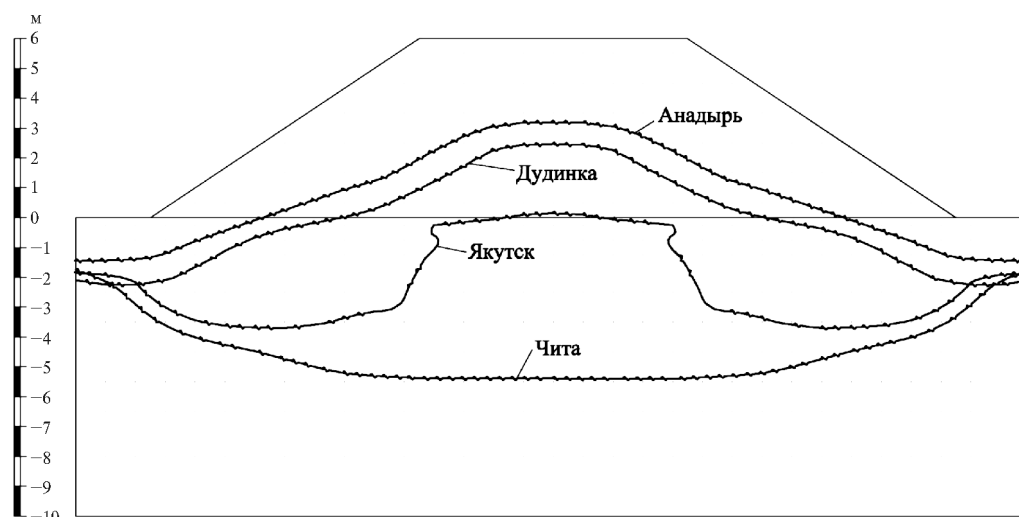


Рис. 2. Положение кровли вечной мерзлоты под дорожной насыпью в пунктах, где зафиксированы разные типы квазистационарного температурного состояния грунтов

кие значения среднегодовой температуры, практически блокирует промерзание откосов насыпей в зимний период. В результате фронт промерзания распространяется преимущественно от основной площадки насыпи, что приводит к увеличению физического расстояния, которое необходимо пройти волне холода, и снижению ее охлаждающей способности на подошве откосов насыпи, где под воздействием летнего отепления образуются талики.

Переходный высокотемпературный квазистационарный температурный режим формируется в пунктах, для которых характерна длительная продолжительность летнего сезона при суровых зимах и средней высоте снежного покрова. В таких условиях наблюдается быстрое промерзание насыпных грунтов под основной площадкой и замедленное под откосами. При этом снежный покров не задерживается в теплые периоды, что обуславливает хороший прогрев насыпи по всему контуру контакта с атмосферой. Таким образом, в основании откосов формируются благоприятные условия для многолетнего оттаивания грунтов.

При расчете температуры на искусственных поверхностях для пунктов, где отмечено формирование *неустойчивого* квазистационарного температурного режима, получены положительные значения (табл. 3), даже без учета отепляющего влияния снежного покрова. В таких условиях сохранение мерзлого состояния грунтов насыпи и ее естественного основания возможно только при применении специальных мер по стабилизации мерзлотной обстановки.

При формировании многолетнего квазистационарного температурного поля и его сезонных изменений широко проявляются особенности теплообмена через поверхность, свойственные природно-технической системе земляного полотна, — повышенный нагрев искусственных поверхностей летом и неравномерное распределение снега зимой, а также специфическая морфология насыпи. Под влиянием этих особенностей теплообмена распределение температуры в многолетнем квазистационарном состоянии и в сезонной динамике приобретает характерные исключительно для земляного полотна неравномерности, которые служат причиной активизации криогенных процессов, неблагоприятных для устойчивости земляного полотна.

Апробация результатов моделирования выполнена на основании литературных данных, а также полевых исследований, проведенных на автомобильных и железных дорогах в разных регионах криолитозоны. Район Анадыря, отнесенный по результатам моделирования к районам с *устойчивым типом* температурного поля, характеризуется очень высокой степенью деформаций земляного полотна автомобильных дорог. До 60% автодорог в регионе [Бедрин и др., 2012] нуждается в реконструкции и испытывает регулярные деформации, прежде всего осадку. Также отмечены резкое увеличение деформаций земляного полотна при понижении высоты

насыпи (особенно ниже 0,8–1,0 м) и высокая снеготаносимость дорог. Деформации низких насыпей могут быть вызваны не многолетним оттаиванием вечномерзлых пород, а снижением несущей способности переувлажненного сезонно-талого слоя (мощность которого по результатам моделирования может достигать 3 м под основной площадкой) в основаниях дорог, а также активизацией опасных криогенных процессов, в первую очередь термокарста и пучения.

Исследования, проведенные автором в 2010–2011 гг. на участках дорог в Норильском промышленном районе (недалеко от г. Дудинка) [Исаков, 2012] и в Пур-Тазовском междуречье (пос. Тазовский), т.е. в тех регионах, для которых по результатам моделирования характерен *переходный низкотемпературный тип* квазистационарного температурного поля в основаниях дорожных насыпей, показали широкое развитие подтопления и деформаций откосов, а также ступенчатого отседания основной площадки. В целом это подтверждает вывод, сделанный по результатам моделирования, — существенное снижение несущей способности грунтов в основании насыпи по направлению от оси к откосам земляного полотна.

Наблюдения, проведенные на участках железных дорог в южной части Мало- и Большеземельской тундры, а также в лесотундре Западной Сибири, — регионах, которые отнесены к районам с *переходным высокотемпературным типом* квазистационарного поля, показали, что кровля многолетнемерзлых пород в основаниях насыпей имеет характерную W-образную форму [Канаев, 1994], что соответствует результатам моделирования. Полевые исследования автора на участке железной дороги Кердем–Нижний Бестях, расположенном вблизи от г. Якутск, показали широкое развитие оседания откосов насыпи и переувлажнения их оснований, что свидетельствует о неблагоприятном изменении геокриологической обстановки и соответствует данным моделирования.

Территория участка 0–54 км железной дороги Улак–Эльга, пролегающей недалеко от пос. Бомнак, по результатам моделирования относится к *неустойчивому типу* квазистационарного температурного поля, что подтверждается подробными данными полевых наблюдений [Исаков и др., 2013]. Моделирование теплового режима грунтов оснований насыпи показало, что на 10-й год эксплуатации мощность таликовой зоны в естественных грунтах под насыпью достигнет 5 м. В ходе исследований на трассе железной дороги через 10 лет после строительства выявлены талики мощностью >10 м. Широкое распространение в основаниях насыпей неустойчивого типа квазистационарного температурного поля применительно к Забайкалью и югу Дальнего Востока подтверждают данные о многочисленных деформациях на участках Байкало-Амурской и Транссибирской железнодорожных магистралей и автодороги “Амур” [Кондратьев, 2011].

Таким образом, сравнение результатов моделирования с данными наблюдений показало, что деформации дорожных насыпей широко проявляются, в том числе, в районах с устойчивым и переходным низкотемпературным типом квазистационарного температурного поля в основании дорожных насыпей. Это может быть связано со специфическими динамическими нагрузками от дорожных насыпей на мерзлые и сезоннооттаивающие грунты основания, а также с активизацией опасных криогенных процессов на прилегающей к дорогам территории в результате нарушения растительного покрова, избыточного снегонакопления или подтопления территории.

Выводы:

— продемонстрировано наличие значительных региональных различий в динамике изменения гео-

криологической обстановки в основаниях насыпей, что определяется в первую очередь температурным состоянием мерзлых грунтов;

— по результатам моделирования выделены 4 основных типа квазистационарного состояния температурного поля в основаниях дорожных насыпей, которые определяются сочетанием основных факторов природной среды; техногенное изменение последних влияет на термодинамический баланс многолетнемерзлых пород;

— апробация результатов моделирования показала их высокую сходимость с результатами натурных наблюдений. Для уточнения примененной модели необходима разработка методики учета метеорологического переотложения снега на обочинах и техногенного подтопления дорожной насыпи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Архив климатических данных. URL: <http://climate-base.ru> (дата обращения: 25.11.2014).

Бедрин Е.А., Дубенков А.А. Анализ причин сверхнормативных деформаций на автомобильных дорогах в условиях высокотемпературной мерзлоты (по результатам мониторинга автомобильной дороги “Амур”) // Вестн. СибАДИ. 2014. Вып. 3 (37). С. 48–52.

Bedrin E.A., Dubenkov A.A. Analiz prichin sverhnormativnyh deformacij na avtomobil'nyh dorogah v uslovijah vysokotemperaturnoj merzloty (po rezul'tatam monitoringa avtomobil'noj dorogi “Amur”) [Analysis of reason above-level road deformation on high-temperature permafrost (monitoring road “Amur” results)], Vestnik SibADI, 2014, V. 3 (37), pp. 48–52 (in Russian).

Бедрин Е.А., Завьялов А.М., Завьялов М.А. Обеспечение термической устойчивости основания земляного полотна на автомобильных дорогах. Омск: СибАДИ, 2012. 178 с.

Bedrin E.A., Zav'jalov A.M., Zav'jalov M.A. Obespechenie termicheskoj ustojchivosti osnovanija zemljanogo polotna avtomobil'nyh dorog [Maintenance of road basement temperature stability], SibADI, Omsk, 2012, 178 p. (in Russian).

Ведомственные строительные нормы. ВСН 61-89. Изыскания, проектирование и строительство железных дорог в районах вечной мерзлоты. М.: ВПИТрансстрой Мин-ва транспортного строительства, 1990. 208 с.

Vedomstvennye stroitel'nye normy. VSN 61-89. Izyskanija, proektirovanie i stroitel'stvo zheleznyh dorog v rajonah vechnoj merzloty [Departmental building regulations 61-89. Engineering investigations, design and construction railroads on permafrost regions], VPIITransstroja ministerstva transportno-gosudarstvennogo stroitel'stva, Moscow, 1990, 208 p. (in Russian).

Исаков В.А. Основные типы и причины развития деформаций автомобильных и железных дорог в Норильском промышленном районе // Мат-лы X Междунар. конф. по мерзлотоведению (ТИСОР) “Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире”. Т. 3. Тюмень: Печатник, 2012. С. 207–211.

Isakov V.A. Osnovnye tipy i prichiny razvitija deformacij avtomobil'nyh i zheleznyh dorog v Noril'skom promyshlennom rajone [Main types and causes of deformations on railways and roads in the Norilsk industrial district], Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost “Re-

sources and Risks of Permafrost Areas in a Changing World”, Vol. 2, The Northern Publisher, Salekhard, 2012, pp. 133–136.

Исаков В.А., Наумов М.С., Телков Ф.С. Обследование грунтов основания на направлении Улак–Эльга // Путь и путевое хозяйство. 2013. № 4. С. 28–31.

Isakov V.A., Naumov M.S., Telkov F.S. Obsledovanie gruntov osnovanija na napravlenii Ulak–Jel'ga [Investigation of railway Ulak–Jel'ga ground basement], Put' i putevoe hozjajstvo, 2013, no 4, pp. 28–31 (in Russian).

Исаков В.А., Телков Ф.С. Геокриологический мониторинг на объектах дорожной сети в криолитозоне России // Инженерные изыскания в строительстве: Мат-лы IX науч.-практ. конф. молодых специалистов. М.: ОАО “ПНИИИС”, 2013. С. 191–197.

Isakov V.A., Telkov F.S. Geokriologicheskij monitoring na ob'ektah dorozhnoj seti v kriolitozone Rossii [Monitoring of permafrost on Russian road network] Engineering investigations for construction: Proceedings of the Nine scientific-practice conference of young specialists, Moscow, ОАО “ПНИИИС”, 2013, pp. 191–197 (in Russian).

Каган А.А., Кривоногова Н.Ф. Многолетнемерзлые скальные основания сооружений. Л.: Стройиздат, 1978. 208 с.

Kagan A.A., Krivonogova N.F. Mnogoletnemerzlye skal'nye osnovanija sooruzhenij [Permafrost bedrock foundation], Stroyizdat, Leningrad, 1978, 208 p. (in Russian).

Канаев Ф.С. Инженерные изыскания на крайнем севере на основе ландшафтно-геокриологического метода. М.: Центр инжиниринга, маркетинга и рекламы “ТИМР”, 1994. 139 с.

Kanaev F.S. Inzhenernye izyskanija na krajnem severe na osnove landshaftno-geokriologicheskogo metoda. [Engineering investigations in arctic regions on a basis of landscape-geocryological methods], Centr inzhiniringa, marketinga i reklamy “TIMR”, Moscow, 1994, 139 p. (in Russian).

Кондратьев В.Г. Новые методы и технологии управления состоянием грунтов тела и основания земляного полотна железной дороги в криолитозоне // Геотехника. 2011. № 2. С. 28–39.

Kondrat'ev V.G. Novye metody i tehnologii upravlenija sostojaniem gruntov tela i osnovanija zemljanogo polotna zheleznoj dorogi v kriolitozone [New methods and technology

of control roadbed conditions in permafrost zone], *Geotekhnika*, 2011, no 2, pp. 28–39 (in Russian).

Криолитологическая карта СССР. 1:4 000 000, М.: ГУГК, 1985.

Kriolitologicheskaja karta SSSR. 1:4 000 000 [USSR Cryolitologic map 1:4 000 000], GUGK, 1985 (in Russian).

Кудрявцев В.А., Гарагуля Л.С., Кондратьева К.А. и др. Методика мерзлотной съемки. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1979. 358 с.

Kudryavcev V.A., Garagulya L.S., Kondrat'eva K.A. et al. Metodika merzlotnoj s'emki [Methods of permafrost survey], Izd-vo Mosk. un-ta, Moscow, 1979, 358 p. (in Russian).

Лисицына О.М., Минайлов Г.П., Романовский Н.Н., Пармузин С.Ю. Линейное строительство // Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М.: Недра, 1989. С. 452–457.

Lisicyana O.M., Minajlov G.P., Romanovskij N.N., Parmuzin S.Ju. Linejnoe stroitel'stvo [Linear construction], Geokriologija SSSR. Vostochnaja Sibir' i Dal'nij Vostok, Moscow, Nedra, 1989, pp. 452–457 (in Russian).

Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / Под ред. В.А. Кудрявцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. 431 с.

Osnovy merzlotnogo prognoza pri inzhenerno-geologicheskikh issledovaniyah / Pod red. V.A. Kudryavceva [Principals of geocryological forecast in the process of engineering-geological studies / Ed. by V.A. Kudryavcev], Izd-vo Mosk. un-ta, Moscow, 1974, 431 p. (in Russian).

Пармузин С.Ю. Тепловая инерция многолетнемерзлых горных пород и их устойчивость к изменениям внешнего теплообмена // Основы геокриологии. Ч. 6. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. С. 108–121.

Parmuzin S.Ju. Teplovaja inercija mnogoletnemerzlykh gornyh porod i ih ustojchivost' k izmenenijam vneshnego teploobmena [Thermal inertia of frozen grounds and their stability under changing external heat transfer], Osnovy geokriologii, Vol. 6, Geokriologicheskij prognoz i ekologicheskie problemy v kriolitozone / Pod red. E.D. Ershova, Izd-vo Mosk. un-ta, Moscow, 2008, pp. 108–121 (in Russian).

Региональная криолитология / Под ред. А.И. Попова. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 256 с.

Regional'naja kriolitologija / Pod red. A.I. Popova [Regional cryolithology / Ed. by A.I. Popov], Izd-vo Mosk. un-ta, Moscow, 1989, 256 p. (in Russian).

Строительные нормы и правила. СНиП 2.02.04-88. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1990. 56 с.

Stroitel'nye normy i pravila. SNiP 2.02.04-88. Osnovaniya i fundamenty na vechnomerzlykh gruntah [Construction norms and regulations. SNiP 2.02.04-88. Basement and foundation on frozen ground], CIPT Gosstroja SSSR, Moscow, 1990, 56 p. (in Russian).

Строительные нормы и правила Российской Федерации. Железные дороги колеи 1520 мм. СНиП 32-01-95. М.: Минстрой России, 1995. 45 с.

Stroitel'nye normy i pravila Rossijskoj Federacii. Zheleznye dorogi kolei 1520 mm. SNiP 32-01-95 [Construction norms and regulations of Russian Federation. Railroads with rail gage 1520 mm. SNiP 32-01-95], Minstroy Rossii, Moscow, 1995, 45 p. (in Russian).

Строительные нормы и правила. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. М.: ЦИПТ Госстроя СССР, 1987. 55 с.

Stroitel'nye normy i pravila. SNiP 2.05.02-85. Avtomobil'nye dorogi [Construction norms and regulations. SNiP 2.05.02-85. Roads], CIPT Gosstroja SSSR, Moscow, 1987, 55 p. (in Russian).

Хрусталева Л.Н. Основы геотехники в криолитозоне. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 541 с.

Hrustal'jov L.N. Osnovy geotekhniki v kriolitozone [Principals of geotechnics in permafrost zone], Izd-vo Mosk. un-ta, Moscow, 2005, 541 p. (in Russian).

Хрусталева Л.Н., Емельянов Н.В., Пустовойт Г.П., Яковлев С.В. Программа расчета теплового взаимодействия инженерных сооружений с вечномерзлыми грунтами "WARM" / Свидетельство № 940281. РосАПО, 1994.

Hrustal'jov L.N., Emel'janov N.V., Pustovojt G.P., Jakovlev S.V. Programma rascheta teplovogo vzaimodejstvija inzhenernykh sooruzhenij s vechnomerzlymi gruntami "WARM" / Svidetel'stvo № 940281 [Software for calculation thermal interaction between engineering structure and frozen grounds "WARM" / Patent N 940281], RosAPO, 1994 (in Russian).

Шаманова И.И., Титков С.Н., Максимов А.В. Техногенные изменения геокриологических условий железнодорожной линии Обская–Бованенково (полуостров Ямал) по результатам инженерно-геокриологического мониторинга // Мат-лы X Междунар. конф. по мерзловедению (TICOP): "Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире" Т. 5. Тюмень: Печатник, 2012. С. 337–339.

Shamanova I.I., Titkov S.N., Maksimov A.V. Tehnogennye izmeneniya geokriologicheskikh uslovij zheleznodorozhnoj linii Obskaya–Bovanenkovo (poluostrov Jamal) po rezul'tatam inzhenerno-geokriologicheskogo monitoringa [The anthropogenic changes in the geocryological conditions of the Obskaya-Bovanenkovo railway line (the Yamal peninsula) based on the results of the engineering and geocryological monitoring], Proceedings of the Tenth International Conference on Permafrost "Resources and Risks of Permafrost Areas in a Changing World", Vol. 4. The Fort Dialog-Iset Publisher, Tyumen, Ekaterinburg, 2012, pp. 524–525.

Шполянская Н.А. Глобальные изменения климата и эволюция криолитозоны. М., 2008. 132 с.

Shpolyanskaja N.A., Global'nye izmeneniya klimata i jevoljucija kriolitozony [Global changes and evolution permafrost zone], Moscow, 2008, 132 p. (in Russian).

Поступила в редакцию
27.11.2014

V.A. Isakov

TEMPERATURE REGIME OF ROAD BASEMENTS IN THE PERMAFROST

The main trends and causes of the transformation of geocryological situation in the basements of road embankments within the permafrost zone are discussed. The temperature fields in the basements of 11 road embankments were modeled using the WARM software with due account of particular climatic and geocryological features. The modeling results made it possible to

identify four principal types of the long-term quasi-steady state of the temperature field in the road basements, namely stable, semi-stable, semi-unstable and unstable. The main causes of their formation, i.e. additional heating of artificial surfaces, redistribution of snow cover and road embankment morphology preventing the uniform freezing of ground at its bottom, are discussed. Specific irregularities of the temperature field influence seasonal and long-term dynamics of the geocryological conditions in the natural-technogenic system of road embankment. The modeling results were tested against the results of field observations and the data from publications with high degree of convergence. The regions with stable and semi-stable types of computed quasi-steady temperature field are also subjected to the deformation of road embankments as a result of the seasonal melting of ground at their bottoms and the intensification of thermokarst and frost heave processes.

Key words: permafrost zone, road embankment, modeling, regional variability.

УДК 551.553

В.С. Дехнич¹, Н.М. Дронин²**РАСЧЕТ ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ
КОММУНАЛЬНЫМ СЕКТОРОМ Г. АСТАНА**

На основе авторской методики рассчитан вклад различных типов жилых строений в общий выброс парниковых газов (ПГ) в г. Астана. Результаты показывают, что удельные выбросы парниковых газов, связанные с производством электроэнергии и тепла для коммунального сектора, значительно выше среднемировых показателей из-за продолжительного отопительного периода и использования угля в качестве основного вида топлива. Определен ряд мер, направленных на сокращение количества выбросов ПГ от коммунального сектора. При этом часть мер направлена на сокращение количества выбросов парниковых газов со стороны производителей тепла и энергии (ТЭЦ), а другие — на уменьшение числа конечных пользователей этих услуг в коммунальном секторе. Показано, что приведение количества выбросов парниковых газов к среднемировому уровню возможно только при замене угля на природный газ в качестве основного топлива городских ТЭЦ и проведении наиболее экономичных мер по сохранению тепла и электроэнергии в коммунальном секторе.

Ключевые слова: парниковые газы, выброс, коммунальный сектор, Астана.

Введение. Города — самые крупные источники выбросов парниковых газов (ПГ) в атмосферу. Они потребляют около 80% всей продуцируемой энергии мира и выбрасывают около 75% ПГ [Города..., 2011]. В связи с этим меры по снижению глобальных выбросов ПГ должны разрабатываться в первую очередь для городских территорий. При этом основную трудность при инвентаризации выбросов и оценке эффективности предлагаемых мер составляет то, что объемы выбросов ПГ в городах определяются транспортом, представляющим собой рассеянный источник выбросов, а также потребностями коммунального сектора как конечного потребителя тепла и электроэнергии [Руководство..., 1998]. Общепринятой методики для расчетов ПГ от этих источников не существует, а публикаций на эту тему немного. Цель исследований — разработка методики расчета выбросов ПГ, связанных с коммунальным сектором на примере г. Астана — самого динамично развивающегося города Республики Казахстан.

Пионерное исследование по оценке выбросов ПГ, связанных с коммунальным сектором, проводилось в Университете Аризоны (США) [Интернет-сайт исследовательской группы “Nestia project”, 2013]. В рамках исследовательской программы оценивались выбросы ПГ на уровне отдельных кварталов и сегментов улиц таких городов США, как Индианаполис, Лос-Анджелес, Феникс. В качестве исходных данных использовались данные ГИС, базы данных которой формировались на основе статистических данных, предоставленных Агентством по охране окружающей среды США (Environmental Protection Agency). Авторам, в отличие от аме-

риканских исследователей, приходилось действовать в условиях ограниченных данных. В расчетах использованы статистические данные (материалы Агентства по статистике РК, касающиеся численности населения, потребления топлива и др.) [Интернет-сайт Агентства по статистике РК..., 2014], материалы геоинформационных систем (электронная база данных г. Астана, предоставленная ТОО “Надир”, космические снимки, предоставленные сервисом Google Earth), а также данные, полученные в ходе собственных исследований, в том числе с применением ГИС (данные о площади строений, карты вклада объектов коммунального сектора в выбросы ПГ, данные о потреблении тепловой и электроэнергии, а также газа для приготовления пищи, полученные в результате обработки платежных документов), методики расчета выбросов ПГ от разных видов топлива, утвержденные Министерством охраны окружающей среды Республики Казахстан и др.

Прямые источники выбросов ПГ в г. Астана — две ТЭЦ, основным топливом которых служит экибастузский уголь. Общие выбросы ПГ, рассчитанные по стандартной методике по количеству произведенной тепловой и электрической энергии на двух ТЭЦ, составляют 32,3 млн т. Очевидной мерой сокращения выбросов ПГ города может быть перевод городских ТЭЦ на природный газ, поскольку уголь представляет собой топливо с очень большим количеством выбросов ПГ на единицу произведенной энергии. Между тем многие меры могли быть разработаны и реализованы на уровне конечных потребителей тепла и электроэнергии. Основным потребителем тепла и энергии — комму-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, магистрант; *e-mail:* vodo.ast@gmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, заведующий лабораторией, канд. геогр. н.; *e-mail:* ndronin@gmail.com

нальный сектор города, на долю которого приходится до 92% вырабатываемой на ТЭЦ энергии и тепла. Для разработки мер по снижению выбросов ПГ необходимо дифференцировать оценки потребления электроэнергии и тепла по типам жилых строений в городе.

Материалы и методы исследований. Потребление энергии тепла и газа на душу населения зависит от характера жилых строений. Поэтому на первом этапе выполнена классификация жилых строений Астаны по числу этажей и материалу постройки. Первый параметр определяет различия в потерях при доставке энергии потребителю, а второй — объем теплопотерь. В результате классификации выделено 11 групп строений: кирпичные здания, панельные строения менее 5 этажей, панельные строения более 5 этажей, монолитные строения менее 10 этажей, монолитные строения более 10 этажей, строения из железобетонного каркаса с разным типом заполнения менее 10 этажей, строения из железобетонного каркаса с разным типом заполнения более 10 этажей, строения высотой более 25 этажей, малоэтажные строения с автономными системами отопления, малоэтажные строения с централизованными системами отопления и пр.

Рассмотрение каждой группы строений в отдельности позволило выявить средние значения потребления энергии на единицу площади для указанных групп, которое в дальнейшем использовалось для расчета общего количества выбросов ПГ, связанных с функционированием зданий. Данные о материалах и способах постройки отдельных объектов города предоставлены организацией ТОО “Надир”, сфера деятельности которой — топографическая съемка и картографирование городской территории. За картографируемую единицу приняты кварталы, которые выделены с использованием ПК Arcgis по границам улиц, границам застройки (при отсутствии улиц) или по естественным границам, таким, как реки, овраги и др. В соответствии с картами и границами выделенных кварталов при помощи ПК Arcgis составлена база данных, что позволяет судить о площади каждой группы строений, приходящейся на каждый выделенный квартал. Всего выделено 540 кварталов площадью от 1,3 км² в местах наиболее плотной и дифференцированной застройки (центр старого города) до 58 км² в местах редкой и однородной застройки (дачные поселки, входящие в черту города). При помощи этих данных можно определить площадь находящихся в определенном квартале зданий каждой классификационной группы. Расчеты выполнены для каждой из 11 классификационных групп строений, причем как с автономным энергоснабжением, так и с централизованным. Для строений с автономным теплоснабжением расчеты выбросов ПГ сделаны на основе объема сжигаемого топлива в них за год, а для зданий с централизованным теплоснабжением определялась доля выбросов ПГ на городских ТЭЦ, которая связана с их электро- и теплоснабжением.

На следующем этапе определяли потребление тепловой энергии, электроэнергии и объем природного газа, сжигаемого для приготовления пищи (на 1 м² или на 1 человека). Для этого собраны данные счетов об оплате коммунальных услуг жителями разных категорий жилых зданий. Исходя из установленной таким образом удельной массы сжигаемого газа или потребленной электроэнергии на жителя рассчитан средний годовой объем сжигаемого бытового газа или потребленной энергии, приходящийся на единицу площади строения, по формуле

$$p_{\text{п}} = p_{\text{ч}} n_{\text{п}}, \quad (1)$$

где $p_{\text{п}}$ — годовой объем сжигаемого бытового газа (т)/потребленная электроэнергия (кВт·ч), приходящиеся на единицу площади строения (м²); $p_{\text{ч}}$ — годовой объем сжигаемого бытового газа (т)/потребленная электроэнергия (кВт·ч), приходящиеся на человека; $n_{\text{п}}$ — среднее число жителей, приходящееся на единицу площади строения (человек/м²).

Удельное теплопотребление для строений с централизованной системой отопления определяли с помощью платежных документов по каждой категории строений. Затраты на отопление для районов частной застройки, не имеющих доступ к системе централизованного теплоснабжения, вычисляли путем опроса среди 20 жителей микрорайона Коктал. Основные виды топлива в районах частной застройки — уголь и дизельное топливо. Средние затраты угля составляют ~0,11 м³/м²·год, а затраты дизельного топлива — ~0,04 м³/м²·год. При этом 85% опрошенных жителей используют в качестве топлива уголь, 15% — дизельное топливо. Кроме того, 55% опрошенных жителей в качестве дополнительного средства отопления используют теплоэлектронагреватели (ТЭН). Однако опрошенные затруднялись указать количество электроэнергии, потребленной ТЭН.

Среднее суммарное годовое теплопотребление для каждого рассматриваемого квартала вычислялось по формуле:

$$T_i = \sum (t_{\text{сум}(j)} \cdot S_j), \quad (2)$$

где T_i — суммарное годовое теплопотребление/энергопотребление/объем газа, сожженного для приготовления пищи i -го квартала (Гкал); $t_{\text{сум}(j)}$ — суммарное годовое удельное теплопотребление (Гкал/м²)/энергопотребление (кВт·ч/м²)/объем сожженного газа (т/м²) на единицу площади j -й группы строений (сумма значений удельного теплопотребления/энергопотребления/объема сожженного газа для рассматриваемой группы строений за каждый месяц года); S_j — площадь строений j -й группы, расположенных в пределах i -го квартала (м²).

Объем выбросов ПГ, образующийся в пределах каждого рассматриваемого квартала, определен согласно инструкции [Методика..., 2013] по формуле:

$$E = M \cdot K_1 \cdot \text{ТНЗ} \cdot K_2 \cdot 44/12, \quad (3)$$

где E — годовой выброс CO_2 , т; M — фактическое потребление топлива за год (т) — показатель для тепловой и электрической энергии рассчитывали в соответствии с нормативами расхода топлива для выработки единицы энергии; в частности, для угольных ТЭЦ 0,5814 т/Ткал (или 0,005 т/кВт) [Интернет-сайт исследовательской группы “Nestia project”, 2013]; K_1 — коэффициент окисления углерода в топливе (показывает долю сгоревшего углерода); ТНЗ — теплотворное нетто-значение (Дж/т); K_2 — коэффициент выброса углерода (т/Дж); 44/12 — коэффициент пересчета углерода в углекислый газ (молекулярный вес углерода 12 г/моль, $\text{O}_2 = 2 \cdot 16 = 32$ г/моль, CO_2 44 г/моль).

Аналогично рассчитывали объем выбросов других парниковых газов:

$$E = M \cdot \text{ТНЗ} \cdot K_3, \quad (4)$$

где E — годовой выброс парникового газа (т); M — количество сжигаемого в год топлива (т); ТНЗ — теплотворное нетто-значение для сжигаемого вида топлива (Дж/т), значения, аналогичные использованным в (3); K_3 — значения коэффициента выбросов парниковых газов (CH_4 или N_2O (кг/ТДж)) равны 1 и 1,4 соответственно.

Перевод выбросов CH_4 или N_2O в CO_2 — эквивалент осуществляется путем умножения на 21 для CH_4 и на 310 для N_2O .

Результаты исследований и их обсуждение. Выбросы от рассеянных источников коммунального сектора составляют основную долю выбросов ПГ Астаны. Общее количество выбросов ПГ коммунальным сектором Астаны составляет, по расчетам авторов, ~29,7 млн т/год. Этот показатель в целом соответствует объему выбросов ПГ, рассчитанному по данным о произведенной тепловой и электрической энергии на двух ТЭЦ города [Производство..., 2013]. Общий выброс от ТЭЦ составляет 32,3 млн т. Выброс ПГ в коммунальном секторе на душу населения достигает 38 т. Этот показатель крайне высок, по сравнению с крупными городами мира (например, выбросы ПГ в Вашингтоне оцениваются в 19 т на человека), что связано с большой продолжительностью отопительного сезона и использованием угля в качестве главного топлива.

Результаты расчетов общего количества ПГ, приходящихся на каждый выделенный квартал, отражены на рис. 1, где показаны выбросы (т/км²), связанные с использованием тепла, электроэнергии и природного газа в жилом секторе города.

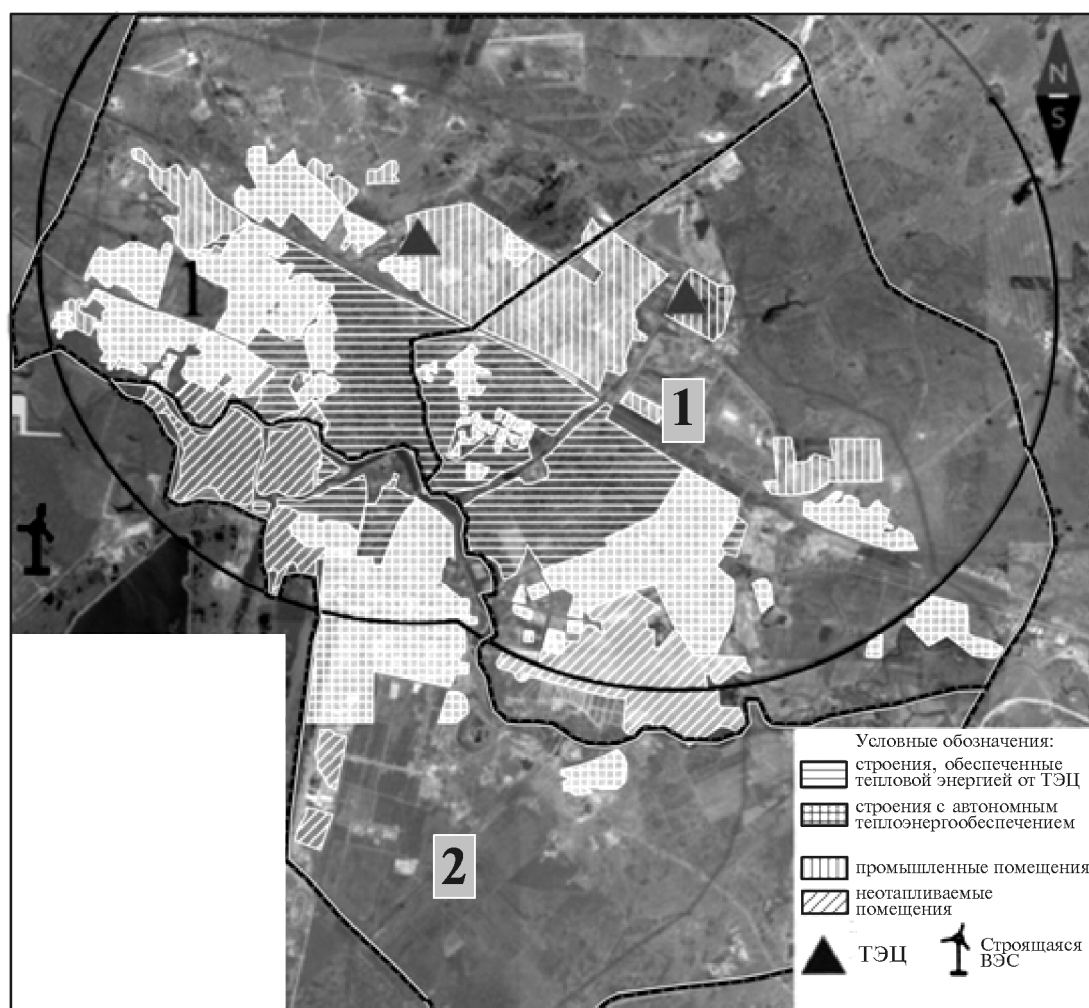


Рис. 1. Выбросы парниковых газов от рассеянных источников коммунального сектора в старом центре г. Астана

На представленной схеме заметна дифференциация вклада в выбросы в зависимости от особенностей застройки — максимальный вклад характерен для центра правобережья города, где сконцентрированы многоэтажные (5–10 этажей) здания, построенные из кирпича и панелей ранее

1990 г. Средняя концентрация выбросов соответствует северной и центральной частям Есильского района, где меньше строений, но много нежилых помещений (рис. 1, 2). Низкие значения характерны для большинства районов с малоэтажной застройкой.

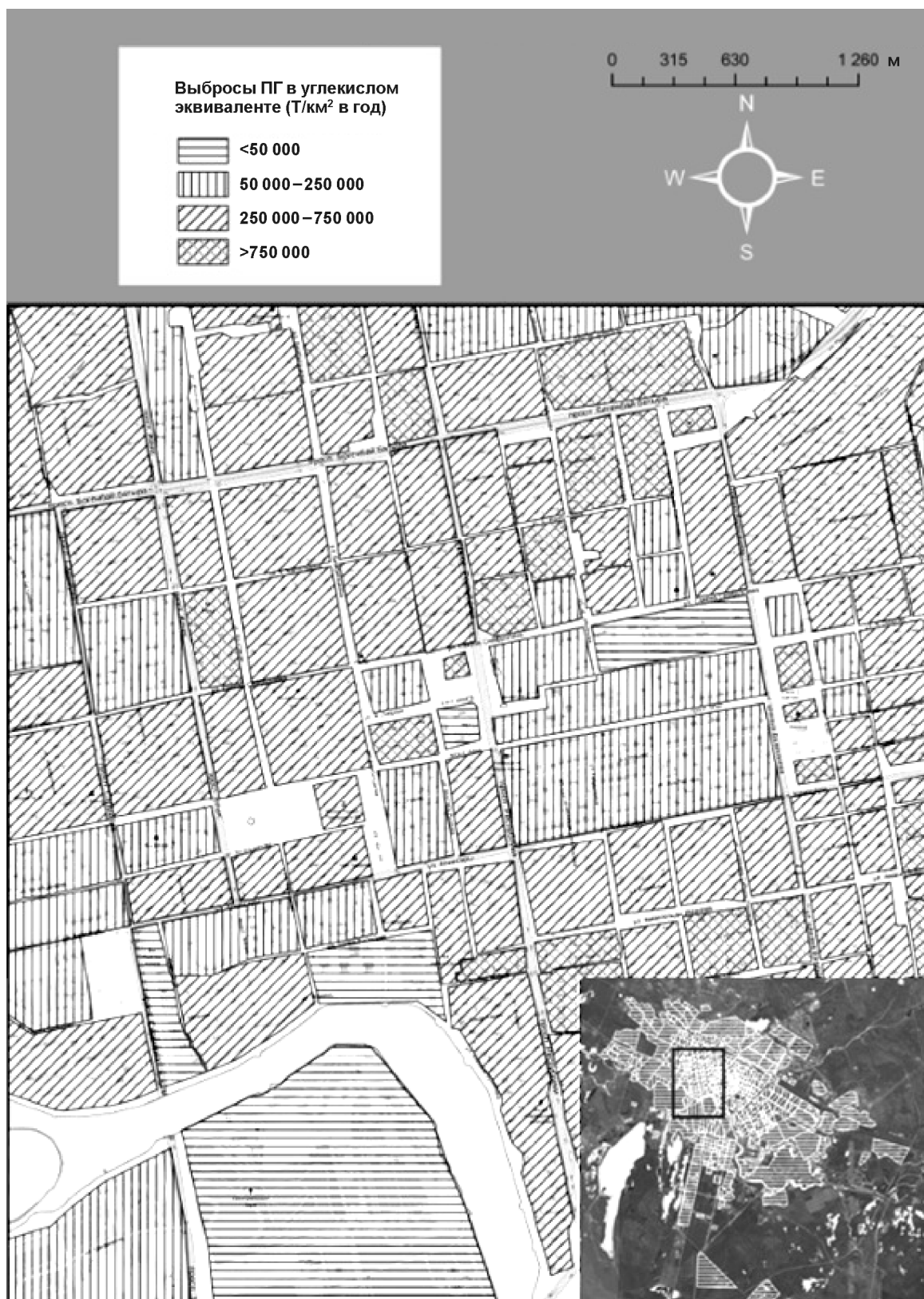


Рис. 2. Дифференциация зданий города по источнику тепловой энергии: 1–3 — административные районы: 1 — Сарыаркинский, 2 — Алматинский, 3 — Есильский

Астана — быстроразвивающийся город с высокими демографическими показателями. Согласно прогнозам население Астаны увеличится с 0,9 млн человек в 2015 г. до 1,98 млн человек в 2030 г. [Прогноз..., 2013]. С учетом особенностей современного жилого строительства введенная в эксплуатацию жилая площадь должна увеличиться в 3 раза — с 1,7 млн м² в 2015 г. до 5,2 млн м² в 2030 г. Потребление энергии в коммунальном секторе также увеличится в 3 раза. В результате объем выбросов ПГ может возрасти в 2 раза и более и достичь 64 млн т в 2030 г.

Снизить выброс ПГ можно с помощью перевода ТЭЦ города с угля на природный газ. Согласно стандартным методикам уменьшение выбросов ПГ на 2030 г. составит 11,6 млн т (или 33,9%) по сравнению с трендовым сценарием, когда ТЭЦ продолжают работать на угле. Несмотря на высокую стоимость осуществления этого проекта, он находится на стадии принятия решения. Но Астана имеет большой потенциал к сокращению выбросов ПГ от рассеянных источников. В качестве первоочередных мер авторы рассматривали установку регуляторов температуры радиаторов и приборов учета потребления природного газа на бытовые нужды, замену обычных окон стеклопакетами, субсидирование на приобретение энергосберегающих ламп, строительство ветровой электростанции в городе, окрашивание крыш в светлый цвет (для увеличения альбедо и снижения расходов на охлаждение помещений). Оценки снижения выбросов ПГ в результате осуществления каждой из этих мер по сравнению со сценарием, не предусматривающим их принятия, приведены в таблице.

Например, при рассмотрении меры “строительство ветровой электростанции” установлено, что ветровая электростанция (ВЭС) мощностью 41 МВт позволит сократить потребление угля на ТЭЦ на 70 тыс. т/год [Ветровая..., 2008], на основании этого по указанной выше методике рассчитано возможное сокращение выбросов ПГ. Аналогично рассчитывался эффект от замены остекления на стеклопакеты в существующих строениях. Современные стеклопакеты способны сократить теплопотери через окна на 20% (при этом теплопотери через окна составляют ~60% всех теплопотерь строения). Внедрение льгот при оплате отопления жилых помещений для строений с энергоэффективными стеклопакетами, которые позволяют возместить стоимость стеклопакета за 3 года, может привести к замене 20% стеклопакетов к 2030 г. (1,3% в год от уровня 2015 г.). При этом будет происходить сокращение теплопотребления жилыми домами на 1,04% в год (80% от 1,3% зданий).

Наибольшую эффективность внесут замена стеклопакетов в существующих строениях и установка приборов учета потребления природного газа на бытовые нужды; наименее эффективно использование энергосберегающих ламп. В идеальном сценарии реализации всех рассмотренных мер в коммунальном секторе выбросы ПГ к 2030 г. составят 49,9 млн т, а не 64 млн т. Таким образом, увеличение выбросов ПГ составит 68%, а не 115%, как предусматривает трендовый сценарий. Количество выбросов ПГ на душу населения к 2030 г. уменьшится с 38 до 25 т, что, однако, остается относительно высоким показателем.

Сравнение эффективности мер по сокращению потребления тепла, электроэнергии и природного газа в коммунальном секторе

Мера	Сокращение выбросов ПГ к 2030 г. в млн т, в скобках — относительно трендового сценария, %	Вероятность применения меры
Использование энергоэффективных материалов в строительстве	0,7 (2)	Высокая, реализация возможна при внедрении стандартов строительства, не требует существенных затрат
Повышение эффективности приборов отопления	1,1 (3,2)	Высокая; возможна путем внедрения стандартов строительства
Замена стеклопакетов в существующих строениях	6,4 (18,7)	Средняя; связана с существенными затратами
Субсидирование приобретения энергосберегающих ламп	0,07 (0,2)	Крайне низкая; при достаточно высоких затратах низкая экологическая эффективность
Строительство ветряной электростанции	0,9 (2,6)	Средняя; предложение о строительстве — часть программы развития ООН (в настоящее время проект не осуществляется из-за проблем с выделением территории под строительство)
Установка приборов учета потребления природного газа на бытовые нужды	3,8 (11,1)	Высокая; возможна путем внедрения стандартов
Окрашивание крыш в светлый цвет	1,1 (3,2)	Низкая; внедрение требует высоких затрат при относительно низкой эффективности

Выводы:

— разработанная методика позволила определить общее количество выбросов ПГ от рассеянных источников в углекислом эквиваленте в г. Астана, которое составляет ~29,7 млн т/год. Это значение соответствует объему выбросов ПГ, рассчитанному по данным о произведенной тепловой и электрической энергии на двух ТЭЦ города, что подтверждает применимость методики;

— Астана имеет один из самых высоких показателей количества выбросов парниковых газов на душу населения (38 т/год). Основные причины высокого удельного выброса ПГ — большие энергозатраты на отопление жилых помещений, а также использование в качестве топлива угля, который имеет высокий коэффициент выделения ПГ на единицу произведенной энергии;

— Астана имеет определенный потенциал для снижения удельных выбросов ПГ за счет более эффективного использования тепла, электроэнергии и природного газа в коммунальном секторе. Наибольшее значение могут иметь замена стеклопакетов в существующих строениях и установка приборов учета потребления природного газа. Эти меры могут сократить выбросы ПГ на 47% к 2030 г. по сравнению с трендовым сценарием, по эффективности они сравнимы с переводом городских ТЭЦ с угля на природный газ. Однако приведение показателя выбросов ПГ на душу населения к среднемировым возможно только при замене угля на природный газ в качестве основного топлива городских ТЭЦ и проведении указанных мер по сохранению тепла и электроэнергии в коммунальном секторе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**REFERENCES**

Ветровая электростанция вблизи г. Астана (Проект), прединвестиционное исследование. Алматы, 2008.

Vetrovaja jelektrostantsija vblizi g. Astana (Proekt), predinvesticionnoe issledovanie [Wind power station near the city of Astana (the Project), preinvestment research], Almaty, 2008 (in Russian).

Города и изменение климата: Направления стратегии // Глобальный доклад о населенных пунктах. Л.: ООН ХАБИТАТ, 2011.

Goroda i izmenenie klimata: Napravlenija strategii [Cities and Climate Change: Areas of strategy] Global'nyj doklad o naselennyh punktah, Leningrad, OON HABITAT, 2011 (in Russian).

Интернет-сайт Агентства по статистике Республики Казахстан. URL: www.stat.kz (дата обращения: 04.07.2014).

Интернет-сайт исследовательской группы "Hestia project". URL: <http://hestia.project.asu.edu/> (дата обращения: 04.07.2013).

Методика расчета выбросов парниковых газов от деятельности по сжиганию топлива, утечек при добыче, хранении и транспортировке угля, нефти и газа, производстве чугуна, стали, ферросплавов, глинозема, алю-

миния и цемента. URL: www.eco.gov.kz/files/pmrk-21-08-2013-5-rus.htm (дата обращения: 04.07.2013).

Производство промышленной продукции в секции электроснабжение, подачи газа, пара и воздушного кондиционирования в Республике Казахстан за период с 1990 по 2013 г. по данным Агентства по статистике РК. URL: <http://www.stat.gov.kz/getImg?id=ESTAT083304> (дата обращения: 04.07.2013).

Прогноз среднегодовой численности регионов Республики Казахстан до 2050 г. по данным Агентства по статистике РК. URL: <http://www.stat.gov.kz/getImg?id=ESTAT075159> (дата обращения: 04.07.2013).

Руководство по оценке выбросов из неточечных источников // Сер. мат-лов ЮНИТАР по технической поддержке РВПЗ. Вып. 3. Женева, 1998. 71 с.

Rukovodstvo po ocenke vybrosov iz netochechnyh istochnikov [Guidelines for estimating emissions from non-point sources], Ser. mat-lov JuNITAR po tehnicheckoj podderzhke RVP3, V. 3, Geneva, 1998, 71 p. (in Russian).

Поступила в редакцию
05.12.2014

V.S. Dekhnich, N.M. Dronin

ESTIMATE OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS FROM THE MUNICIPAL SECTOR SOURCES IN THE TOWN OF ASTANA

The contribution of different types of residential houses to the total greenhouse gases emission in the town of Astana was calculated basing on the author's calculation procedure. The results show that specific emissions of the greenhouse gases due to the production of electricity and heat for the public sector significantly exceed the world averages because of a long heating period and the use of coal as a principal fuel. We suggested a set of measures for the reduction of the GHG emissions from the municipal sector. Part of them deals with the reduction of the greenhouse gases emissions by producers of heat and power (CHP plants) while other are aimed at the end users of these services within the municipal sector. It is shown that the reduction of greenhouse gases emissions down to the world averages is only possible by replacing coal with natural gas as a principal fuel for the urban GHP plants and realizing the most cost-effective measures for saving heat and electricity at the municipal sector.

Key words: greenhouse gases, emissions, municipal sector, Astana.

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 551.466.6

А.А. Иванова¹, В.С. Архипкин², С.А. Мысленков³, Г.В. Шевченко⁴МОДЕЛИРОВАНИЕ ШТОРМОВЫХ НАГОНОВ
В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ О. САХАЛИН⁵

Выполнено моделирование штормовых ситуаций в Охотском море в 1990 и 1995 гг. с использованием модели ADCIRC. Модель адаптирована для Охотского моря, для чего на основе данных об абсолютных высотах подводного рельефа была создана нерегулярная расчетная сетка с разрешением до 500 м. В качестве вынуждающих сил использованы данные реанализа NCEP/CFSR ветра и атмосферного давления. Проведено сравнение рассчитанных значений высоты уровня моря с данными инструментальных наблюдений в пунктах на о. Сахалин. На основе результатов численного моделирования оценен вклад атмосферного давления в формирование штормовых нагонов, рассчитаны статистические параметры для рядов (корреляция, среднеквадратическое отклонение, систематическая ошибка). Выявлено пространственное распределение максимумов уровня за все время расчета — наибольшие значения подъема уровня в обоих случаях зафиксированы в заливах Сахалинском и Терпения.

Ключевые слова: штормовые нагоны, численное моделирование, уровень моря, Охотское море.

Введение. Штормовые нагоны — одно из самых опасных природных явлений, которое уносит больше всего жизней на Земле [Любицкий и др., 2013]. К 2014 г. собрано и проанализировано колоссальное количество данных о механизмах их формирования, предпосылках возникновения, о районах, подверженных штормовым нагонам, созданы системы прогнозирования нагонов [Ашик, 2005; Glahn et al., 2009; Higaki et al., 2007; SLOSH, 2014]. Во многих странах осуществляются мероприятия по защите населения и инфраструктуры от воздействия нагонов. Однако нельзя сказать, что на всех побережьях, где наблюдаются штормовые нагоны, используют эффективные меры по предотвращению ущерба. Чаще всего остаются без систем защиты от последствий нагонов побережья стран третьего мира, где не выделяется достаточно средств для проведения предохранительных мероприятий, а также относительно малонаселенные районы, к которым в России относится о. Сахалин.

До 90-х гг. прошлого века на Сахалине принято было считать, что нагоны опасны лишь в северной малонаселенной части острова, где их величина составляет 2 м и более. Однако сильнейшие нагоны 10–11 ноября 1990 г. и 8–9 ноября 1995 г. заставили пересмотреть сложившееся мнение. Благодаря сведениям об ущербе от этих нагонов, приведенным в работах [Като и др., 2001; Шевченко и др., 1994],

можно с полной уверенностью утверждать, что и для южных частей о. Сахалин, где проживает основная часть населения, штормовые нагоны также могут быть бедствием. В первую очередь от нагонов страдают морские порты, а также железнодорожные и автомобильные магистрали, которые на значительном протяжении прижаты горами к побережью, — дорожное полотно размывается штормовыми волнами, а берегозащитные укрепления при сильных нагонах разрушаются.

За последние 20 лет в России уменьшилось число и без того немногочисленных постов, где проводятся наблюдения за уровнем моря *in situ*, поэтому практически единственным доступным методом для ретроспективного анализа и прогноза нагонов становится моделирование.

Уровенный режим Охотского моря исключительно сложен для изучения вследствие различия синоптических процессов в разных районах моря, а также приливных движений, ледовых условий, рельефа дна и конфигурации берегов [Гидрометеорология..., 1998]. Основными факторами, вызывающими нагоны в Охотском море, считаются ветер (непосредственное перемещение воды через касательное напряжение ветра) и атмосферное давление (понижение уровня моря при повышении давления, называемое эффектом “обратного барометра”) [там же].

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, аспирант; *e-mail:* lapoul@gmail.com

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

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с.; *e-mail:* stasoccean@gmail.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра океанологии, ст. науч. с.; *e-mail:* stasoccean@gmail.com

⁵ Разработка методики исследования выполнена при финансовой поддержке РНФ (грант № 14-37-00038).

Не так много работ, посвященных изучению и прогнозированию штормовых нагонов в районе о. Сахалин, — в большинстве случаев использовались эмпирические [Куликова и др., 1965] или статистические методы [Герман и др., 1986; Като и др., 2011; Савельев, 1984]. Гидродинамические методы расчетов нагонов применялись для юго-восточного и восточного побережий Сахалина и Сахалинского залива, где опасные подъемы уровня затрудняют их хозяйственное освоение. Большой вклад в создание моделей для этих районов внес Ю.В. Любицкий [Любицкий, 1983; Любицкий, 1986; Любицкий и др., 2010]. В ходе численных экспериментов удалось определить некоторые особенности формирования штормовых нагонов в указанном районе. Однако большой пространственный шаг расчетной сетки (7 км и более в разных экспериментах) не позволяет составить детальное представление о колебаниях уровня и воздействии нагонов на небольшие по протяженности участки побережья, особенно в районах населенных пунктов.

Основная цель работы — проверить применимость модели ADCIRC для моделирования штормовых нагонов на о. Сахалин. Для этого авторами выполнено моделирование нескольких штормовых ситуаций, которые привели к значительным подъемам уровня моря. Качество модели оценивалось на основании сравнения полученных результатов с данными наблюдений.

Материалы и методы исследований. Нами использована модель ADCIRC (Advanced Circulation model) [ADCIRC], разработанная в Университете Северной Каролины (Чапел Хилл). Это высоко-развитая компьютерная программа для решения уравнений движения жидкости на вращающейся Земле. Уравнения формулируются с учетом гидро-

статического приближения и приближения Буссинеска, а затем дискретизируются в пространстве с помощью метода конечных элементов и во времени с использованием метода конечных разностей. Модель ADCIRC можно применять как в качестве двухмерной модели, интегрируемой по глубине, так и в качестве трехмерной модели. В любом случае превышение уровня получается из решения интегрированного по глубине уравнения неразрывности в виде обобщенного уравнения волн и неразрывности (GWCE, Generalized Wave-Continuity Equation). Скорость рассчитывается из уравнений движения, все нелинейные члены сохраняются [Dietrich et al., 2012].

Исходным материалом для создания расчетной сетки послужили данные об абсолютных высотах рельефа (Gridded Global Relief Data, ETOPO2 Ver. 2) с разрешением 2 минуты [National Geophysical Data Center] — всего 550 516 точек. Кроме того, для части Амурского лимана, Татарского пролива и пролива Невельского проводилась ручная оцифровка топографических карт ГосГИС центра (ГГЦ) в масштабе 1:200 000 [Карты..., 2014]. Это было сделано для повышения точности батиметрии в узком проливе — связующем звене между Японским и Охотским морями. При расчетах использована нерегулярная сетка. Поскольку наибольший интерес представляет прибрежная часть о. Сахалин, то для нее и установлен наименьший размер ячеек — ~500 м (рис. 1, А). Для материковой береговой линии и крупных островов (Хоккайдо, Курильские о-ва) размер ячеек составил 5–8 км, для двух протяженных открытых границ — 7–10 км, для береговой линии небольших островов и коротких открытых границ — 2–4 км, для береговой линии о. Сахалин — 500 м. В открытой части моря и у материкового берега разрешение составило ~9–10 км (рис. 1, Б).

Характеристики пунктов наблюдений

Пункт	Координаты, с.ш., в.д., град.	Параметры	Штормовые ситуации, годы
Углегорск	49,076 142,074	уровень моря, скорость ветра, атмосферное давление	1990, 1995
Поронайск	49,217 143,100	то же	1990, 1995
Стародубское	47,417 142,850	— " —	1990, 1995
Корсаков	46,650 142,767	— " —	1990, 1995
Холмск	47,050 142,050	— " —	1990, 1995
Невельск	46,685 141,859	уровень моря	1990
Набиль	51,509 143,275	то же	1995
Де-Кастри	51,467 140,773	— " —	1995

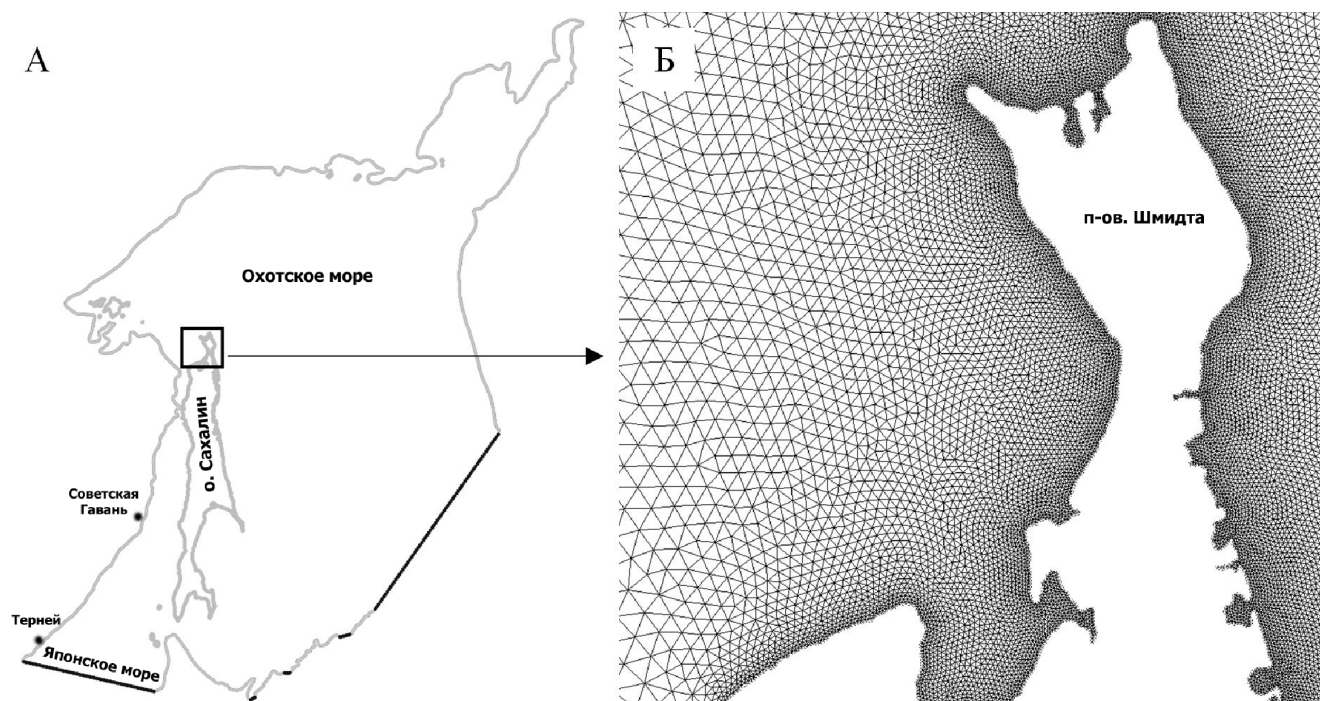


Рис. 1. Район исследования: А — расчетный полигон, открытые границы показаны темно-серым; Б — пример нерегулярной расчетной сетки

Из вынуждающих сил задавались поля атмосферного давления на уровне поверхности земли и ветра на высоте 10 м, которые были получены из реанализа NCEP/CFSR. Пространственное разрешение реанализа $\sim 0,3^\circ$, дискретность 1 ч [CISL..., 2014]. На всей области моделирования содержится 104×64 точек из реанализа.

При постановке задачи расчета штормовых нагонов с помощью модели ADCIRC было решено не учитывать приливы в расчетной области, хотя возможности модели позволяют это. Приливы Охотского моря имеют чрезвычайно сложные особенности, поэтому для успешной работы модели данные о периодических колебаниях необходимо задавать на всей области, а не в нескольких точках, для которых есть данные измерений. В связи с этим для каждой точки всех открытых границ задавали фиксированный уровень +1 см. Это позволило свести к минимуму возможные ошибки в расчетах и рассчитать штормовой нагон в чистом виде, без приливной составляющей.

Для оценки качества модели полученные с ее помощью характеристики сравнивали с данными наблюдений на уровневых постах в Углегорске, Поронайске, Стародубском, Корсакове, Холмске, Невельске, зал. Набиль (о. Сахалин) и пос. Де-Кастри (Хабаровский край). Из этих данных были вычтены периодические колебания (приливы), чтобы обеспечить корректное сравнение с данными моделирования. Дискретность измерений уровня моря 1 ч (таблица). Из статистических характеристик рассчитывали только среднеквадратическое отклонение (σ) и систематическую ошибку (δ), так как ряды данных для сравнения представляют собой

два случая длиной 2 сут, чего явно недостаточно для полного статистического анализа ошибок моделирования.

Результаты исследований и их обсуждение. Штормовой нагон 10–11 ноября 1990 г. выбран в качестве первой моделируемой ситуации, так как в результате циклона значительно повысился уровень практически на всем побережье Сахалина, причем в некоторых районах он достиг абсолютного максимума — 101 см в Невельске, 97 см в Холмске, 90 см в Корсакове [Като и др., 2001]. Инфраструктуре острова был причинен крупный ущерб, особенно тяжелыми были последствия нагона для объектов на южном и юго-западном побережье [Шевченко и др., 1994].

В 00:00 ч (время здесь и далее по Гринвичу) 9 ноября в Восточно-Китайском море на волне полярного фронта образовался циклон с давлением в центре 1010 ГПа. Углубляясь, циклон начал смещаться на север-северо-восток со скоростью 75 км/ч. В 00:00 ч 10 ноября циклон с глубиной 975 ГПа вышел к северо-западному побережью о. Хоккайдо, где произошла его регенерация на арктическом фронте. Циклон углубился еще на 15 ГПа, замедлил скорость смещения до 30 км/ч и в 12:00 ч 10 ноября находился на юге Татарского пролива с давлением в центре 960 ГПа. В течение 6 ч он был малоподвижен, а затем начал быстро заполняться и отходить на северо-восток.

В первой половине дня 10 ноября на акваториях, прилегающих к южной части Сахалина, отмечался восточный, северо-восточный ветер со скоростью 15–20 м/с, порывами до 25 м/с. После 6 ч произошел переход к южному, юго-западному ветру

со скоростью 25–30 м/с, с порывами до 37 м/с. Ветер сохранялся в течение ночи 11 ноября, а затем начал ослабевать [Като и др., 2001].

Как показывает сравнение результатов моделирования с результатами измерений на береговых постах, в преобладающем большинстве случаев именно распределение атмосферного давления и его изменение во времени играют основную роль в формировании штормового нагона (рис. 2). При использовании только ветра в качестве вынуждающей силы уровень повышается незначительно, и только в пик формирования нагона находится выше отметки 0 м, в остальное время ветер, видимо, вызывает сгон. При добавлении в расчет данных об атмосферном давлении ситуация кардинально меняется. Максимальные наблюдавшиеся значения уровня для пунктов на Охотоморской стороне Сахалина воспроизводятся моделью с точностью до 10–15 см, время наступления максимума — с точностью до 1 ч (за исключением Поронайска, для которого разница составила 4 ч, рис. 2). Высокие значения коэффициента корреляции свидетельствуют о том, что воспроизводимость колебаний уровня при нагоне высокая. Кроме того, были рассчитаны среднеквадратическое отклонение (σ) и систематическая ошибка (δ). Для Корсакова δ имеет наибольшее абсолютное значение (–0,11 м), для остальных пунктов — несколько сантиметров.

Вклад давления рассчитывали для тех промежутков времени, когда кривая результатов моделирования только с учетом ветра находилась выше 0 м (рис. 2). Для этого из значений ряда “Модель (давление и ветер)” вычитали значения ряда “Модель (только ветер)”, затем рассчитывали долю разницы в значениях ряда “Модель (давление и ветер)”. Поскольку области с положительными значениями ряда “Модель (только ветер)” охватывают меньше 1/2 от всего времени расчета, уместнее говорить о среднем максимальном вкладе атмосферного давления в формирование нагона. Во всех случаях вклад давления составляет больше половины от общего вклада и преобладает.

На рис. 3 приведено пространственное распределение максимумов повышения уровня за все время расчета (2,5 сут), видно, что в прибрежной области Сахалина наибольший нагон (~1 м) наблюдался в заливах Терпения и Сахалинском. Кроме того, можно хорошо проследить, как со стороны Японского моря нагон “гасится” близостью открытой границы, где в качестве граничных условий задан фиксированный уровень +1 см (рис. 1).

Штормовой нагон 8–9 ноября 1995 г. Как и в предыдущем случае, циклон вызвал подъем уровня моря на побережье Сахалина до рекордных значений — Поронайск — 110 см, зал. Набиль — 93 см. Параметры штормовых нагонов в ноябре 1990 г. и в 1995 г. были достаточно близки, более значительная величина ущерба в 1995 г. обусловлена, вероятно, попаданием нагона на положительную фазу прилива (в 1990 г. максимум неперiodической ком-

поненты пришелся на отрицательную фазу [Шевченко и др., 1994]).

Важная общая черта, присущая практически всем синоптическим ситуациям, при которых наблюдались опасные штормовые нагоны, повлекшие материальный ущерб, — замедление скорости смещения барических образований над прибрежными областями Сахалина. Центр циклона описывал своеобразную петлю либо оставался на месте, в результате чего устанавливался сильный и продолжительный ветер, способствующий формированию нагонных волн на отдельных участках побережья. Оказалось, что один из наиболее опасных случаев отвечает положению центра циклона в южной части Татарского пролива. При этом на юго-западном и южном побережье Сахалина преобладают нагонные юго-западные ветры, а на побережье залива Терпения и северо-востоке — восточные. Именно к таким случаям относятся штормовые ситуации, возникшие 10 ноября 1990 г. и 8 ноября 1995 г.

В 1995 г. на погоду Сахалина повлиял глубокий циклон, который 7 ноября зародился над Желтым морем на волне полярного фронта. Для развития циклона сложились крайне благоприятные термические условия — над Желтым морем и югом Японского находился воздух тропического происхождения, а над Хабаровским краем и северо-востоком Китая — арктический. Циклон, углубляясь, смещался на северо-восток. Днем 8 ноября циклон с давлением в центре 960 ГПа вышел на юг Татарского пролива, здесь в него вошел арктический фронт, произошло дальнейшее углубление циклона. Приземное давление за 3 ч снизилось на 14 ГПа. Циклон начал развиваться по высоте и замедлил скорость смещения. Над югом Сахалина он достиг стадии максимального развития, давление в центре упало до 945 ГПа, что наблюдается в крайне редких случаях. В ночь на 8 ноября, когда циклон находился над перешейком Поясок, на юг Сахалина повлияла его южная периферия. Градиент давления составил 25 ГПа на 2° широты (34 ГПа на 300 км). Началось вторжение арктического холодного воздуха. На крайнем юге юго-западный ветер усилился до 45 м/с. На мысе Крильон порывы ветра достигали 60 м/с [Като и др., 2001].

Для оценки качества расчета результаты моделирования сравнили с данными наблюдений (рис. 4). К 1995 г. были закрыты береговые посты в Корсакове, Стародубском и Невельске, поэтому, чтобы провести сравнение в наибольшем числе пунктов, были привлечены данные наблюдений за уровнем в заливе Набиль (Сахалин) и пос. Де-Кастри (Хабаровский край).

Наиболее точно штормовой нагон воспроизведен моделью для Поронайска и Углегорска — разница между наблюдаемыми и рассчитанными максимальными уровнями не превышала 5–10 см, максимумы были достигнуты почти одновременно. В заливе Набиль расчетный максимум запаздывал на несколько часов, но в целом нагон во всех 3 пунктах был достоверно воссоздан моделью.

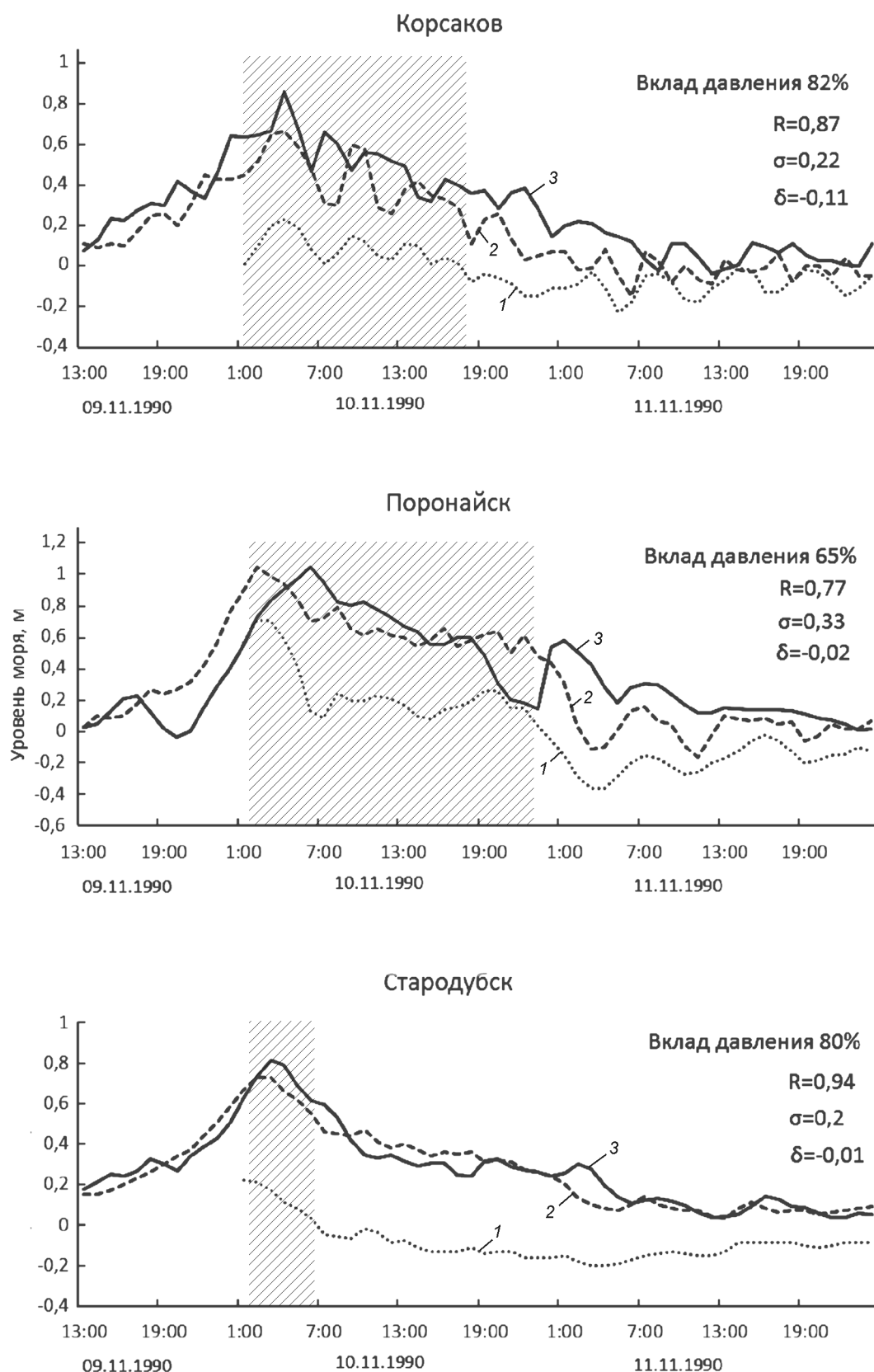


Рис. 2. Данные наблюдений и результаты моделирования штормового нагона 1990 г. в пунктах на Сахалине: 1 — модель “только ветер”, 2 — модель “давление и ветер”, 3 — наблюдения. Коэффициент корреляции (R) и систематическая ошибка (δ) рассчитаны для кривых 2 и 3, среднеквадратическое отклонение (σ) — для кривой 2. Оконтуры области, для которых рассчитан вклад атмосферного давления (пояснения см. в тексте)

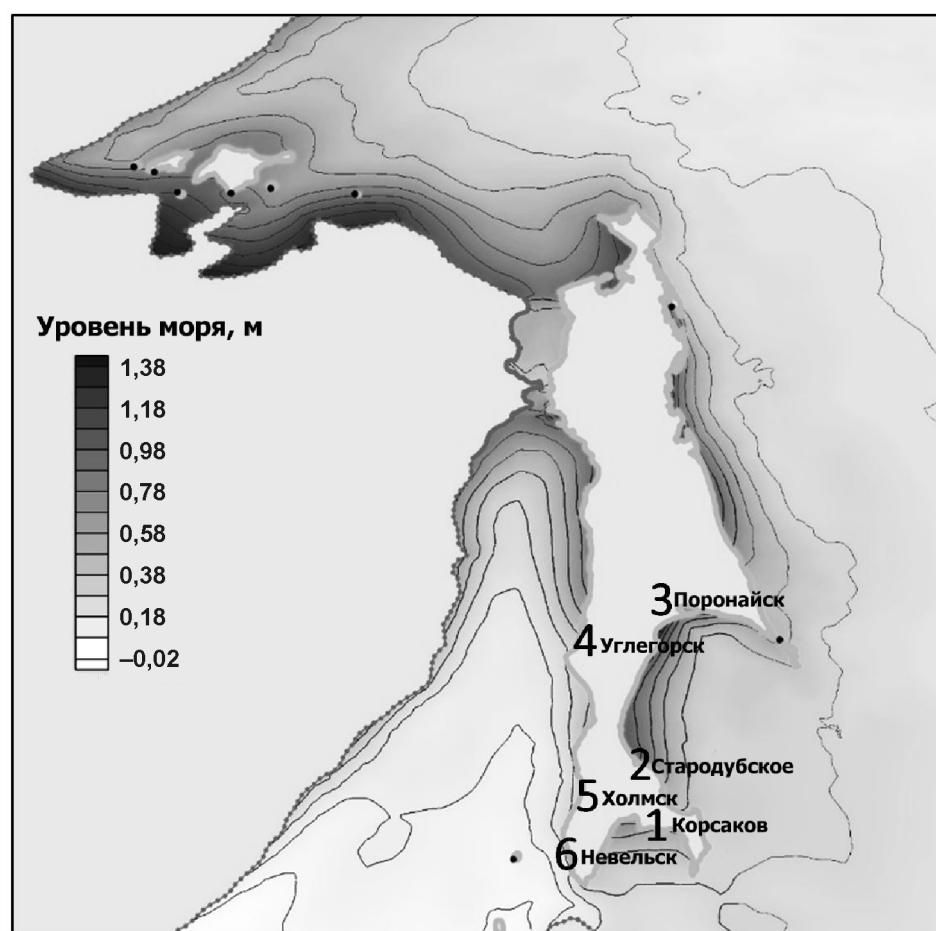


Рис. 3. Максимальный уровень воды за время расчета и пункты наблюдений за уровнем, для которых производилось сравнение с данными моделирования: 1 — Корсаков, 2 — Стародубское, 3 — Поронайск, 4 — Углегорск, 5 — Холмск, 6 — Невельск

Что касается вклада атмосферного давления в формирование нагона, то можно говорить о его преобладающем значении. Для Углегорска подобные вычисления не проводили, поскольку у ряда “Модель (только ветер)” практически в течение всего цикла расчетов сохранялись отрицательные значения.

На рис. 5 показано распределение максимального уровня воды, достаточно похожее по сравнению с нагоном в ноябре 1990 г., что подтверждает схожую природу этих редких по силе циклонов, следствием которых стали сильнейшие подъемы уровня.

Выводы:

— модель ADCIRC адаптирована к условиям Охотского моря, создана неструктурированная расчетная сетка с высоким (500 м) разрешением в прибрежных областях;

— в ходе исследований доказано, что использование модели ADCIRC в условиях Охотского моря оправданно, расчеты достоверно воспроизводят данные инструментальных измерений положения уровня моря;

— выявлено преобладающее влияние атмосферного давления на нагонные колебания уровня (вклад >65% для всех пунктов);

— созданную технологию ретроспективного анализа штормовых нагонов можно использовать и для прогноза нагонов, если в качестве вынуждающих сил задавать прогностические поля ветра и давления. Однако качество прогнозов, как правило, хуже реанализа, поэтому необходимо отдельно оценивать качество прогнозов. Планируется добавить в модель приливные колебания, что позволит учитывать все факторы, обуславливающие изменение уровня моря.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Ашик И.М. Численный гидродинамический метод прогноза колебаний уровня в юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского моря // Результаты испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических прогнозов. № 31. М.: Изд-во Метеоагентства Росгидромета, 2005. С. 85–103.

Ashik I.M. Chislennyj gidrodinamicheskij metod prognoza kolebanij urovnja v jugo-vostochnoj chasti Barenceva i jugo-zapadnoj chasti Karskogo morja [The numerical hydrodynamic method of forecasting fluctuations in the south-eastern part of the Barents Sea and the southwestern part of the Kara Sea], Informacionnyj sbornik no 31, Rezul'taty

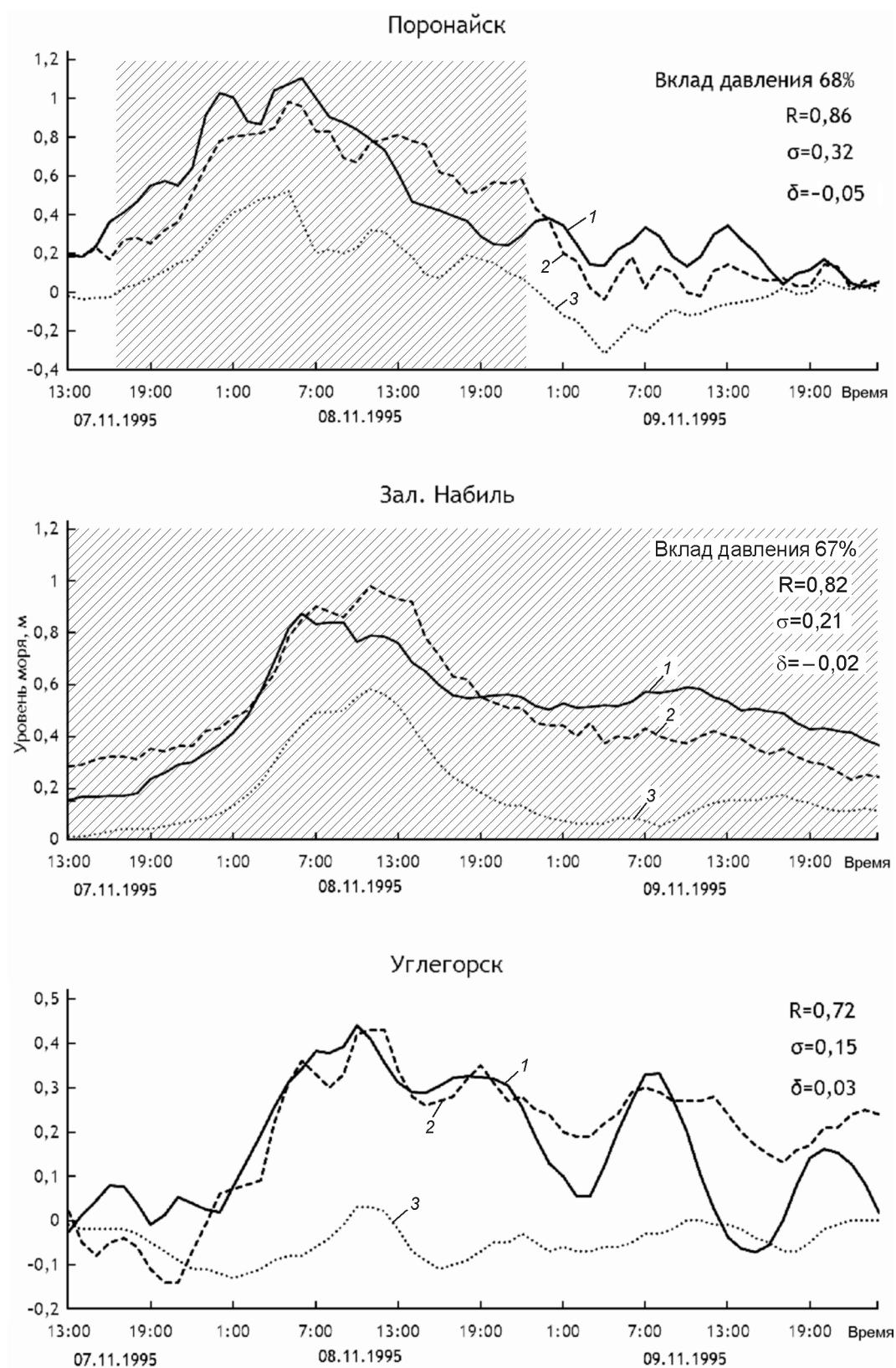


Рис. 4. Данные наблюдений и результаты моделирования штормового нагона 1995 г. в пунктах на Сахалине: 1 — наблюдения, 2 — модель “ветер и давление”, 3 — модель “только ветер”. Коэффициент корреляции (R) и систематическая ошибка (δ) рассчитаны для кривых 1 и 2, среднеквадратическое отклонение (σ) — для кривой 2. Оконтурены области, для которых рассчитан вклад атмосферного давления

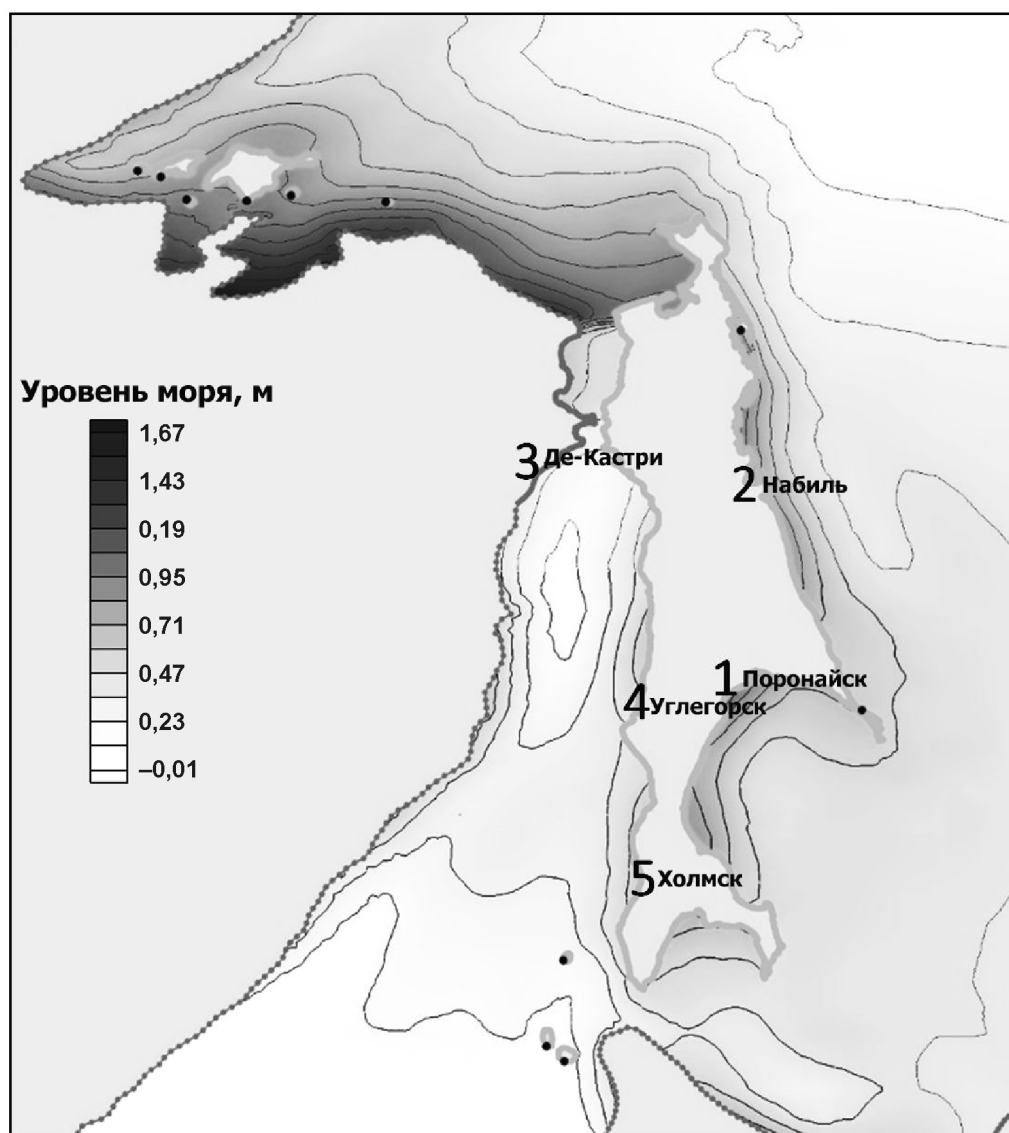


Рис. 5. Максимальный уровень воды за время расчета и пункты наблюдений за уровнем, для которых производилось сравнение с данными моделирования: 1 — Поронайск, 2 — залив Набиль, 3 — Де-Кастри, 4 — Углегорск, 5 — Холмск

ispytaniy novykh i usovershenstvovannykh metodov gidrometeorologicheskikh prognozov, Izdatel'stvo Meteoagentstva Rosgidrometa, Moscow, 2005, pp. 85–103 (in Russian).

Герман В.Х., Савельев А.В. Расчет штормовых нагонов в Охотском море методом спектральной регрессии // Океанология. 1986. Т. 26, вып. 3. С. 409–415.

German V.H., Savel'ev A.V. Raschet shtormovykh nagonov v Ohotskom more metodom spektral'noj regressii [Calculation of storm surge in the Sea of Okhotsk by spectral regression], Okeanologiya, 1986, Vol. 26, no 3, pp. 409–415 (in Russian).

Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. 9. Охотское море. СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. 342 с.

Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej. Ohotskoe more [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas, The Sea of Okhotsk], Vol. 9, Gidrometeoizdat, Saint-Petersburg, 1998, 342 p. (in Russian).

Карты всего мира. URL: <http://loadmap.net/> (дата обращения: 14.04.2014).

Karty vsego mira [Maps of the world]. URL: <http://loadmap.net/> (Accessed: 14.04.2014) (in Russian).

Като Э., Любичкий Ю.В., Шевченко Г.В. Экстремальные высоты штормовых нагонов на побережье о. Сахалин // Мореходство и морские науки. 2011. Избр. докл. Третьей Сахалинской региональной морской научн.-техн.

конф. (15–16 февраля 2011 г.) // Под ред. В.Н. Храмушина. Южно-Сахалинск: СахГУ, 2011. С. 177–193.

Kato J., Ljubickij J.V., Shevchenko G.V. Jekstremal'nye vysoty shtormovykh nagonov na poberezh'e o. Sahalin [Extreme height of storm surges on the coast of Sakhalin Island], Morehodstvo i morskije nauki, Izbrannye doklady Tret'ej Sahalinskoj regional'noj morskoy nauchno-tehnicheskoy konferencii (15–16 fevralja 2011 g.), SahGU, Juzhno-Sahalinsk, 2011, pp. 177–193 (in Russian).

Като Э., Миськов О.А., Шевченко Г.В. Штормовые нагоны на побережье острова Сахалин в конце XX века // Динамические процессы на шельфе Сахалина и Курильских островов. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2001. С. 160–176.

Kato J., Mis'kov O.A., Shevchenko G.V. Shtormovye nagony na poberezh'e ostrova Sahalin v konce XX veka [Storm surges on the coast of Sakhalin Island in the late twentieth century], Dinamicheskie processy na shel'fe Sahalina i Kuril'skikh ostrovov, IMGiG DVO RAN, Juzhno-Sahalinsk, 2001, pp. 160–176 (in Russian).

Куликова В.С., Булгаков Н.П. Ветровые нагоны у побережья о. Кунашир и Итуруп: методическое письмо. Южно-Сахалинск, 1965. 49 с.

Kulikova V.S., Bulgakov N.P. Vetrovye nagony u poberezh'ja o. Kunashir i Iturup: metodicheskoe pis'mo [Wind surges near the coast of the islands of Kunashir and Iturup: methodical letter], Juzhno-Sahalinsk, 1965, 49 p. (in Russian).

Любицкий Ю.В. Расчет штормовых нагонов на юго-восточном побережье о. Сахалин // Метеорология и гидрология. 1983. № 10. С. 73–79.

Ljubickij J.V. Raschet shtormovyh nagonov na jugo-vostochnom poberezh'e o. Sahalin [Calculation of storm surge in the south-east coast of Sakhalin Island], Meteorologija i gidrologija, 1983, no 10, pp. 73–79 (in Russian).

Любицкий Ю.В. Расчет суммарных уровней моря на приливном устьевом взморье реки при штормовых ситуациях (на примере Амура) // Тр. ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 38–49.

Ljubickij J.V. Raschet summarnyh urovnej morja na prilivnom ust'evom vzmor'e reki pri shtormovyh situacijah (na primere Amura) [Calculation of total sea level on estuarine tidal river coast during the storm situations (for example, the Amur)], Trudy GOIN, 1986, V. 179, pp. 38–49 (in Russian).

Любицкий Ю.В., Вербицкая Е.М., Вербицкая З.В., Мякина Л.С. Метод и технология прогноза штормовых нагонов в Амурском лимане и Сахалинском заливе // ДВНИГМИ — 60 лет. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 57–73.

Ljubickij J.V., Verbickaja E.M., Verbickaja Z.V., Mjaki-na L.S. Metod i tehnologija prognoza shtormovyh nagonov v Amurskom limane i Sahalinskom zalive [Method and technology of prediction of storm surges in the Amur estuary and Sakhalin Bay], DVNIGMI — 60 let, Dal'nauka, Vladivostok, 2010, pp. 57–73 (in Russian).

Любицкий Ю.В., Шевченко Г.В., Елисов В.В. Штормовые нагоны // Мировой океан. Т. 1. Геология и тектоника океана. Катастрофические явления в океане. М.: Научный мир, 2013. С. 559–575.

Ljubickij J.V., Shevchenko G.V., Elisov V.V. Shtormovye nagony [Storm surges], Mirovoj okean, V. 1, Geologija i tektonika okeana, Katastroficheskie javlenija v okeane, Nauchnyj mir, Moscow, 2013, pp. 559–575 (in Russian).

Савельев А.В. Применение метода спектральной регрессии для расчета штормовых нагонов в Охотском море // Тез. докл. 4-й конф. молодых ученых ДВНИИ, 23–25 ноября 1985 г. Владивосток, 1984. С. 17–18.

Savel'ev A.V. Primenenie metoda spektral'noj regressii dlja rascheta shtormovyh nagonov v Ohotskom more [Application of spectral regression to calculate the storm surges in the Sea of Okhotsk], Tezisy dokladov 4 konferencii molodyh uchenyh DVNII, 23–25 nojabrja 1985 g., Vladivostok, 1984, pp. 17–18 (in Russian).

Шевченко Г.В. Статистические характеристики штормовых нагонов в южной части о. Сахалин // Изв. РГО, 1997. Т. 129, № 3. С. 94–107.

Shevchenko G.V. Statisticheskie harakteristiki shtormovyh nagonov v juzhnoj chasti o. Sahalin [Statistical characteristics of storm surges in the southern part of Sakhalin Island], Izvestija RGO, 1997, Vol. 129, no 3, pp. 94–107 (in Russian).

Шевченко Г.В., Любицкий Ю.В., Като Л.Н. Проявления штормовых нагонов в южной части острова Сахалин. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1994. 44 с.

Shevchenko G.V., Ljubickij J.V., Kato L.N. Projavlenija shtormovyh nagonov v juzhnoj chasti ostrova Sahalin [Manifestations of storm surges in the southern part of Sakhalin Island], IMGIG DVO RAN, Juzhno-Sahalinsk, 1994, 44 p. (in Russian).

ADCIRC. URL: <http://adcirc.org> (Accessed: 13.04.2014).

CISL Research Data Archive. URL: <http://rda.ucar.edu/> (Accessed: 13.04.2014).

Dietrich J.C., Tanaka S., Westerink J.J. et al. Performance of the unstructured-mesh, SWAN+ADCIRC model in computing hurricane waves and surge // J. Sci. Comput. 2012. Vol. 52 (2). P. 468–497.

Glahn B., Taylor A., Kurkowski N., Shaffer W. The role of the SLOSH model in National Weather Service storm surge forecasting // Nat. Weather Digest. 2009. Vol. 33, N 1. P. 3–14.

Higaki M., Hayashibara H. Operational storm surge forecasting at Japan Meteorological Agency // JCOMM Scien. and Techn. Symp. Storm Surges. Seoul, Korea, 2–6 Oct. 2007.

National Geophysical Data Center. NOAA. URL: http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/gdas/gd_designagrid.html (Accessed: 12.04.2014).

SLOSH (Sea, Lake and Overland Surges from Hurricanes). URL: <http://www.nhc.noaa.gov/surge/slosh.php> (Accessed: 11.04.2014).

Поступила в редакцию
25.12.2014

A.A. Ivanova, V.S. Arkhipkin, S.A. Myslenkov, G.V. Shevchenko

MODELING OF STORM SURGES IN THE COASTAL ZONE OF THE SAKHALIN ISLAND

The 1990 and 1995 storm situations in the Sea of Okhotsk were modeled using the ADCIRC model adapted for the Sea of Okhotsk by producing the irregular computation grid of 500 m resolution basing on the absolute heights of bottom topography. Wind and air pressure data of the NCEP/GFSR reanalysis were used as constraining forces. Computed values of the sea level were correlated with the data of instrumental observations at several sites of the Sakhalin Island. The results of numerical modeling made it possible to evaluate the role of air pressure in the formation of storm surges and compute a number of statistical parameters (correlation, standard deviation, systematic error, etc.). The spatial pattern of the maximum water levels for the whole computation period showed the highest water rise in the Sakhalin Bay and the Terpeniya Bay for both cases.

Key words: storm surges, numerical modeling, sea level, the Sea of Okhotsk.

УДК 556.06

А.В. Христофоров¹, Н.М. Юмина², П.А. Белякова³

ПРОГНОЗ ПАВОДКОВОГО СТОКА РЕК ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КАВКАЗА С ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ОДНИ СУТКИ

В целях максимально раннего предупреждения об опасных паводках на реках Черноморского побережья Кавказа предлагается система методик прогнозирования расходов и уровней воды в 8 створах на реках Мзымта, Сочи, Западный Дагомыс, Куапсе, Туапсе и Вулан. Эти методики учитывают современные достижения в области моделирования гидрологических процессов и прогнозирования стока горных рек, природные особенности региона и практически всю доступную гидрометеорологическую информацию по водосборам указанных рек. На основе региональной модели формирования талого и дождевого стока разработана методика достаточно точного и эффективного прогнозирования максимальных расходов и уровней воды с заблаговременностью одни сутки.

Предложена схема расчета суточного слоя осадков на метеостанциях, при выпадении которых в течение ожидаемых суток критические значения расходов и уровней воды могут быть превышены с заданной вероятностью. Разработаны методики определения вероятности опасных наводнений в течение следующих суток в зависимости от гидрометеорологической информации на дату составления прогноза. Предлагаемые методики прогноза выполняются в автоматизированном режиме в Гидрометцентре России и используются для оперативного предупреждения об опасных наводнениях на выбранных реках Черноморского побережья Кавказа.

Ключевые слова: прогнозирование, максимальный сток рек, Черноморское побережье Кавказа.

Введение. Для максимально раннего предупреждения об опасных паводках на реках Черноморского побережья Кавказа предлагается система методик прогнозирования расходов и уровней воды в 8 створах на шести реках этого региона (Вулан, Туапсе, Куапсе, Западный Дагомыс, Сочи, Мзымта). В основе методик лежит физико-статистическая модель формирования талого и дождевого стока, которая соответствует гидрометеорологической информации. Природные условия водосборов подробно описаны в работе [Панов и др., 2012]. Исследуемые водосборы имеют горный, сильно расчлененный рельеф с большими уклонами. В условиях теплого и влажного климата паводки на реках могут формироваться в любое время года. Особенно сильные и разрушительные паводки случаются летом, они вызваны ливнями большой интенсивности. На крупных реках, сходных с Мзымтой, высокие паводки также вызваны затяжными осенними дождями. На наиболее крупных реках района (Сочи и Мзымта) с большим перепадом высот на водосборе дождевые паводки могут накладываться на талый сток весеннего и весенне-летнего половодья [Волосухин и др., 2014; Панов и др., 2012].

В условиях высокой паводочной активности Черноморское побережье Краснодарского края часто подвергается наводнениям. В последние годы наиболее сильные наводнения отмечены в октябре

2010 г. (Туапсинский район), июле (Новороссийский и Геленджикский районы) и августе (Туапсинский район) 2012 г. [Магрицкий и др., 2013]. Условия возникновения наводнений проанализированы в работах [Магрицкий и др., 2013; Панов и др., 2012]. Детальное исследование формирования экстремального паводка на р. Ашамба 6 июля 2012 г., непосредственно предшествовавшего наводнению в Крымске, приведено в статье [Архипкин и др., 2013].

Наводнения в регионе могут быть вызваны как речными паводками (наводнения стокового происхождения), так и склоновыми потоками в результате выпадения ливней на застроенных территориях при плохом функционировании ливневой канализации (ливневые наводнения) [Магрицкий и др., 2013]. Перед авторами была поставлена задача разработать систему краткосрочного прогнозирования расходов и уровней воды для предупреждения наводнений стокового происхождения на основных реках Черноморского побережья Кавказа. Прогностические методики выполнены для рек Мзымта (пос. Красная Поляна и пос. Казачий Брод), Сочи (г. Сочи и с. Пластунка), Западный Дагомыс (пос. Дагомыс), Куапсе (с. Мамедова Шель), Туапсе (г. Туапсе) и Вулан (с. Архипо-Осиповка). Основные показатели морфометрии водосборов и характерные расходы этих рек приведены в табл. 1.

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, ст. преподаватель, канд. геогр. н.; e-mail: yuminanm@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, аспирантка; e-mail: pobel@mail.ru

Таблица 1

Основные характеристики некоторых рек Черноморского побережья Кавказа

Река, створ	Площадь водосбора, км ²	Средняя / максимальная высота водосбора, м	Средний расход воды, м ³ /с	Максимальный расход воды (м ³ /с) / дата
р. Вулан — с. Архипо-Осиповка	265	270 / 740	5,71	1050 / 12.11.1980
р. Туапсе — г. Туапсе	350	335 / 1380	13,1	230 / 01.08.1991
р. Куапсе — с. Мамедова Щель	14,6	380 / 922	0,72	115 / 01.08.1991
р. Зап. Дагомыс — пос. Дагомыс	48,0	365 / 920	2,44	511 / 22.08.1997
р. Сочи — с. Пластунка	238	840 / 2250	15,4	719 / 22.08.1997
р. Сочи — г. Сочи	296	720 / 2250	16,5	990 / 22.08.1997
р. Мзымта — пос. Красная Поляна	510	1670 / 3257	33,8	520 / 25.10.2003
р. Мзымта — пос. Казачий Брод	839	1340 / 3257	55,3	730 / 25.10.2003

В отечественной практике оперативного прогноза стока горных рек применяются разные методы прогнозов. Они опираются либо на концептуальные модели формирования стока, где основные процессы стокообразования описываются с помощью упрощенных полуэмпирических уравнений, либо на физико-статистические зависимости характеристик паводочного стока от метеорологических и гидрологических факторов. Концептуальная модель формирования стока горных рек используется для краткосрочного прогноза стока малых высокогорных притоков Кубани [Борщ и др., 2013]. Истоки модели восходят к работам в САНИГМИ под руководством Ю.М. Денисова (1965), подробное описание модели приведено в публикациях Л.Н. Боровиковой и Ю.М. Денисова (1970), Л.Н. Боровиковой (1972). В Гидрометцентре СССР также велись разработки по усовершенствованию модели, что нашло отражение в трудах В.Д. Комарова (1976), А.А. Полунина (1982, 1988) и др. Основная особенность концептуальной модели — описание формирования талого и тало-дождевого стока ведется для высотных зон, для которых должны быть заданы значения температуры воздуха и количество атмосферных осадков. При небольшом объеме метеорологических данных процессы снегонакопления и снеготаяния описываются с малой точностью из-за невозможности построить зависимости количества осадков от высоты, частично эта неточность компенсируется при выполнении процедуры коррекции [Борщ и др., 2013].

Активно и достаточно успешно используются физико-статистические методы прогнозов [Мухин, 2013], например для описания формирования дождевых паводков на равнинной части бассейна Кубани. Физико-статистические зависимости также положительно зарекомендовали себя в описании талого и тало-дождевого стока горных рек [Болтабаев и др., 1970].

В зарубежной практике для прогноза стока в бассейне Верхней Роны (Швейцария) используется модель формирования стока GSM-SOCONT,

согласно которой сток рассчитывается по частным водосборам по высотным зонам [García et al., 2009]. Расчетный шаг модели составляет 1 ч. Формирование стока рассчитывается отдельно для ледников и остальных типов поверхности бассейна.

Материалы и методы исследований. В качестве основы предлагаемых методик прогнозирования опасных паводков на реках Черноморского побережья Кавказа разработана региональная модель формирования речного стока. В ней учтены природные условия рассматриваемых водосборов и специфика гидрометеорологической информации. Для каждого водосбора можно использовать данные одного гидрометрического поста в замыкающем створе и одной метеостанции.

В связи с низкой дискретностью исходных гидрологических данных (шаг 1 сут) и данных об осадках (2 раза в сут) и особенностями поступления оперативной информации в Гидрометцентр России было решено разрабатывать методики гидрологического прогноза с временным шагом 1 сут. Методики нацелены на использование в оперативной практике в автоматическом режиме. Из-за малых размеров водосборов и больших уклонов их поверхности время формирования стока сопоставимо с интервалами между сроками гидрологических и метеорологических наблюдений и заблаговременностью прогноза.

Входной метеорологической информацией служат данные о среднесуточной приземной температуре воздуха и суточных осадках с сети наблюдений, а также прогностические значения этих метеозаписей на сутки вперед по результатам расчета 4 численных моделей атмосферы (COSMO-RU07, Регион, NCEP и UKMO), интерполированных в координаты метеостанций. Использование метеорологического прогноза обеспечивает, с одной стороны, принципиальную возможность прогноза паводков, с другой — необходимо учитывать высокую степень неопределенности прогноза сильных осадков в горах из-за развития локальных процессов в речных долинах. Также существует проблема интерполя-

ции прогностических полей, поскольку предлагаемая гидрологическая модель использует точечные, а не площадные входные данные. В Гидрометцентре России значения температуры воздуха и количество осадков в пункте вычисляют из прогностических полей путем билинейной интерполяции, а для модели COSMO-RU07 — путем присвоения значения из ближайшего узла сетки [Багров, 2014; Борщ и др., 2013]. В условиях горного рельефа выбор метода интерполяции фактического количества осадков существенно сказывается на значениях метеоэлементов [Гандин и др., 1976] и может вызывать дополнительное снижение точности гидрологического моделирования [Tobin, 2012]. Однако представляется, что при низком качестве прогноза сильных осадков численными моделями [Багров, 2014] проблема интерполяции прогностических полей не столь принципиальна.

В гидрологическом прогнозе стока использованы результаты прогноза приземной температуры воздуха и количества атмосферных осадков для каждой из четырех указанных выше метеорологических моделей и их среднее значение по ансамблю моделей.

В зависимости от суточного слоя осадков и среднесуточной температуры воздуха определяли средний слой поступления дождевых вод на поверхность водосбора. Учитывали, что от температуры воздуха зависят потери на испарение, площадь и средняя высота части водосбора, на которую происходит поступление дождевых вод, а следовательно, при больших вертикальных градиентах осадков их средний слой для этой части водосбора. Для условного отделения жидких и твердых осадков принята изотерма 2 °C, рекомендуемая при разработке моделей стока горных рек [Борщ и др., 2013; Руководство..., 1989] и успешно прошедшая проверку на притермосторских водосборах. Подбирали минимальную температуру ($T_{\min, p}$), при которой изотерма 2 °C проходит через самую нижнюю точку водосбора, т.е. поступления дождевых вод на его поверхность еще нет. В зависимости от перепада высот водосбора и расположения метеостанции значение $T_{\min, p}$ может варьировать от 0,5 до 3,5 °C.

Из-за отсутствия информации о состоянии снежного покрова средний слой поступления талых вод на поверхность водосбора определяли в зависимости от среднесуточной температуры приземного слоя воздуха — от нее зависят интенсивность снеготаяния и площадь водосбора, на которой они происходят. Для каждого водосбора подбирали минимальную температуру ($T_{\min, s}$), при которой изотерма 0 °C проходит через самую нижнюю точку водосбора, и, следовательно, талые воды на его поверхность не поступают. В зависимости от перепада высот водосбора и расположения метеостанции значение $T_{\min, s}$ может варьировать от –2 до 2 °C.

При описании процессов формирования склонового стока учитывали, что для рек рассматриваемого региона потери на поверхностное задержание

незначительны. На участках с луговой растительностью и толщами моренных отложений быстро и с минимальными потерями формируются поверхностный и подповерхностный склоновые стоки. На оставшейся части водосбора формируются более заметные потери на пополнение запасов почвенной влаги [Панов и др., 2012; Guide..., 2009]. При оценке этих потерь использовали индекс увлажнения водосбора, равный разности между суммарным поступлением талых и дождевых вод на поверхность водосбора и объемом склонового стока за предшествующие сутки. Средний расход склонового стока определяли в зависимости от соотношения между слоем поступления воды на поверхность водосбора и максимально возможным слоем поступления влаги в почву при заданном индексе увлажнения водосбора. Расходы склонового стока выражали через расходы воды в замыкающем створе за те же, а также за предшествующие сутки. Расход воды в замыкающем створе определяли в зависимости от текущего среднего по всему водосбору расхода склонового стока и расходов воды в замыкающем створе за предшествующие сутки.

На основе описанной модели с использованием данных ежедневных гидрологических и метеорологических наблюдений за период с 1984 по 2010 г. разработана методика прогнозирования максимальных расходов и уровней воды с заблаговременностью одни сутки. В окончательном варианте учитывались данные 4 метеостанций: п. Джубга — для р. Вулан, г. Туапсе — для р. Туапсе, г. Сочи — для рек Западный Дагомыс и Сочи, пос. Красная Поляна — для р. Мзымта. Для р. Куапсе использованы средние арифметические значения данных метеостанций в Туапсе и Сочи. Период гидрологических наблюдений варьирует от 35 до 80 лет, число лет совместных гидрологических и метеорологических наблюдений, использованных при составлении методики прогноза (n), варьирует от 8 до 20.

Методика прогнозирования максимальных расходов и уровней воды с заблаговременностью одни сутки. Для оборудованных самописцами створов на р. Мзымта задача прогнозирования максимального расхода воды с заблаговременностью одни сутки решалась непосредственно. Для остальных 6 створов предварительно решали задачу прогнозирования среднесуточного расхода воды. В обоих случаях проанализированы десятки вариантов реализации уравнений модели, отличающихся составом предикторов, видом формулы получения прогноза и входящими в нее параметрами. Сравнивали варианты на основе оценки погрешности прогноза. В результате получена единая оптимальная схема прогнозирования среднесуточных или максимальных расходов воды.

Для оборудованных самописцами створов на р. Мзымта, чтобы получить прогноз максимального расхода воды на сутки ($t + 1$), в качестве предикторов учитывали: максимальный расход воды $Q_{\max}(t)$ за сутки составления прогноза; максимальный

расход воды $Q_{\max}(t-1)$ за предшествующие сутки; слой осадков на метеостанции $P(t)$ за сутки составления прогноза; среднюю приземную температуру воздуха на метеостанции $T(t)$; прогноз суточного слоя осадков $P(t+1)$ на метеостанции; прогноз среднесуточной приземной температуры воздуха $T(t+1)$.

Расчет максимального прогнозируемого расхода воды мы предлагаем вести по формуле

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_{\max}(t+1) = & a_0 + a_1 Q_{\max}(t) + a_2 Q_{\max}(t-1) + \\ & + a_3 [T(t+1) - T_{\min,S}]^2 + a_4 [T(t+1) - T_{\min,S}] + \\ & + a_5 P(t+1) [T(t+1) - T_{\min,P}]^2 + a_6 P(t+1) [T(t+1) - \\ & - T_{\min,P}] + a_7 P(t+1) + a_8 [T(t) - T_{\min,S}]^2 + \\ & + a_9 [T(t) - T_{\min,S}] + a_{10} P(t) [T(t) - T_{\min,P}]^2 + \\ & + a_{11} P(t) [T(t) - T_{\min,P}] + a_{12} P(t). \end{aligned} \quad (1)$$

Применение формулы (1) предполагает соблюдение следующих правил:

а) значения $T(t+1)$ и $T(t) > T_{\max}$, необходимо заменять значением $T_{\max}$, которое определяли с помощью подбора. При достижении максимальной среднесуточной температуры $T_{\max}$ дальнейшая динамика температур не сказывается на изменении речного стока. При таких высоких среднесуточных значениях температуры, как правило, не выпадают осадки, на реках происходит только спад расходов воды за счет сработки запасов грунтовых вод. Значение $T_{\max}$ варьирует от 25 до 27 °С;

б) если значения $T(t+1)$ или $T(t) < T_{\min,S}$, их следует заменять значением $T_{\min,S}$ (отсутствие поступления талых вод);

в) если значения $T(t+1)$ или $T(t) < T_{\min,P}$, в формуле (1) значения $P(t+1)$ или $P(t)$ следует заменять нулем (отсутствие поступления дождевых вод).

Параметры в формуле (1) оценивали методом наименьших квадратов для каждого месяца, таким образом учитывали различия в состоянии почвенного и растительного покрова водосборов в течение года, а также влияние метеоэлементов на сток.

Знак и величина каждого содержащегося в уравнении регрессии коэффициента отнюдь не обязательно отражают характер связи между прогнозируемой величиной и соответствующим предиктором, но зависят от статистических связей с другими предикторами. Поясним на примере регрессии с двумя предикторами: при положительной корреляции каждого из двух предикторов с прогнозируемой величиной и между собой стоящие при этих предикторах коэффициенты в уравнении регрессии могут иметь разные знаки.

Для остальных шести необорудованных самописцами речных створов прогноз среднесуточного расхода $\tilde{Q}(t+1)$ получен по аналогичной схеме с заменой величин $\tilde{Q}_{\max}(t+1)$, $Q_{\max}(t)$ и $Q_{\max}(t-1)$ величинами $\tilde{Q}(t+1)$, $Q(t)$ и $Q(t-1)$ соответственно. Прогноз ожидаемого на следующие сутки максимального расхода воды предлагается находить в виде $\tilde{Q}_{\max}(t+1) = \bar{k} \tilde{Q}_{\max}(t+1)$, где $\bar{k}$ — рассчитанное для каждого месяца среднее многолетнее от-

ношение месячных максимумов к соответствующим среднесуточным расходам воды.

Методика вероятностного прогнозирования наводнений с заблаговременностью одни сутки. Для каждого речного створа были заданы критические значения уровня и расхода воды, соответствующие разным уровням опасности наводнений. Вероятностное прогнозирование наводнений с заблаговременностью одни сутки состоит в определении вероятности превышения критических уровней $H_{кр}$ и расходов воды $Q_{кр}$ в течение следующих суток ($t+1$) в зависимости от уже полученного прогноза максимального расхода воды $\tilde{Q}_{\max}(t+1)$. При отсутствии самописцев неизвестный максимальный расход воды выражается через среднесуточный расход в виде $Q_{\max}(t+1) = \bar{k} Q(t+1)$.

Методика получения таких прогностических вероятностей основана на результатах статистического анализа ошибок гидрологического прогноза. Установлено, что для всех речных створов ошибка прогноза логарифма максимального расхода воды $\ln[Q_{\max}(t+1)] - \ln[\tilde{Q}_{\max}(t+1)]$ практически не зависит от величины $\tilde{Q}_{\max}(t+1)$. В пределах каждого месяца колебания этой величины можно считать стационарными и подчиняющимися нормальному распределению вероятностей с математическим ожиданием $m_{\ln \varepsilon}$ и средним квадратическим отклонением $\sigma_{\ln \varepsilon}$. Эти параметры оценивали с учетом автокорреляции используемых рядов и соотношения между их продолжительностью и числом параметров в формуле получения прогноза [Христофоров, 1993].

В зависимости от полученного прогноза максимального расхода воды на следующие сутки $\tilde{Q}_{\max}$ вероятность превышения критических расходов и уровней воды в течение этих суток предлагается находить по формуле

$$p_{кр}(\tilde{Q}_{\max}) = 1 - \Phi \left(\frac{\ln Q_{кр} - \ln \tilde{Q}_{кр} - m_{\ln \varepsilon}}{\sigma_{\ln \varepsilon}} \right), \quad (2)$$

где $\Phi(x)$ — функция Лапласа нормального распределения вероятностей с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией. На рис. 1 для створа р. Сочи — г. Сочи приведены графики функции прогностической вероятности $p_{кр}(\tilde{Q}_{\max})$ в ноябре, наиболее опасном месяце с точки зрения наводнений.

Результаты исследований и их обсуждение. В основе предлагаемой региональной модели формирования стока лежат 12 прогностических зависимостей, параметры которых оценивали для каждого из 8 речных створов. Параметры применяемых регрессионных уравнений не имеют четкой физической интерпретации. Такая структура модели без явного описания стокообразующих процессов (как и любая модель вроде “черного ящика”) оставляет открытой проблему результата прогноза при “неожиданных” комбинациях значений предикторов

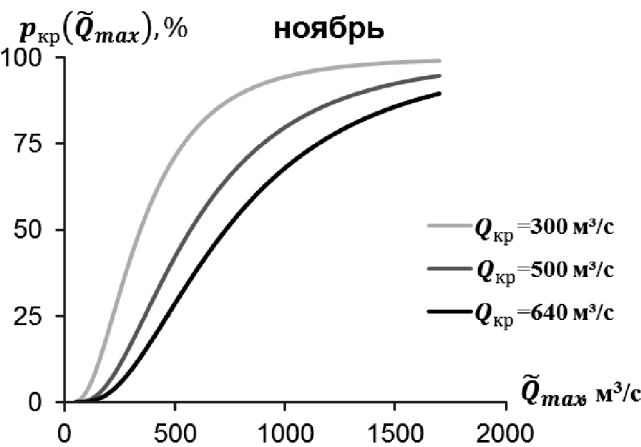


Рис. 1. Графики функции прогностической вероятности $p_{кр}(Q_{max})$ для ноября в створе р. Сочи — г. Сочи. Значения $Q_{кр}$ соответствуют трем уровням опасности: отметке для подачи штормовых телеграмм, отметке неблагоприятного явления и отметке опасного явления

[Manual..., 2011]. Однако, в отличие от более сложных моделей, она отвечает доступной на данный момент гидрометеорологической информации и удовлетворяет требованиям к качеству гидрологического прогноза.

Качество методики прогноза определяли согласно принятым рекомендациям на независимом материале [Руководство..., 1989; Manual..., 2011]. Исключали данные за один год, переоценивали параметры, а данные за исключенный год использовали для сравнения прогнозируемых расходов воды с их фактическими значениями. На рис. 2 приведены примеры совмещенных графиков колебаний

фактических и рассчитанных по прогностической формуле максимальных расходов воды. При получении оценки средней квадратической погрешности прогноза $\sigma_{пр}$ применяли теоретическую формулу, которая учитывает не только разности между фактическими и прогнозируемыми расходами воды, но и соотношение между длиной использованного ряда наблюдений и числом оцениваемых по нему параметров прогностической формулы [Христофоров, 1993]. Эффективность прогноза определялась соотношением $\sigma_{пр}/\sigma_{\Delta}$, где σ_{Δ} характеризует погрешность инерционного прогноза [Руководство..., 1989]. В табл. 2 приведены значения множественного коэффициента корреляции для предлагаемых прогностических зависимостей (R), их погрешности ($\sigma_{пр}$) и показателя эффективности прогноза ($\sigma_{пр}/\sigma_{\Delta}$), а также число лет базового периода n и общее количество использованных синхронных гидрологических и метеорологических наблюдений, равное сумме $\sum_{i=1}^{24} N_i$ всех дней наблюдений для каждого месяца за n лет. Эти данные свидетельствуют о том, что предлагаемая схема получения прогноза расходов воды с заблаговременностью одни сутки достаточно надежна и эффективна для всех рассматриваемых рек Черноморского побережья Кавказа. Наличие для каждого речного створа надежных зависимостей уровней воды от расходов $Q(H)$ позволяет достаточно точно прогнозировать на сутки вперед и уровни воды. Проверка в оперативном режиме также показывает положительные результаты.

Таблица 2

Характеристики предлагаемых прогностических зависимостей

Река, створ	n	$\sum_{i=1}^{24} N_i$	R	$\sigma_{пр}, \text{ м}^3/\text{с}$	$\sigma_{пр}/\sigma_{\Delta}$
р. Вулан	20	7238	0,78	6,4	0,56
р. Туапсе	9	3189	0,86	14,2	0,53
р. Куапсе	19	6691	0,80	0,85	0,62
р. Западный Дагомыс	17	6204	0,76	3,3	0,59
р. Сочи — с. Пластунка	17	6020	0,82	8,6	0,65
р. Сочи — г. Сочи	18	6506	0,81	12,0	0,62
р. Мзымта — пос. Красная Поляна	8	2761	0,95	8,6	0,60
р. Мзымта — пос. Казачий Брод	11	4012	0,92	15,3	0,60

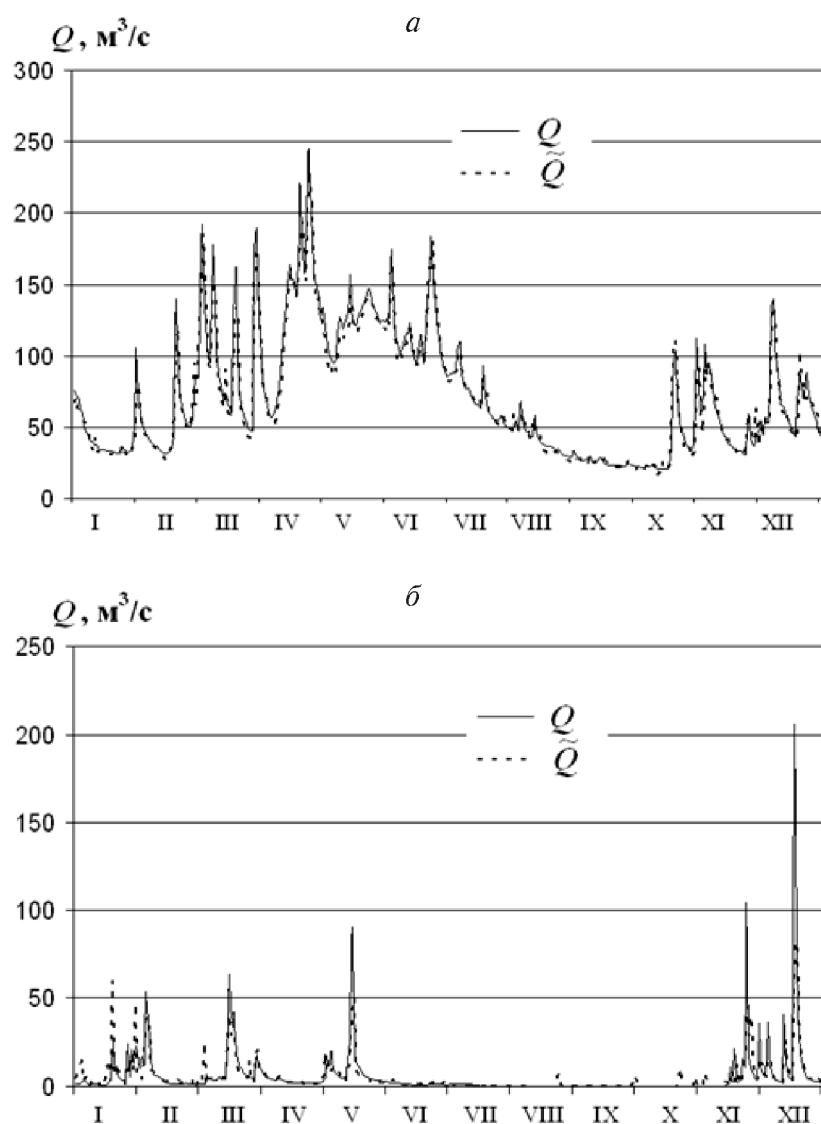


Рис. 2. Фактический (сплошная линия) и спрогнозированный (пунктирная линия) графики колебаний максимальных расходов воды: *a* — в створе р. Мзымта — пос. Красная Поляна в 2002 г.; *б* — в створе р. Вулан — пос. Архипо-Осиповка в 1994 г.

Структура распределения погрешностей методики внутри года имеет сложный вид. В наиболее опасный с точки зрения формирования катастрофических паводков летний период $\sigma_{\text{пр}}/\sigma_{\Delta} = 0,6 \div 0,8$, что соответствует удовлетворительному качеству прогноза. Представляется, что результаты гидрологического прогноза по такой физико-статистической модели можно использовать в качестве базового материала при оперативном прогнозировании паводков на реках Черноморского побережья Кавказа.

Кроме того, вероятностный вид прогноза позволяет внимательнее относиться к прогнозным значениям расходов воды в контексте возможностей используемой гидрологической модели.

Успех прогноза паводков во многом зависит от надежности метеорологического прогноза, в частности прогноза сильных осадков. В горной зоне эта задача крайне сложна, с одной стороны, из-за сильного влияния местных условий на формирование кучево-дождевой облачности, которые пока невозможно учесть в прогностических моделях, а с дру-

гой — недостаточно пунктов наблюдений за осадками, что позволило бы проводить эффективную проверку расчетных методов [Волосухин, Ткаченко, 2014]. Автоматизированные прогнозы необходимо уточнять сверхкраткосрочными прогнозами на основе спутниковых и радарных данных об облачности, а также с использованием оперативной информации об уровнях воды и осадках, поступающей с автоматизированной сети мониторинга за паводковой ситуацией в Краснодарском крае.

Выводы:

- предложена региональная модель формирования талого и дождевого стока рек Черноморского побережья Кавказа, которая определяет общую схему прогнозирования расходов воды при наличии одного гидрометрического поста в замыкающем створе, одной метеостанции в пределах водосбора и отсутствии информации о состоянии снежного покрова;

- создана методика прогнозирования максимальных расходов и уровней воды с заблаговременностью одни сутки, которая для всех 8 речных

створов имеет достаточно высокую точность и эффективность;

— разработана методика вероятностного прогнозирования наводнений с заблаговременностью одни сутки, которая в зависимости от полученного прогноза максимального расхода воды в замыкающем створе позволяет определять вероятность пре-

вышения критических значений расходов и уровня воды в течение следующих суток;

— предложенная методика используется для выпуска прогноза в Гидрометцентре России полностью в автоматическом режиме, результаты расчетов служат базовым материалом для оперативного прогнозиста-гидролога.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Архипкин В.С., Добролюбов С.А., Мухаметов С.С. и др. Экстремальный дождевой паводок в бассейне р. Ашамба и его влияние на рельеф дна и структуру вод моря в районе г. Геленджик // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2013. № 3. С. 27–34.
- Arkhipkin V.S., Dobrolyubov S.A., Mukhametov S.S. et al. Ekstremalniy dozhdevoy pavodok v basseynе r. Ashamba i yego vliyaniye na rel'ef dna i strukturu vod morya v rayone g. Gelendzhik [Extreme rainfall in the basin of the Ashamba river and its impact of the bottom relief and sea water structure in the vicinity of the town of Gelendzhik], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya, 2013, no 3, pp. 27–34 (in Russian).
- Багров А.Н. Сравнительная оценка успешности прогнозов сильных осадков с помощью моделей атмосферы различного масштаба // Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов. 2014. № 41. С. 63–73.
- Bagrov A.N. Sravnitel'naya ocenka uspechnosti prognozov silnykh osadkov s pomosh'yu modeley atmosfery razlichnogo masshtaba [Comparative estimates of the success of heavy precipitation forecasts using atmospheric models of various scales], Informatsionnyi sbornik, 2014, no 41, pp. 63–73 (in Russian).
- Болтабаев В.Г., Овчинников А.М. Краткосрочные прогнозы стока горных рек методом множественной регрессии // Тр. САНИГМИ. 1970. Вып. 52 (67). С. 90–98.
- Boltabayev V.G., Ovchinnikov A.M. Kratkosrochnnye prognozy stoka gornyykh rek metodom mnozhestvennoy regressii [Short-range forecasts of mountain rivers runoff with multiple regression], Trudy Sredneaziatkogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta, 1970, V. 52 (67), pp. 90–98 (in Russian).
- Борщ С.В., Симонов Ю.А. Оперативная система краткосрочных гидрологических прогнозов расхода воды на реках бассейна Кубани // Тр. Гидрометцентра России. 2013. Вып. 349. С. 63–87.
- Borsch S.V., Simonov Yu.A. Operativnaya sistema kratkosrochnnykh gidrologicheskikh prognozov raskhoda vody na rekakh basseyna Kubani [Operational water discharge short-range forecasting system for the Kuban basin rivers], Trudy Gidrometcentra Rossii, 2013, V. 349, pp. 63–87 (in Russian).
- Волосухин В.А., Ткаченко Ю.Ю. Организация гидрологического мониторинга с целью информационного обеспечения региональной системы предупреждения чрезвычайных ситуаций и защиты населенных пунктов (на примере Краснодарского края) // Наука и безопасность. 2014. № 2 (11). С. 65–67.
- Volosukhin V.A., Tkachenko Yu.Yu. Organizatsiya gidrologicheskogo monitoringa s cel'yu informatsionnogo obespecheniya regionalnoy sistemy preduprezhdeniya chrezvychaynykh situatsiy i zashchity naselennykh punktov (na primere Krasnodarskogo kraya) [Organization of hydrological monitoring to support the regional system of emergency prevention and settlements protection (the example of Krasnodar krai)], Nauka i bezopasnost', 2014, no 2 (11), pp. 65–67 (in Russian).
- Гандин Л.С., Казан Р.Л. Статистические методы интерпретации метеорологических данных. Л.: Гидрометеоздат, 1976. 359 с.
- Gandin L.S., Kagan R.L. Statisticheskiye metody interpretatsii mereorologicheskikh dannykh [Statistic methods of meteorological data interpretation], Gidrometeoizdat, Leningrad, 1976, 359 p. (in Russian).
- Магрицкий Д.В., Алексеевский Н.И., Крыленко И.Н. и др. Риски наводнений в низовьях и устьях рек Черноморского побережья России // Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз: Мат-лы Всеросс. науч. конф., Краснодар, 7–13 октября 2013 г. Новочеркасск: ЛИК, 2013. С. 181–187.
- Magrickiy D.V., Alekseyevskiy N.I., Krylenko I.N. et al. Riski navodneniy v nizov'yah i ust'yah rek Chernomorskogo poberezh'ya Rossii [Flood risks in downstream and estuaries of the rivers of the Black Sea coast of Russia], materials of All-Russian science conference — water element: risks, forecasting opportunities, management and prevention of threats, Krasnodar, 7–13 Oct. 2013, pp. 181–187 (in Russian).
- Мухин В.М. Методические основы физико-статистических видов краткосрочных прогнозов стока горных рек // Тр. Гидрометцентра России. 2013. Вып. 349. С. 5–46.
- Mukhin V.M. Metodicheskiye osnovy fiziko-statisticheskikh vidov kratkosrochnnykh prognozov stoka gornyykh rek [Methodological basis of physical-statistical kinds of short range forecasts of mountain river runoff], Trudy Gidrometcentra Rossii, 2013, V. 349, pp. 5–46 (in Russian).
- Панов В.Д., Базелюк А.А., Лурье П.М. Реки Черноморского побережья Кавказа: гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской изд. дом, 2012. 605 с.
- Panov V.D., Bazeluk A.A., Lur'ye P.M. Reki Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza: gidrografia i rezhim stoka [Rivers of the Black Sea coast of Caucasus: hydrography and flow regime], Donskoy izdatelkiy dom, Rostov-na-Donu, 2012, 605 p. (in Russian).
- Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Краткосрочный прогноз расхода и уровня воды на реках. Л.: Гидрометеоздат, 1989. 245 с.
- Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam, V. 2, Kratkosrochnnyy prognoz raskhoda i urovnya vody na rekakh [Guide to hydrological forecasting, V. 2, Short-range forecasting of water discharge and level at rivers], Gidrometeoizdat, Leningrad, 1989, 245 p. (in Russian).
- Христофоров А.В. Надежность расчетов речного стока. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 166 с.
- Khristoforov A.V. Nadezhnost' raschetov rechnogo stoka [Reliability of river flow estimates], Izdatelstvo Moskovskogo universiteta, Moscow, 1993, 166 p. (in Russian).

García Hernández J., Jordan F., Sirvent Gimenez P. et al. Ensemble hydrological forecasts for the Upper Rhone river basin // 33rd Congr. of IAHR — Water engineering for a sustainable environment. Vancouver, Canada. August 9–14. 2009. P. 1171–1178.

Guide to Hydrological Practices. Vol. I. Hydrology — From Measurement to Hydrological Information // World Meteorol. Organization. Geneva, 2009. N 168. 738 p.

Manual on Flood Forecasting and Warning. // World Meteorol. Organization. Geneva, 2011. N 1072. 138 p.

Tobin C. Improving Alpine flood prediction through hydrological process characterization and uncertainty analysis. Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne, 2012. PhD Thesis. N 5416. 165 p.

Поступила в редакцию
13.10.2014

A.V. Khristoforov, N.M. Yumina, P.A. Belyakova

A ONE-DAY LEAD TIME FLOOD FORECAST FOR THE RIVERS OF THE BLACK SEA COAST OF THE CAUCASUS

Methods of forecasting water levels and discharges for Mzymta, Sochi, West Dagomys, Kuapse, Tuapse and Vulcan rivers were developed in order to provide for the early warning of the river flood risk at the Black Sea coast of the Caucasus. The methods take into account the advances in the modeling of hydrological processes and forecasting of the mountain rivers discharge, as well as the natural conditions of the region and virtually all hydrometeorological information for the basins of the above rivers. A technique of rather accurate and efficient forecasting of maximum discharges and water levels with a lead time of one day was elaborated basing on the regional model of snowmelt and rain runoff formation. A scheme for the computation of a daily precipitation amount which could cause the excess of critical flow rates and water levels with a given probability during the next 24 hours was suggested for the meteorological stations. Methods of computation of the dangerous flooding probability during the next day using the available actual hydrometeorological information were elaborated. The proposed techniques are implemented at the Hydrometeorological Centre of Russia using the computer-aided procedures and are applied for the early warning of dangerous floods on particular rivers of the Black Sea coast of the Caucasus.

Key words: flood forecasting.

УДК 574.42+58.006 (470.21)

М.Н. Кожин¹, Е.Г. Ершова², О.И. Смышляева³, К.Б. Попова⁴**СОВРЕМЕННЫЕ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВЫЕ СПЕКТРЫ
ОСТРОВОВ БЕЛОГО МОРЯ (ПОРЬЯ ГУБА)⁵**

Субрецентные спорово-пыльцевые спектры разных растительных сообществ Порьей губы адекватно отражают зональное северо-таежное положение территории и локальную растительность. По составу спорово-пыльцевых спектров наиболее ярко отличаются типичные незаболоченные вороничные сообщества, расположенные на островах в открытом море. Спорово-пыльцевые спектры других сообществ оказались менее специфичными. Спектры лесов, редколесий и вороничников с малой мощностью торфяной залежи во внутренней части залива по составу имеют почти идентичные соотношения, что указывает на единство формирования этих сообществ, представляющих собой разные стадии единого сукцессионного ряда. Спорово-пыльцевые спектры болот и заболоченных вороничников оказались близкими по составу. Показана ведущая роль факторов открытости ветрам и увлажнения в формировании субрецентных спорово-пыльцевых спектров.

Полученные данные свидетельствуют, что острова с тундрообразной растительностью внутри таежной зоны достоверно отличаются по спорово-пыльцевым спектрам, что согласуется с данными, полученными при исследовании границы леса на севере Канады. Установленные закономерности с учетом физико-географических особенностей островов могут быть использованы при интерпретации спорово-пыльцевых спектров прошлого.

Ключевые слова: острова, субрецентные спорово-пыльцевые спектры, вороничники, Белое море.

Введение. Изучение спорово-пыльцевых спектров поверхностных (субрецентных) проб, а также их сопоставление с современным растительным покровом служат ключом к обоснованной интерпретации спорово-пыльцевых спектров прошлого. Данных о спектрах субрецентных отложений северной тайги в европейской части России достаточно много [Филимонова, 1999]. Большое количество спорово-пыльцевых диаграмм получено для донных отложений Белого моря [Малясова, 1976], а также для болот и озер Кольского полуострова [Елина, 2000; Елина, Филимонова, 2000], в том числе для морского побережья [Колька и др., 2013]. Благодаря этим исследованиям реконструированы общие смены растительности и климата региона в голоцене. Однако на островах Белого моря, за исключением крупных островов Соловецкого архипелага [Субетто и др., 2012], подобные исследования не проводились. В то же время флора и растительность мелких островов Кандалакшского залива имеют локальные особенности, связанные прежде всего с их геологической историей, особенно с концом последнего оледенения, последующими колебаниями уровня моря и поднятиями Балтийского щита

[Кутенков, Стойкина, 2010]. Реконструкция истории формирования почв и растительности на освобождающихся из-под моря островах представляет очень интересную и важную задачу, которая привлекает различных специалистов [Елина, 2000; Зарецкая и др., 2011, 2013; Zaretskaya et al., 2011; Колька, 2013].

Особенно интересным представляется изучение истории формирования своеобразных тундрообразных растительных сообществ, почти не встречающихся на материке, — безлесных вороничников, характерных только для небольших и сравнительно молодых островов [Бреслина, 1971]. Применение палеоботанических методов (ботанический и спорово-пыльцевой анализ) в таких исследованиях может быть весьма перспективным, однако работы такого рода пока единичны [Кутенков, Стойкина, 2010]. В связи с этим цель наших исследований состояла в выявлении зависимости состава спектров поверхностных проб от растительных сообществ и их положения на островах разного типа. Эта работа — первый шаг в цикле палеоботанических исследований островов Порьей губы — одного из заливов Белого моря.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра геоботаники, ассистент; Кандалакшский заповедник, ст. науч. с.; Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН, инженер, канд. биол. н.; *e-mail:* mnk_umba@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра геоботаники, ассистент, канд. биол. н.; *e-mail:* eershova@rambler.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, биологический факультет, кафедра геоботаники, студент; *e-mail:* zzzzzuka@mail.ru

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Биологический факультет, кафедра геоботаники, ассистент; *e-mail:* asarum@mail.ru

⁵ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-31395) и содействии Кандалакшского заповедника.

Материалы и методы исследований. Общая площадь Порьей губы составляет 14 718 га, из которых суша (острова) занимает 1154 га. Структура архипелага очень неоднородна. В его состав входят как малые островки, площадь которых $<10 \text{ м}^2$, так и довольно большие острова (рис. 1). Современный рельеф островов и материкового побережья Кандалакшского залива претерпел длительную и сложную историю геологического развития, хотя основные черты он приобрел в неоген-четвертичное время. Здесь на дневной поверхности обнажены наиболее древние докембрийские породы на Земле [Кошечкин, 1969]. Особую роль в формировании современного рельефа сыграли покровные оледенения четвертичного периода. В поздневалдайское время (~23 000–15 000 лет назад) эта территория была покрыта ледником мощностью несколько тысяч метров [Колька и др., 2005]; позже ледовый покров начал таять и отступать, освобождая прогибавшуюся под тяжестью колоссальных масс поверхность земли [Kolka et al., 1998; Колька и др., 2005; Олюнина, Романенко, 2007]. В последние 10 000 лет на этой территории отчетливо проявляется процесс изостатического воздымания [Колька и др., 2005].

Растительный покров на островах формируется в суровых условиях заполярного климата. Для Кольского полуострова характерно низкое стояние солнца. Летом наблюдаются светлые полярные ночи. Приход солнечной радиации за год составляет 55–72 ккал/см² · год. Средняя температура июля колеблется в пределах 15 °С. Среднее количество осадков за год — 360–500 мм [Агроклиматический..., 1961; Филатов, Тержевик, 2007]. Микроклиматические условия формирования растительного покрова островов Порьей губы отличаются значительным разнообразием. На островах в открытом море амплитуда значений температуры значительно меньше, что прослеживается как в их годовом, так и в суточном ходе и характеризует климат как более мягкий. Обратная ситуация наблюдается с ветром — на открытых островах часто дует очень сильный ветер, о чем свидетельствуют отсутствие крупных деревьев и широкое распространение стланиковых или флаговых форм ели, сосны и березы. Сильный ветер, часто со снегом, градом или фирном, способствует гибели почек на ветвях древесных и кустарниковых растений.

На островах во внутренней части залива локальные климатические условия приближаются к материковым. Для них характерен типичный для прибрежных участков ход значений температуры, часто с более холодной зимой и более теплым летом. Присутствует мощный снежный покров, за исключением отдельных мысов и кос.

Почвы. Район побережий Кандалакшского залива согласно Карте почвенно-географического районирования СССР [1986] относится к бореальному поясу Европейско-западносибирской таеж-

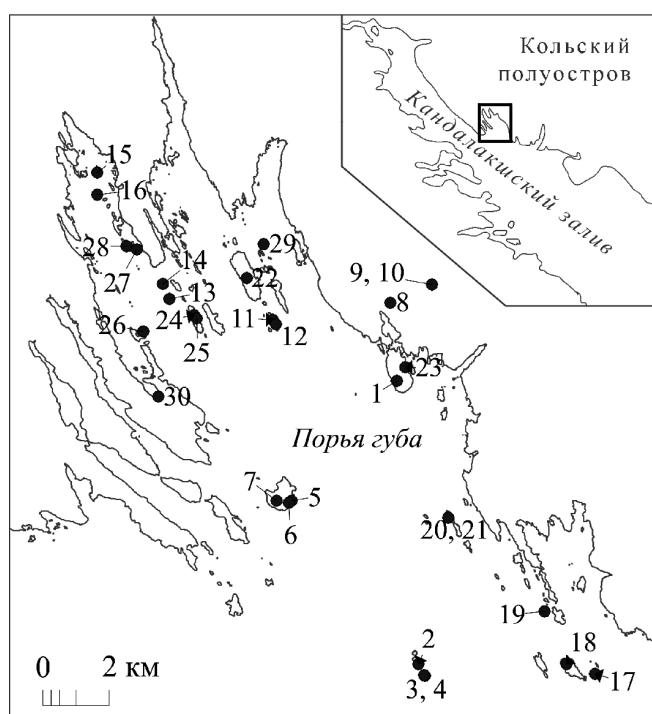


Рис. 1. Район исследований. Номера соответствуют точкам отбора проб в табл. 1

но-лесной почвенной биоклиматической области Кольско-Карельской провинции. Зональные типы почв здесь представлены подзолами северной тайги. В соответствии с Картой почв России [Национальный..., 2011] на побережьях Кандалакшского залива распространены иллювиально-гумусовые и иллювиально-железистые подзолы.

Для структуры почвенного покрова островов и материкового побережья Кандалакшского залива характерны большая пестрота и разнообразие сочетаний почв. Резкая смена почвенных разностей обусловлена высокой вариабельностью элементов рельефа, литологического состава, режима увлажнения и растительных сообществ [Евдокимова, 1972].

Процессы почвообразования на островах начинаются с момента формирования наземных экосистем в результате поднятия суши. Почвы начального этапа почвообразования представлены петроземами на мелкоземисто-щебнистой, галечной или непосредственно на скальной кристаллической основе. Дальнейшее накопление органического вещества (торфа) и процессы выветривания приводят к формированию литоземов. Они распространены преимущественно в южной части Порьей губы на склонах островов, поросших вороничниками брусничными, арктоусовыми и можжевельниковыми, а также на плакорах небольших безлесных вороничных островов и в редкостойных лесах на скалах во внутренней части губы.

Альфегумусовые почвы на рассматриваемой территории представлены подзолами и торфяно-подзолами, которые обычны на щебнистых, песчано-каменистых и каменистых отложениях лесных островов во внутренней части Порьей губы.

Торфяные почвы широко распространены на островах Порьей губы. Шире всего представлены сухоторфяные почвы, которые формируются на плакорных поверхностях и склонах безлесных островов в условиях открытого моря. Они приурочены к приморским морошковым и лишайниковым вороничникам. Типичные тундровые почвы (подбуры), так же, как и тундровые растительные сообщества, на островах и материковом побережье Кандалакшского залива не представлены.

Торфяные олиготрофные почвы развиваются на мезотрофных и олиготрофных болотах больших островов (Медвежий, Озерчанка, Горелый, Большой Ягодный и др.). Торфяные эвтрофные почвы встречаются редко и занимают малые площади под гипновыми осоковыми болотцами на больших островах.

В целом почвенный покров островов Порьей губы своеобразен. Наиболее широко распространены типы здесь представлены литоземами, петроземами и сухоторфяными почвами. Важная особенность — почти повсеместный процесс торфообразования, способствующий сохранению пыльцы и спор.

Растительность. В соответствии с зональным делением территории России [Сафронова и др., 1999] территория относится к восточно-скандинавскому (кольско-карельскому) варианту подзоны северной тайги. Растительный покров островов Порьей губы разнообразен и в значительной степени отличается от зональных сообществ. На островах во внешней части залива формируются особые тундровые растительные сообщества — вороничники. Для них характерны безлесие и относительная бедность видами сосудистых растений. В составе обычно доминируют *Empetrum hermaphroditum*, *Rubus chamaemorus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, *Arctous alpina* и ряд луговых трав. Лишайники, мхи и печеночники разнообразны. Под этими растительными сообществами формируется мощный слой торфа. История формирования самих сообществ до конца не ясна. Существует мнение о том, что первоначально торф был отложен пушицевыми сообществами, сходными с ценозами современных болот-плащей в Северной Европе [Кутенков, Стойкина, 2010].

На островах во внутренней части залива широко распространены елово (*Picea×fennica*)-сосновые (*Pinus sylvestris*) черничные, чернично-брусничные зеленомошные леса, близкие к зональным сообществам. В травяно-кустарничковом ярусе обычны *Vaccinium* spp., *Empetrum hermaphroditum*, *Orthilia secunda*, *Trientalis europaea*, *Ledum palustre*, *Linnaea borealis*, на дренированных участках — *Arctostaphylos uva-ursi*. Среди мхов доминируют *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium splendens*, *Dicranum* spp., *Polytrichum commune*.

Острова, занимающие промежуточное положение, могут содержать как типичные северо-таежные леса, так и вороничники, но помимо них здесь формируется промежуточный вариант растительных сообществ. Для них характерно наличие

отдельно стоящих деревьев или редкостойных лесов, как правило, из сосны, реже березы (*Betula subarctica*) и ели, а также кустарничковый покров из вороники, брусники, мхов и печеночников. Эти растительные сообщества являются переходной стадией от безлесных вороничников к хвойным лесам, о чем свидетельствуют особенности структуры и состава, а также относительно мощный торфяной горизонт.

На крупных островах нередко формируются болота и микроболотца, разнообразные по флористическому составу. На морских островах они мелкоконтурные и встречаются отдельными пятнами среди вороничника. В состав микроболотца входят осоки, особенно часто *Carex rariflora*, а также *Juncus filiformis*, *Eriophorum polystachyon*, *E. vaginatum*, *Andromeda polifolia*, *Sphagnum* spp. и немногочисленные гипновые мхи. Для лесных островов характерны небольшие сфагново-осоковые болота, грядово-мочажинные болота с *Andromeda polifolia*, *Carex dioica* и сфагнами по грядам и с *Carex* spp., *Menyanthes trifoliata* и *Scorpidium scorpioides* в мочажинах и другие типы болот, подобные распространенным на материке.

На всех островах по периметру распространены приморские луга. Они представлены тремя основными типами: луга низкого, среднего и высокого уровня. В их состав входят *Leymus arenarius*, *Festuca rubra*, *Sonchus humilis*, *Juncus atrofuscus* и другие факультативные и облигатные галофиты.

Полевые работы проведены летом 2013 г. на островах и материковом побережье Порьей губы. Сделаны полные геоботанические описания и отобраны поверхностные пробы почв и болотных отложений. Участки для исследования выбирали с учетом наибольшей репрезентативности растительных сообществ и сочетаний физико-географических условий (табл. 1, рис. 1).

Геоботанические описания выполняли на пробных площадях, которые в лесу составляли 400 м², на болотах и вороничниках — 25 м². Если растительное сообщество имело меньшую площадь, то описание выполняли в естественных границах. Образцы почвы для исследования спорово-пыльцевых спектров отбирали с поверхности мощностью по 2 см (с лесной подстилки или верхнего горизонта торфа).

Отобранные образцы обработаны ацетоллизным методом [Erdtman, 1934]. Определение пыльцы и спор проводили под световым микроскопом при увеличении 400× и 2000×. Подсчет вели до 300 пыльцевых зерен на образец. В сложных случаях при определении использовали сравнительную коллекцию пыльцы и спор арктических растений проф. К. Гаевски (Канада).

Полученные данные представлены в виде нормированной гистограммы. Кластерный анализ методом группового среднего с использованием эвклидова расстояния и анализ главных компонент выполнены в пакете PAST [Hummer et al., 2001].

Таблица 1

Информация о точках отбора субрецентных проб

Номер п/п	Точка отбора образца	Координаты	Высота н.у. моря, м	Локальная растительность
1	о. Горелый, юго-западная часть, понижение в рельефе на склоне восточной экспозиции	N66.75542 E33.77023	15	Ивовые (<i>Salix phylicifolia</i>) заросли с осоковыми (<i>Carex juncella</i>) кочками среди елово-соснового леса
2	о. Столбовая Луда 2, вершина острова	N66.67879 E33.78238	20	Полигональный морошково-голубично-брусничный вороничник
3	о. Столбовая Луда 3, склон восточной экспозиции, терраса с ложбиной и понижением	N66.67559 E33.78664	10	Воронично-осоковое (<i>Carex rariflora</i>) сфагново-зеленомошное микроболотце
4	о. Столбовая Луда 3, субгоризонтальная поверхность на юго-восток от вершины острова	N66.67579 E33.78616	9	Морошково-голубично-брусничный вороничник
5	о. Медвежий, в 15 м от вершины острова на юго-восток, ложбина среди скал	N66.72341 E33.69693	40	Бруснично-голубичный вороничник, зарастающий отдельно стоящими соснами и елями
6	о. Медвежий, южная часть острова, терраса с понижением на склоне юго-восточной экспозиции	N66.72292 E33.69502	30	Осоково (<i>Carex globularis</i>)-пушицевое (<i>Eriophorum vaginatum</i>) сфагново микроболотце
7	о. Медвежий, болото в центре острова, юго-западный край болота	N66.72348 E33.68664	7	Грядово-мочажинное болото с пухоносом (<i>Trichophorum cespitosum</i>), осоками (<i>Carex aquatilis</i> , <i>C. lasiocarpa</i>) и гипновыми мхами
8	Материковое побережье, в 200 м на восток от дер. Порья губа	N66.77654 E33.76623	9	Осоково-разнотравное болото с единичными ивами и ерником
9	Материковое побережье, на восток от дер. Порья Губа, 400 м на запад от горы Глядень	N66.78124 E33.79514	98	Мезотрофное разнотравно-осоково-пухоносное гипново-сфагново болото
10	Там же	N66.78115 E33.79522	97	Мезотрофное разнотравно-осоковое сфагново болото
11	о. Долгая Луда, вершина луды	N66.77229 E33.68543	6	Бруснично-голубичный вороничник
12	о. Долгая Луда, юго-восточная часть, пологий склон	N66.77115 E33.68757	5	Толокнянковый вороничник с <i>Ptilidium ciliare</i>
13	о. Одинокая Луда, юго-юго-западный склон	N66.77828 E33.61482	5	Разнотравный можжевельниковый вороничник с <i>Rhytidium rugosum</i> и <i>Pleurozium schreberi</i>
14	о. Корабейный, вершина острова	N66.78237 E33.61059	14	Елово-березовый багульниково-чернично-бруснично-вороничный зеленомошный лес
15	о. Березка, вершина острова	N66.81257 E33.56626	3	Бруснично-арктоусовый вороничник
16	о. Зеленый Северный, вершина острова	N66.80657 E33.56588	5	Березово-елово-сосновый чернично-бруснично-вороничный зеленомошный лес
17	о. Крестовый, вершина острова	N66.67547 E33.90281	15	Морошково-брусничный вороничник с лишайниками и зелеными мхами
18	о. Озерчанка, вершина, пологая ложбина на скальной террасе	N66.67830 E33.88370	24	Багульниковый арктоусово-бруснично-голубичный вороничник
19	о. Скалистый, 10 м на восток от вершины острова	N66.69260 E33.86898	21	Багульниковый голубично-арктоусовый вороничник
20	о. Крайний Хлебец, в 5 м на северо-запад от вершины острова	N66.69912 E33.84105	14	Монодоминантный вороничник

Окончание табл. 1

Номер п/п	Точка отбора образца	Координаты	Высота н.у. моря, м	Локальная растительность
21	о. Двойной, в 20 м на юго-запад от вершины, выпуклая поверхность	N66.71831 E33.80408	20	Морошково-брусничный вороничник с лишайниками
22	о. Большой Ягодный, выпуклая поверхность острова	N66.78361 E33.66806	20	Елово-сосновый бруснично-черничный зеленомошный лес
23	о. Горелый, восточная сторона острова, пологий склон	N66.75903 E33.77603	12	Еловый мелкопапоротниково-бруснично-разнотравный лес
24	о. Малый Перуний, понижение в центральной части острова	N66.77382 E33.63180	7	Еловый багульниково-черничный лес
25	о. Малый Перуний, центральная часть острова	N66.77285 E33.63335	8	Сосновый бруснично-вороничный лес
26	о. Уголок, центральная часть острова	N66.76956 E33.59691	3	То же
27	о. Ястребиный, юго-восточная часть острова, пологая терраса	N66.79177 E33.59263	4	Сосновый с березой вороничный зеленомошный лес
28	о. Ястребиный, западный склон приморских скал, в ложбине	N66.79253 E33.58572	7	Разреженный осиновый вороничный лес
29	о. Малая Плоская Луда, выпуклая поверхность острова	N66.79284 E33.67966	2	Вороничник с отдельными соснами
30	о. Тихий Северный, выпуклая поверхность острова	N66.75198 E33.60658	2	Брусничный вороничник с отдельными соснами

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты спорово-пыльцевого анализа представлены в табл. 2. В целом список таксонов во всех пробах оказался сходным и типичным для зоны северной тайги. Группа древесных и кустарниковых растений представлена видами родов *Pinus* (*P. sylvestris*), *Picea* (*P. obovata*, *P. fennica*), *Betula* (*B. subarctica*, *B. callosa*, *B. czerepanovii*), *Alnus* (*A. incana*, *A. kolaensis*), *Salix* (*S. phylicifolia*, *S. caprea* и др.), *Sorbus* (*S. aucuparia* (incl. *S. gorodkovii*)). Эти виды обычны в составе древесного и кустарникового ярусов материковых и островных лесов. Единично встречены пыльцевые зерна *Corylus avellana*, происхождение которых не вполне ясно, так как орешник на этой территории не встречается. Почти во всех спектрах хорошо представлена группа кустарничков, в которую входят *Betula nana* и вересковые *Calluna vulgaris*, *Empetrum hermaphroditum*, *Arctous alpina*, *Arctostaphylos uva-ursi*, виды рода *Vaccinium*. Из трав постоянно представлены в спектрах виды семейств Роасеае и Сурегаеае, встречаются также виды семейств Ариасеае, Астерасеае, Кампанулаеае, Caryophyllaceae, Chenopodiaceae (вероятно, *Atriplex nudicaulis*), Onagraceae, Rosaceae (чаще всего *Rubus chamaemorus*), Urticaceae, Ranunculaceae. В 1/3 поверхностных спектров присутствуют единичные пыльцевые

зерна полыни (*Artemisia*), которая не входит в списки островных флор. По-видимому, эти пыльцевые зерна занесены издалека. Из споровых в поверхностных спектрах постоянно присутствуют сфагновые и зеленые мхи, часто встречаются также споры папоротников из семейства Polypodiaceae и споры плауновидных (*Lycopodium annotinum* и *Selaginella selaginoides*).

Соотношение основных групп растений в пыльцевых спектрах представлено на рис. 2. Как видно на этой диаграмме, оно сильно колеблется в зависимости от места взятия проб. Так, в образцах, отобранных в почве под пологом леса, как на материке, так и на островах (точки 1, 14, 16, 22–28), абсолютно доминирует пыльца деревьев — от 80 до 95% от общего состава спектра. Кустарнички, прежде всего представители вересковых, присутствуют во всех спектрах, но их доля не превышает 5–7% от общего спектра.

Сильно отличаются от лесных поверхностные спектры образцов с безлесных островов, на которых основные растительные сообщества представлены вороничниками (точки 2, 4, 11–13, 17–21). Доля древесных в таких спектрах составляет всего 40–70%, а доля кустарничков (прежде всего *Empetrum*) — 10–20%, иногда достигая 25%. Промежуточное положение между лесами и островными

Таблица 2

Покомпонентное содержание пыллы и спор*

Состав пыллы и спор		Точки отбора субрецентных спектров																														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
		Относительное содержание групп общего состава, %																														
Пыллыца	деревьев и кустарников	68	44							61	71	61	61	82	82	84	81	93	80	81	81	88	95	77	93	83	78	60	95	70	79	
	кустарничков	9	49	4	22	16	40	8	26	19	16	28	33	6	6	10	5	2	5	1	14	1	<1	11	1	<1	2	8	1	9	17	
	трав	12	3	15	17	10	7	1	6	14	8	6	2	3	3	2	8	1	3	4	1	1	1	4	4	7	7	3	1	17	3	
	Споры	11	4	6	9	6	3	2	5	6	5	5	4	9	9	4	6	4	4	12	14	4	10	4	8	2	10	13	29	3	4	1
Число пыльцевых зерен деревьев и кустарников на образец																																
Alnus incana s.l. (incl. A. kolaensis)		3	7	8	8	3				1	3	4	5	1	5	5	6	4	11	3	13	11	12		4	2	15	3	6	5	2	3
		12	60	54	12	43	40	28	38	57	35	14	17	16	45	164	48	16	15	56	22	16	15	55	10	51	12	15	30	26	23	
									1	1						2				1							2	1				
Picea × fennica		64	7	20	8	10	26	7	49	32	19	3	11	7	19	19	7	9	11	11	6	7	34	97	33	9	18	40	26	34	5	
Pinus sylvestris		211	126	138	55	187	181	253	160	141	124	81	111	73	204	79	114	89	149	135	111	90	252	105	125	190	230	237	135	182	221	
Sorbus aucuparia s.l.		8																														
Salix spp.					3			1	3	2		3	4		1		1	2	6		8	6		1							1	
Число пыльцевых зерен кустарничков на образец																																
Betula nana			4		4	1					4	3	2		25	1	2			9	1	6	1	15			1		8	4		
Ericaceae	Calluna vulgaris	2	6			1	3			2	3	1	5						1					1		5						
	Empetrum-type		11	9	61	6	6	1			1	24	8	54	6	16	3	29	30	31	59	50	1		2	30	1	1	18	13	19	
	Vaccinium-type	1	5	14	16	3	20	2		2		5	13	11	2	8	6	10	8	14	4	10	1			5			2	1		
	Arctostaphylos-type	1	2	7	16	2	24		1		16	11	6	15				13	11	4	11	4	3	1			7		2			

Состав пыльцы и спор		Точки отбора субрецентных спектров																													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
		Число пыльцевых зерен трав на образец																													
Apiaceae												3	3				6	1							1				3	1	
Artemisia sp.				1	1					1		1								2			2							1	2
Asteraceae	1	1	2						1						1		1		6		1					1			2	1	2
Campanula rotundifolia			3																				1								
Caryophyllaceae	1	4				3										2				2			1		1			2	2		3
Chenopodiaceae					1					2									2	6											
Cupressaceae	1	21				4	13	9		6	5								3							2					
Onagraceae	7																														
Roaceae	7					3			9	8	3	13	8	7	4		5	9	15	8	3			7	3	1			2		
Ranunculaceae				2																		2									
Rosaceae gen. sp.	6	5				2			1	1	1								4					1			3	2			2
Rubus chamaemorus	13	17	2	4					1	4		6	8				6		11	6	10	5	1				1				
Urtica dioica									1	4				6				1	1												
Неопределенные травы												11	2												3					7	
		Число спор на образец																													
Lycopodium annotinum									2		3			1				1									1			1	10
Polypodiaceae	2	19								1	3	9	3		3		5		2					28			10	4		9	3
Selaginella selaginoides		1							6		11																				
Sphagnum spp.	7	13	13	8	19	3	5		22	39	69	10	9	5	11	7	8	10	15	14	14	8	12	11	29	12	19	8	21	15	15

* Номера точек отбора проб см. табл. 1.

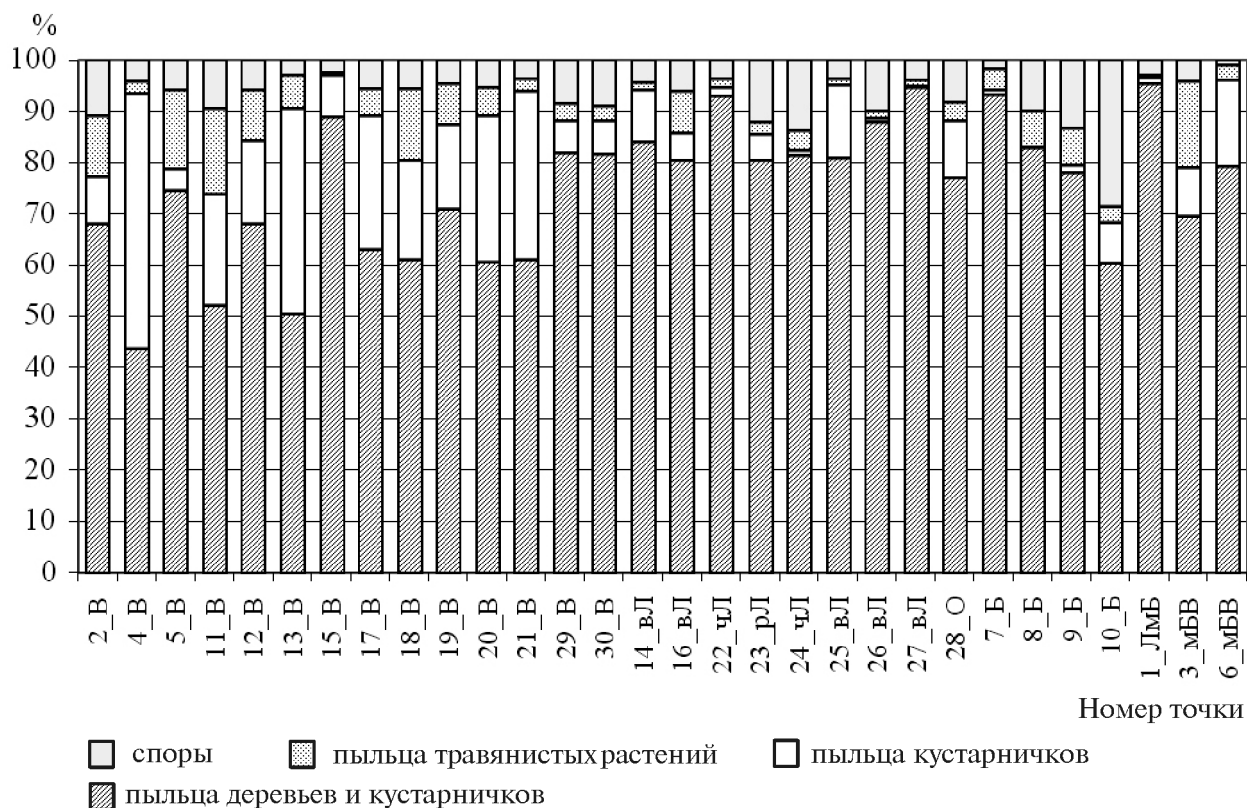


Рис. 2. Соотношение основных групп растений в пыльцевых спектрах Порей губы. Индексы у номеров точек отбора проб обозначают тип фитоценоза: Б — болота, мБ — микроболота, В — вороничники, Л — хвойные леса, О — осинные леса, в — вороничные леса, ч — черничные леса, р — разнотравные леса

безлесными вороничниками по составу спектров заняли зарастающие лесом вороничники и разреженные сосновые леса (точки 5, 15, 29, 30). В них доля вересковых кустарничков составляет 5–10% от общего спектра.

Поверхностные спектры мелких лесных болот (точки 1, 6–8) оказались неотличимы от лесных по общему составу спектров, в то время как крупные сфагновые болота (точки 9, 10) резко выделяются обилием спор сфагновых мхов (до 28%).

Состав древесного яруса в лесных сообществах также отражен в спектрах. Пыльца сосны — основной лесообразующей породы — доминирует во всех спектрах (от 30 до 78% от общей суммы). Однако на этом общем фоне четко выделяются спектры ельников (точки 1, 23, 24), в которых доля ели достигает 30%, и зарастающего березой вороничника, где береза составляет 54% (точка 15). Особое место занимает поверхностный спектр осинника (точка 28), который сформировался на приморском склоне южной экспозиции. Здесь, вероятно, ранее находился дренированный толокнянковый вороничник, который позже был заселен осинами, причем, вероятно, вегетативное размножение сыграло ключевую роль. Поскольку пыльца осины, в данном случае образующей древесный ярус, плохо сохраняется в почве, поверхностный спектр оказался сильно искажен. В нем преобладает пыльца сосны и вересковых кустарничков, доминирующих на прилежащих территориях. О происхождении осинника на месте дренированного вороничника со скальными

участками указывает также наличие в спектре пыльцы *Caryophyllaceae*, *Roaceae*.

Сравнение полученных поверхностных спорово-пыльцевых спектров с островов и материкового побережья Порей губы методом кластеризации позволило выделить три группы (рис. 3). В *первую группу* вошли только вороничные сообщества, сформированные на островах в открытом море и на островах, открытых ветрам. Наиболее яркая отличительная черта этих спорово-пыльцевых спектров — отчетливое доминирование пыльцы *Empetrum* среди трав и кустарничков и пониженное участие пыльцы сосны. Такие спектры характерны исключительно для типичных вороничных сообществ, в состав которых входят *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*, где отсутствуют выраженные черты заболачивания и в составе ценозов не представлены *Ledum palustre* и *Arctous alpina*. Эти сообщества приурочены к средним по площади островам, вороничный торф которых отличается хорошим дренажем. Кластерная структура этой группы очень устойчива.

Вторая группа объединяет все крупные болота, где участие пыльцы травянистых растений и спор несколько выше, чем в лесах. Для этих спектров характерно участие *Carex* spp. и *Sphagnum* spp. В эту же группу попали все микроболота среди вороничников и осинник. Специфических черт спорово-пыльцевой спектр осинника не имеет. Его спектр отличается довольно низким участием пыльцы сосны, что характерно для спектров вороничников,

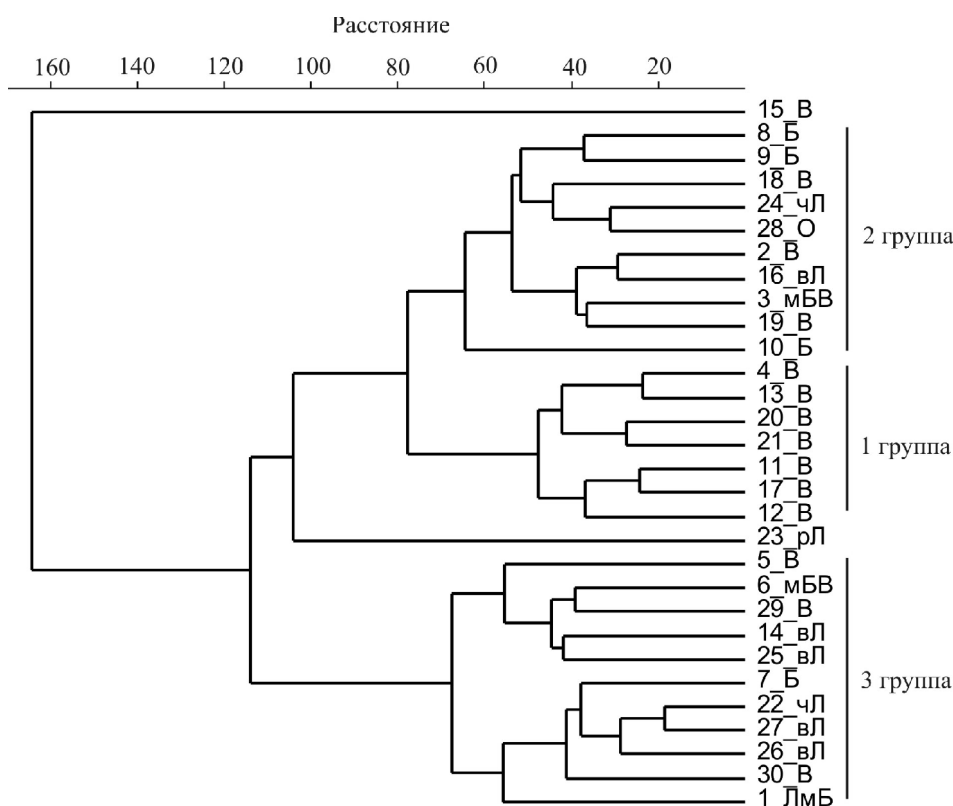


Рис. 3. Дендрограмма сходства спорово-пыльцевых спектров Порей губы. Обозначение индексов см. на рис. 2

но также он выделяется по малому числу пыльцы *Empetrum* и *Vaccinium* spp., что отличает его от этих спектров.

Отметим, что во вторую группу попали вороничники с островов Столбовой луды II (точка 2), Озерчанки (18) и Скалистого (19), находящихся в открытом море. Они также отличаются пониженным участием пыльцы древесных растений, что типично для спектров вороничных сообществ первой группы, но в то же время характеризуются незначительным числом пыльцы *Empetrum* и *Vaccinium* spp., что, вероятно, связано с ежегодным повреждением генеративных почек в результате сдувания снега, обмерзания и механических повреждений от частиц льда, перемещаемых ветром. Поэтому вересковые кустарнички меньше цветут и соответственно продуцируют меньше пыльцы. Для этих сообществ характерны мощные торфяные залежи, частичное заболачивание и участие *Ledum palustre*. В отличие от сообществ первой группы это более поздние сукцессионные стадии формирования вороничных сообществ, отличающиеся по флористическому составу и значительной мощности торфяной залежи.

Третья группа объединяет спектры вороничников, расположенных на островах во внутренней части губы, редкостойные леса и леса разного породного состава. В их спектрах преобладает пыльца сосны и ели, в разной степени участвует пыльца *Empetrum* и *Vaccinium*; относительно слабо представлены травы и кустарнички. Объединение спектров столь разных по структуре растительных сообществ в единый кластер связано с их “сукцессионной

близостью”. Эти сообщества представляют собой следующий сукцессионный ряд формирования лесов на образующихся местообитаниях в результате современного поднятия суши: безлесные вороничные сообщества → редкостойные сосняки с вороничным покровом → сосняки вороничные → сосняки черничные и брусничные. По флористическому составу первых сообществ три стадии очень близки и отличаются лишь структурой растительного покрова. В отличие от вороничных сообществ первой и второй групп для этих вороничников характерна малая мощность торфяной залежи — до 30 (40) см.

Спектры с точек отбора № 15 и 23 не вошли ни в одну группу, что связано с их своеобразием. На вершине о. Березка (точка 15) в растительном покрове тундрообразного сообщества преобладает *Arctous alpina*, что нехарактерно для растительных сообществ островов внутренней части губы. На о. Горелый (точка 23) растительность представлена ельником мелкопапоротниковым. Эти сообщества редкие, характеризуются оригинальным составом спорово-пыльцевых спектров, их нельзя отнести ни к одной из выделенных групп.

Результаты анализа методом главных компонент хорошо согласуются с выделенными группами на основе кластерного анализа (рис. 4). Первую компоненту варьирования можно интерпретировать как степень открытости ветрам — вороничники первой группы всегда формируются в условиях открытого моря, болота имеют разреженный древостой и хорошо продуваемы, леса и вороничники во внутренней части губы защищены от сильных ветров. Вторую компоненту мы интерпретируем

как степень увлажнения, увеличивающуюся от вороничников и лесов к болотам разного типа. Отметим, что леса, редколесья и вороничники во внутренней части залива составили одну группу.

Представленная диаграмма рассеивания показывает не только разницу в составе спорово-пыльцевых спектров, но объясняет физические причины их формирования — физико-географические факторы влияют, во-первых, на состав растительных сообществ, производящих пыльцу и споры, и, во-вторых, на распространение пыльцы по воздуху. Спектры безлесных вороничников во внешней части залива обособились потому, что эти сообщества лишены древесной растительности, расположены далеко от границы леса, а направление ветров такое, что пыльца древесных пород до них почти не долетает. Безлесные вороничники внутренних островов и болота характеризуются близкими и менее специфичными спектрами, поскольку граница леса к ним намного ближе. Таким образом, ветер, с одной стороны, влияет на состав сообщества, а с другой — на перенос пыльцы.

Составы спорово-пыльцевых спектров болот и лесов различаются вследствие разницы в составе сообществ, что часто сопряжено с условиями увлажнения. Вороничники внутри и вне леса (на внешних островах) не отличаются по составу сообществ, но отличаются по спектрам из-за расстояния до ближайшей границы лесных сообществ.

Полученные данные показывают, что даже внутри таежной зоны спорово-пыльцевые спектры безлесных островов с тундрообразной растительностью отличаются достоверно. Подобные закономерности были выявлены ранее при исследовании истории растительного покрова и границы леса на севере Канады [Gajewski, 2006], что свидетельствует о возможности применения спорово-пыльцевого анализа при изучении истории растительности Севера, как зональной, так и локальной.

Выводы:

— спорово-пыльцевые спектры субрецентных проб с островов Порьей губы Белого моря адекватно отражают как зональную растительность (северная тайга), так и локальные особенности изученных фитоценозов. Исключение составляют осинники, субрецентные спорово-пыльцевые спектры которых сильно искажены;

— спорово-пыльцевые спектры проб с малых безлесных островов, покрытых вороничниками, от-

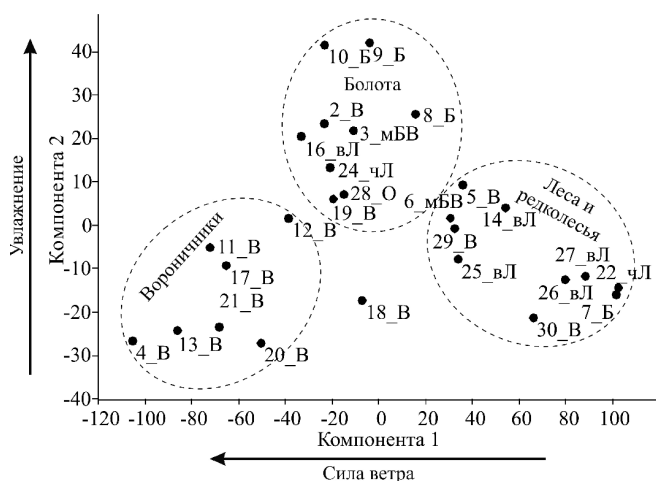


Рис. 4. Диаграмма рассеивания спорово-пыльцевых спектров Порьей губы (метод главных компонент). Обозначение индексов см. на рис. 2

личаются от спектров материковых районов и спектров облесенных островов, как по общему составу, так и по участию отдельных таксонов;

— спектры субрецентных проб елово-сосновых, сосновых кустарничковых лесов и вороничников в средней и внутренней частях залива могут быть очень близки по составу, что связано с интенсивной эволюцией островных экосистем в условиях современного поднятия суши;

— спорово-пыльцевой анализ почв и торфяников островов Белого моря можно применять при изучении истории растительности, поскольку анализ спорово-пыльцевых спектров субрецентных отложений дает хорошо интерпретируемые результаты. Воссоздание картины растительного покрова прошлого необходимо проводить с учетом ландшафтной приуроченности сообществ и физико-географических особенностей островов, что может способствовать адекватной интерпретации результатов их спорово-пыльцевого анализа.

Авторы признательны заместителю директора по НИР А.С. Корякину и сотрудникам Кандалакшского заповедника за организацию и помощь в проведении полевых работ, профессору лаборатории палеоклиматологии Университета Оттавы К. Гаевски за консультации и предоставленную сравнительную коллекцию пыльцы и спор, а также благодарят рецензентов за внимательное отношение и конструктивные замечания к рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Агроклиматический справочник по Мурманской области / Под ред. М.С. Егоровой. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 88 с.

Agroclimaticheskii spravochnik po Murmanskoi oblasti [Agroclimatological data sheet to the Murmansk region] / Ed. M.S. Egorova, Gidrometeizdat, Leningrad, 1961, 88 p. (in Russian).

Бреслина И.П. Приморские вороничники — особые тундрообразные экстразональные образования // Природа и хозяйство Севера. Вып. 3. Апатиты, 1971. С. 89–91.

Breslina I.P. Primorskie voronichniki — osobye tundraobraznye ekstrazonal'nye obrazovaniya [Maritime crowberry heaths — pecial tundra-like extrazonal communities], Priroda i khozyaistvo Severa, V. 3, Apatity, 1971, pp. 89–91 (in Russian).

Евдокимова Т.И. О характере почвенного покрова территории Беломорской биологической станции МГУ // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 6. Почвоведение. 1972. № 3. С. 69–78.

Evdokimova T.I. O kharaktere pochvennogo pokrova territorii Belomorskoi biologicheskoi stantsii MGU [About a soil cover character of MSU White Sea Biological Station area], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 6, Pochvovedenie, 1972, no 3, pp. 69–78 (in Russian).

Елина Г.А., Лукашов А.Д., Юрковская Т.К. Позднеледниковье и голоцен Восточной Фенноскандии (палеорастительность и палеогеография). Петрозаводск, 2000. 242 с.

Elina G.A., Lukashov A.D., Yurkovskaya T.K. Pozdnelednikov'e i golotsen Vostochnoi Fennoskandii (paleorastitel'nost' i paleogeografiya) [Postglaciation and Holocene in Eastern Fennoscandia (paleovegetation and paleogeography)], Petrozavodsk, 2000, 242 p. (in Russian).

Елина Г.А., Филимонова Л.В. Динамика растительности северо-запада Кольского полуострова в голоцене // Ботан. журн. 2000. Т. 85, № 9. С. 34–55.

Elina G.A., Filimonova L.V. Dinamika rastitel'nosti severo-zapada Kol'skogo poluostrova v golotsene [Holocene dynamic of vegetation in the north-western part of Kola Peninsula], Botanicheskii zhurnal, 2000, Vol. 85, no 9, pp. 34–55 (in Russian).

Зарецкая Н.Е., Шевченко Н.В., Басилян А.Э. и др. Голоценовая малакофауна полуострова Киндо (Кандалакшский залив Белого моря): геолого-геохронологические исследования // Мат-лы XIX междунар. конф. (школы) по морской геологии. Т. 3. М.: ГЕОС, 2011. С. 154–159.

Zaretskaya N.E., Shevchenko N.V., Basilyan A.E. et al. Golotsenovaya malakofauna poluostrova Kindo (Kandalakshskii zaliv Belogo morya): geologo-geokhronologicheskie issledovaniya [The holocene mollusk fauna of Kindo Peninsula (Kandalaksha Bay of White Sea): geological and geochronological researches] Materialy XIX mezhdunarodnoi konferentsii (shkoly) po morskoi geologii, Vol. 3, Moscow, GEOS, 2011, pp. 154–159 (in Russian).

Зарецкая Н.Е., Шевченко Н.В., Хайтов В.М. Голоценовые тафоценозы малакофауны Белого моря: особенности формирования и радиоуглеродная хронология // Динамика современных систем в голоцене: Мат-лы III Всеросс. науч. конф. Казань, 2013. С. 160–163.

Zaretskaya N.E., Shevchenko N.V., Khaitov V.M. Golotsenovye tafotsenozy malakofauny Belogo morya: osobennosti formirovaniya i radiouglerodnaya khronologiya [The holocene mollusk's taphocenoses of the White Sea: peculiarities of forming and radiocarbon chronology], Dinamika sovremennykh sistem v golotsene: materialy III Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii, Kazan', 2013, pp. 160–163 (in Russian).

Карта почвенно-географического районирования СССР. Масштаб 1:8 000 000 / Отв. ред. И.Ю. Кульбацкая. М.: ГУГК, 1986.

Karta pochvenno-geograficheskogo raionirovaniya SSSR. Masshtab 1:8 000 000 [Map of soil-geographical demarcation of USSR. Scale 1:8 000 000], Chief ed. I.Yu. Kul'batskaya, GUGK, Moscow, 1986 (in Russian).

Колька В.В., Евзеров В.Я., Мёллер Я.Я., Корнер Д.Д. Последледниковые гляциоизостатические движения на северо-востоке Балтийского шита // Новые данные по геологии и полезным ископаемым Кольского полуострова. Апатиты, 2005. С. 15–25.

Kol'ka V.V., Evzerov V.Ya., Meller Ya.Ya., Korner D.D. Poslednikovye glytsioizostaticheskie dvizheniya na severo-

vostoke Baltiiskogo shchita [Postglacial glacioisostatic movement on the north-east of the Baltic shield], Novye dannye po geologii i poleznym iskopaemym Kol'skogo poluostrova, Apatity, 2005, pp. 15–25 (in Russian).

Колька В.В., Корсакова О.П., Шелехова Т.С. и др. Реконструкция относительного положения уровня Белого моря в голоцене на Карельском берегу (район поселка Энгозеро, Северная Карелия) // Докл. АН. Сер. геогр. 2013. Т. 449, № 5. С. 587–592.

Kol'ka V.V., Korsakova O.P., Shelekhova T.S. et al. Rekonstruktsiya otnositel'nogo polozheniya urovnya Belogo morya v golotsene na Karel'skom beregu (raion poselka Engozero, Severnaya Kareliya) [Holocene reconstruction of sea-level temporal location in Karelskii Berg area of the White Sea (vicinities of Engozero Settlement, Northern Karelia)], Doklady Akademii nauk, seria geographicheskaya, 2013, Vol. 449, no 5, pp. 587–592 (in Russian).

Кошечкин Б.И. Рельеф Кольского полуострова // Географическое общество СССР. Публичные лекции, прочитанные в лектории им. Ю.М. Шокальского. Вып. 9. Л., 1969. 28 с.

Koshechkin B.I. Rel'ef Kol'skogo poluostrova [The relief of Kola Peninsula], Geograficheskoe obshchestvo SSSR. Publichnye lektzii, pročitannye v lektorii im. Yu.M. Shokal'skogo, V. 9, Leningrad, 1969, 28 p. (in Russian).

Кутенков С.А., Стойкина Н.В. Реликтовые торфяники островов Белого моря // Тр. КарНЦ РАН, 2010. № 1. С. 52–56.

Kutenkov S.A., Stoikina N.V. Reliktovye torfyaniki ostrovov Belogo morya [Relictic peatland of islands in the White Sea], Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra, 2010, no 1, pp. 52–56 (in Russian).

Малысова Е.С. Палинология донных осадков Белого моря. Л., 1976. 118 с.

Malyasova E.S. Palinologiya donnykh osadkov Belogo morya [Palinology of deep deposits of the White Sea], Leningrad, 1976, 118 p. (in Russian).

Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: Астрель, АСТ, 2011. 632 с.

Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii [National Russian Federation atlas of soils], Astrel', AST, Moscow, 2011, 632 p. (in Russian).

Олюнина О.С., Романенко Ф.А. Поднятие Карельского берега Белого моря в голоцене по результатам изучения торфяников // Фундаментальные проблемы квартара: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. М.: ГЕОС, 2007. С. 312–315.

Olyunina O.S., Romanenko F.A. Podnyatie Karel'skogo berega Belogo morya v golotsene po rezul'tatam izucheniya torfyanikov [Holocene uplift of Karelskii Berg area of the White Sea based on study of peatlands], Fundamental'nye problemy kvartara: itogi izucheniya i osnovnye napravleniya dal'neishikh issledovaniy, GEOS, Moscow, 2007, pp. 312–315 (in Russian).

Сафронова И.Н., Юрковская Т.К., Микляева И.М., Огуреева Г.Н. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. Масштаб 1:8 000 000. Пояснительный текст и легенда к карте. М.: МГУ, 1999. 64 с.

Safronova I.N., Yurkovskaya T.K., Miklyaeva I.M., Ogureeva G.N. Zony i tipy poynosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territorii. Masshtab 1:8 000 000. Poynasnitel'nyi tekst i legenda k karte [Zones and types of altitude belts vegetation of Russia and adjacent states. Scale 1:8 000 000. Explanatory information and legend to the map], MSU, Moscow, 1999, 64 p. (in Russian).

Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В. и др. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // Докл. АН. 2012. Т. 446, № 2. С. 183–190.

Subetto D.A., Shevchenko V.P., Ludikova A.V. et al. Khronologiya izolyatsii ozer Solovetskogo arhipelaga i skorosti sovremennogo ozerного osadkonakopleniya [Chronology of lake isolation on Solovetskii Archipelago and speeds of current lacustrine sedimentation], Doklady Akademii nauk, 2012, Vol. 446, no 2, pp. 183–190 (in Russian).

Филатов Н.Н., Терзевик А.Ю. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 349 с.

Filatov N.N., Terzhevik A.Yu. Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [White Sea and its drainage basin under the influence of climatic and anthropogenic factors], Karel'skii nauchnyi tsentr, Petrozavodsk, 2007, 349 p. (in Russian).

Филимонова Л.В. Поверхностные и приповерхностные спорово-пыльцевые спектры из среднетаежной подзоны Карелии // Актуальные проблемы палинологии на рубеже третьего тысячелетия: тез. докл. IX Всеросс. палинологической конф. М.: Изд. ИГиРГИ, 1999. С. 311–313.

Filimonova L.V. Poverkhnostnye i pripoverkhnostnye sporovo-pyl'tsevye spektry iz srednetaezhnoi podzony Karelii [Surface and subsurface spore-pollens specters from middle taiga of Karelia], Aktual'nye problemy palinologii na rubezhe tret'ego tysyacheletiya: tezisy dokladov IX Vserossiiskoi palinologicheskoi konferentsii, IGI RGI, Moscow, 1999, pp. 311–313 (in Russian).

Erdtman G. An introduction to pollen analysis. Waltham, 1943. 239 p.

Gajewski K. Essai is arctic palynology a “blunt instrument?” // Géographie physique et Quaternaire. 2006. Vol. 60, N 2. P. 95–102.

Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis // Paleontologia Electronica. 2001. Vol. 4, N 1. 9 p.

Kolka V.V., Yevzerov V.V., Møller J.J., Corner G.D. Post-glacial sea-level change at Umba, Kola Peninsula, Northern Russia // 2th Queen workshop. S.-Petersburg, Russia. February 5–8, 1998. P. 27.

Zaretskaya N., Shevchenko N., Simakova A., Sulerzhitsky L. The North Dvina river delta development over the Holocene: geochronology and palaeoenvironment // Geochronometria. 2011. Vol. 38, N 2. 2011. P. 116–127.

Поступила в редакцию
13.11.2014

M.N. Kozhin, E.G. Ershova, O.I. Smyshlyayeva, K.B. Popova

MODERN POLLEN SPECTRA OF THE WHITE SEA ISLANDS (CASE STUDY OF THE PORIYA GUBA BAY)

The article discusses the relationships between the actual local vegetation of the White Sea islands and their modern surface pollen spectra. Surface soils and peat were sampled on the islands and the mainland coast of the Poriya Guba Bay under different geographical conditions and plant communities. The obtained spectra were analyzed using the cluster analysis and the principal component analysis. The results show that the modern pollen spectra adequately reflect both the zonal vegetation, i.e. the northern boreal forests, and its local features. The typical treeless communities located on the open-sea islands and dominated by *Empetrum* are the most clearly identified by the surface pollen spectra. Other plant communities have less specific pollen spectra. The surface spectra from forests, open woodlands and dwarf shrub communities in the inner part of the bay are rather similar in composition. This suggests their common formation as different stages of a single succession. Surface spectra of bogs and waterlogged *Empetrum* communities are also quite similar.

It is shown that the openness to winds and humidification are important factors for the formation of modern pollen spectra of the islands. The results prove that within the boreal forest zone the treeless islands with dwarf shrub vegetation have specific surface pollen spectra, which agrees with the previous studies in other sub-Arctic regions. The patterns revealed in the course of the study could be used for interpreting the results of the pollen analysis of fossil deposits of the White Sea islands.

Key words: islands, modern pollen spectra, dwarf shrub (*Empetrum*) communities, the White Sea.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

УДК 551.465

И.П. Медведев¹, В.С. Архипкин²КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ МОРЯ В ГОЛУБОЙ БУХТЕ (ГЕЛЕНДЖИК)³

Данные акустического волнографа, записывающего флуктуации уровня поверхности с частотой 5 Гц, использованы для изучения особенностей колебаний уровня в Голубой бухте Черного моря. Спектральный анализ непрерывных рядов наблюдений позволил выделить основные суточные и полусуточные приливные составляющие в спектрах колебаний уровня моря. В спектрах выявлен пик с периодом ~4,8 ч, который, возможно, обусловлен резонансом собственных колебаний моря и мелководных составляющих прилива. При помощи гармонического анализа оценены амплитуды и фазы основных суточных и полусуточных гармонических постоянных приливов для Голубой бухты. В диапазоне периода от 2 мин до 1 ч при помощи спектрального анализа выявлены собственные колебания в Голубой бухте с периодами 17,6; 15,5; 13 и 6 мин. Пики на частотах <5 цикл/ч, вероятно, определяются частотно-избирательными свойствами шельфа этой акватории и собственными колебаниями в соседней Геленджикской бухте. Спектральные пики $f > 7$ цикл/ч формируются собственными колебаниями уровня непосредственно в Голубой бухте.

Ключевые слова: колебания уровня моря, приливы, сейши, спектральный анализ, акустический волнограф, Голубая бухта, Черное море, Геленджикская бухта.

Введение. Черное море — почти полностью замкнутый внутриматериковый бассейн. В юго-западной части оно сообщается через проливы Босфор, Дарданеллы и Мраморное море со Средиземным морем; в северо-восточной части — через Керченский пролив с Азовским морем. Черное море одно из самых изолированных морей Мирового океана, что приводит к формированию уникального режима изменчивости уровня внутри бассейна. Приливы, высота которых в открытом океане достигает нескольких метров, почти не проникают в Черное море. Вследствие этого внутри моря формируется собственный прилив, который представляет собой реакцию водной массы бассейна на непосредственное воздействие приливообразующих сил. Несмотря на относительно небольшую амплитуду приливов Черного моря, их точная оценка чрезвычайно важна для понимания общей динамики моря. Приливо-отливные явления — это регулярные периодические колебания уровня моря и течений, постоянно присутствующие в Черном море, и все другие процессы происходят на их фоне. Наибольшей амплитуды в Черном море достигают непериодические и квазипериодические колебания уровня (сгонно-нагонные, сезонные).

Систематические наблюдения за колебаниями уровня Черного моря начались в конце XIX в. Подробный обзор особенностей изменчивости уровня Черного моря и его отдельных акваторий приведен

в работах [Фомичева и др., 1991; Горячкин, Иванов, 2006]. В межгодовой изменчивости уровня Черного моря выделяются сезонные колебания, размах которых составляет до 30 см и зависит в большей степени от изменчивости суммарного речного стока [Фомичева и др., 1991]. Изменения атмосферного давления и ветрового напряжения генерируют метеорологические колебания уровня. При экстремальных значениях скорости ветра в мелководных частях моря формируются штормовые нагоны, высота которых достигает нескольких метров [Герман, Левиков, 1988].

Несмотря на длительную историю изучения периодических и непериодических колебаний уровня Черного моря, отдельные особенности уровня изменчивости до сих пор остаются неясными. Так, в спектрах мезомасштабных колебаний уровня в отдельных пунктах моря — кроме основных энергонесущих составляющих — выявлен спектральный пик с периодом ~5 ч, механизм формирования которого составляет предмет дискуссий [Герман, Левиков, 1988]. В статье рассмотрены колебания уровня в Голубой бухте (Геленджик), в которой в течение нескольких лет работал акустический волнограф, регистрирующий флуктуации уровня моря с частотой 5 Гц. Полученные при помощи этого прибора измерения позволяют исследовать особенности уровня изменчивости как в самой Голубой бухте (собственные колебания в бухте), так и во всем

¹ Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, мл. науч. с.; Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, лаборатория комплексных эколого-географических исследований Арктики, мл. науч. с., канд. физ.-мат. н.; e-mail: medvedev@ocean.ru

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

³ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 13-05-41360 и № 15-0505986) и РНФ (гранты № 14-37-00038 и № 14-50-00095).

Черном море (собственные колебания моря и приливы).

Материалы и методы исследований. Начиная с лета 2007 г. на базе Южного отделения Института океанологии имени П.П. Ширшова РАН в Голубой бухте (рис. 1) каждый год силами студентов и преподавателей кафедры океанологии МГУ имени М.В. Ломоносова при помощи дистанционного акустического волнографа “LOG_aLevel” фирмы “General Acoustics” проводятся инструментальные измерения изменчивости уровня поверхности. Волнограф устанавливается ежегодно в летний сезон (с конца мая по середину июля) и в зимний сезон (конец января — начало февраля) и регистрирует флуктуации уровня поверхности с частотой 5 Гц и разрешением 1 мм. По результатам измерений, проведенных с 2007 по 2013 г., удалось сформировать 7 отдельных рядов наблюдений, характеристики которых представлены в табл. 1. Эти ряды и послужили материалом исследований. Все ряды были проверены на наличие выбросов и сбоев. Для изучения мезомасштабных и синоптических колебаний уровня путем фильтрации исходных данных сформированы ежечасные ряды наблюдений. Для анализа собственных колебаний в Голубой бухте использованы ежеминутные ряды наблюдений.

Результаты исследований и их обсуждение. *Спектр колебаний уровня моря в Голубой бухте.* Колебания уровня моря представляют собой суперпозицию многочисленных волн с разными частотой и амплитудой. Для оценки распределения энергии колеба-

Таблица 1
Характеристики наблюдений, использованных в статье

Номер п/п	Год	Период наблюдений	Длина ряда, ч	Длина ряда, мин
1	2007	02.06.—11.07.	962	57 736
2	2008	10.06.—11.07.	768	46 058
3	2009	04.05.—07.07.	1560	47 284
4	2010	03.06.—26.07.	1296	77 723
5	2011	01.06.—10.07.	950	57 087
6	2012	03.06.—06.07.	808	48 494
7	2013	03.06.—25.06.	522	31 340

ний уровня по частоте удобно использовать методы спектрального анализа случайных процессов. Колебания уровня моря не являются строго стохастическим процессом. Приливные колебания уровня — регулярный детерминированный процесс, который проявляется в спектрах в виде резких дельтаобразных пиков (дискретный спектр). Изменения уровня, вызванные воздействием на поверхность моря переменного атмосферного давления и ветра, в основном носят характер случайного шума и имеют спектр в виде непрерывной функции от частоты (континуум).

В рамках исследований сформированы ряды наблюдений длительностью до 2 мес, по которым

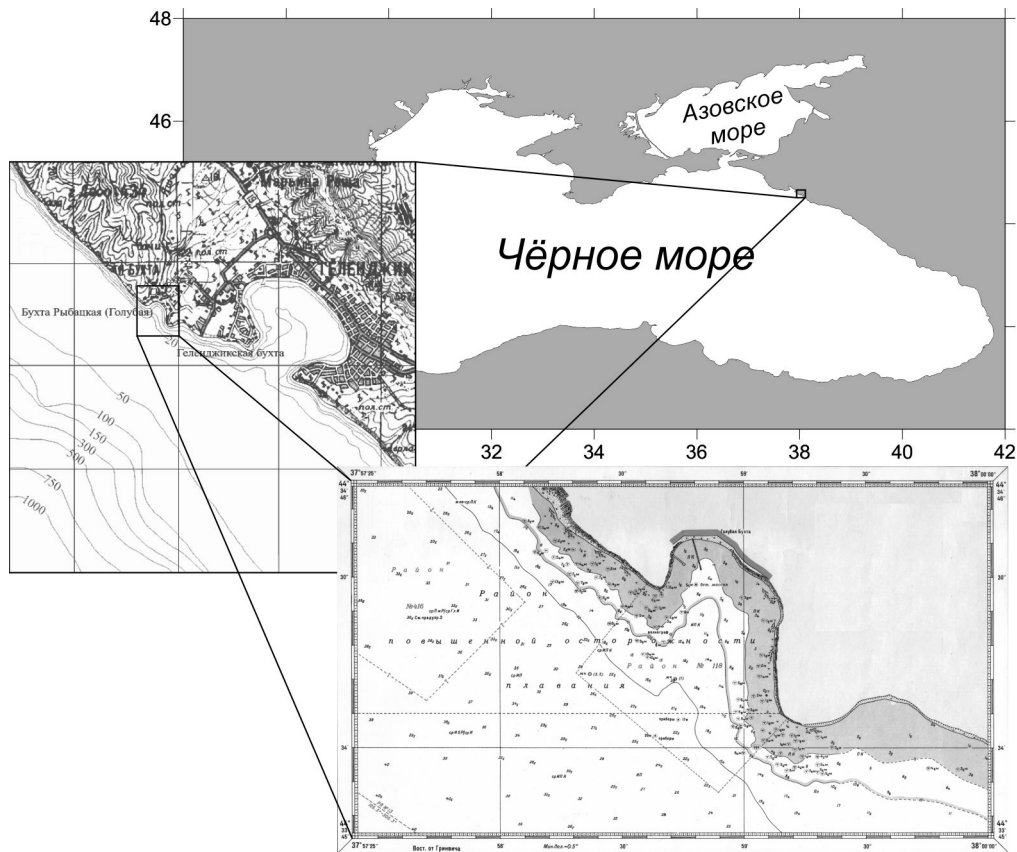


Рис. 1. Географическое положение исследуемой акватории

рассчитаны спектры колебаний уровня Черного моря в мезомасштабном диапазоне изменчивости — от нескольких часов до нескольких суток. Рассчитывали спектры с помощью быстрого преобразования Фурье с использованием прямоугольного спектрального окна длиной $N = 768$ ч и спектральным разрешением $\Delta f \approx 0,03125$ цикл/сут. Полученные для каждого года спектры оказались однотипны, вследствие чего построен общий осредненный спектр за летние периоды 2007–2012 гг. (рис. 2). Осреднение летних спектров позволило увеличить число степеней свободы ($\nu = 14$) и сузить доверительный интервал.

Основная часть спектральной энергии колебаний уровня моря в Голубой бухте сосредоточена на низких частотах (рис. 2). В сторону высоких частот наблюдается быстрый спад энергии, который соответствует закону “красного шума” (ω^{-2} , где ω — частота спектральной гармоники). Этот закон является основным в теории случайных процессов [Демченко, Кислов, 2010] и характерен для многих геофизических явлений в природе. В частности, он типичен для спектров длинных волн в открытом океане [Рабинович, 1993]. Узкие и острые дельтаобразные спектральные пики, нарушающие равномерное уменьшение энергии с увеличением частоты, вызваны приливами. На спектре (рис. 2) можно выделить следующие приливные пики: суточные K_1 (период 23,93 ч) и O_1 (период 25,82 ч) и полусуточные M_2 (период 12,42 ч) и S_2 (период 12,00 ч). Известно, что приливы в Черном море невелики [Фомичева и др., 1991], но вследствие регулярности и детерминированности процесса пики, соответствующие основным приливным гармоникам, отчетливо проявляются в спектре изменчивости уровня.

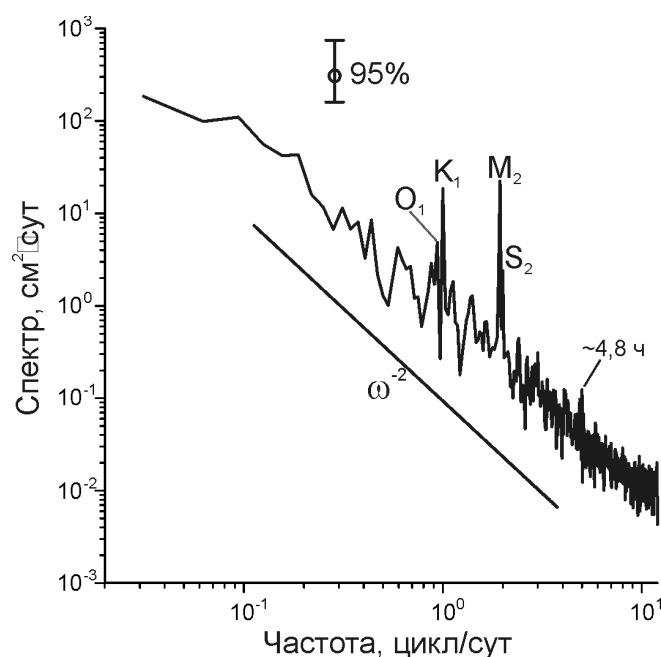


Рис. 2. Спектр уровня моря, осредненный за период наблюдений с 2007 по 2012 г. Прямая показывает закон спада спектра ω^{-2}

Нами использованы относительно короткие ряды наблюдений (несколько месяцев), вследствие чего в спектре изменчивости уровня моря удалось выделить только 4 основные приливные составляющие. Использование длительных рядов с периодом наблюдений >10 лет (как это сделано в работе [Медведев и др., 2013] для анализа изменчивости уровня Балтийского моря) позволят выделить спектральные пики, соответствующие менее значимым приливным составляющим.

На частоте 4–5 цикл/сут наблюдается относительное увеличение спектральной энергии колебаний уровня, не соответствующее закону спадания энергии ω^{-2} . Концентрация энергии в этом диапазоне частоты может быть вызвана влиянием собственных стоячих колебаний уровня (сейши) Черного моря с близким периодом на формирование спектра. Как показано в работе [Медведев и др., 2013], основные собственные моды (сейши) проявляются в спектре в виде широкого “горба”, увеличивающего энергию непрерывного спектра. Согласно [Марамзин, 1985; Архипкин и др., 1989], для Черного моря характерны собственные моды с периодами 9,5–10; 5,9–6,1; 5,6 и 4,8–5,1 ч. Последний из перечисленных периодов близок к выделенному на спектре на рис. 2. Кроме увеличения энергии непрерывной части спектра на частоте 4–5 цикл/сут выделяется дискретный пик с частотой ~ 5 цикл/сут.

В работах [Герман, 1970; Герман, Левиков, 1988] отмечено наличие пика с этой частотой на спектрах колебаний уровня в пос. Вилково (Одесская область, Украина). Авторы указанных работ предложили две гипотезы происхождения этой волны. Согласно первой гипотезе выделяемый пик соответствует продольной одноузловой сейше Черного моря с периодом 4,5 ч, определенной теоретически в работе [Курчатов, 1926]. Исследователи отмечают, что столь близкого совпадения периодов недостаточно для доказательства подобного предположения. Согласно второй гипотезе этот спектральный пик соответствует приливной мелководной составляющей. Вилково расположено в 19 км от морского края дельты р. Дунай [Герман, 1970], что благоприятствует формированию нелинейных мелководных приливных составляющих. Сами авторы [Герман, 1970; Герман, Левиков, 1988] больше склоняются к второй гипотезе, так как если бы этот пик соответствовал сейше, то он бы наблюдался в спектрах колебаний уровня моря в разных районах бассейна. В работе [Герман, 1970] рассмотрены спектры в 8 пунктах Черного моря (Вилково, Севастополь, Ялта, Керчь, Туапсе, Поты, Батуми и Одесса), но острый пик с периодом $\sim 4,8$ ч проявлялся только на спектрах изменчивости уровня моря в Вилково. Вследствие этого выдвинуто предположение, что составляющая с периодом 4,8 ч — индивидуальная особенность приливных колебаний уровня в пос. Вилково [Герман, 1970; Герман, Левиков, 1988]. Результаты наших исследований де-

монстрируют, что наличие пика с периодом 4,8 ч в спектре колебаний уровня проявляется и в районе Голубой бухты. Таким образом, этот пик характерен не только для устьевой зоны р. Дунай, поэтому указанные выше проблемы не теряют актуальность.

Приливные колебания уровня моря в Голубой бухте.

Суточные и полусуточные составляющие прилива ярко выражены в спектрах изменчивости уровня моря в Голубой бухте (рис. 2). Для получения характеристик основных компонент прилива с высокой точностью был применен гармонический анализ приливов [Pugh, 1987; Кондрин, 2008]. Нами для расчета гармонических постоянных приливов использовали метод наименьших квадратов [Parker, 2007; Кондрин, 2008]. Для расчета гармонических постоянных выбраны ежечасные ряды с периодом наблюдений около 1,5–2 мес в 2007, 2008, 2009, 2010, 2011 и 2012 гг. Рассчитано 14 приливных гармоник: 2 суточные (O_1 и K_1), 3 полусуточные (N_2 , M_2 , S_2) и 8 высокочастотных мелководных (M_3 , S_3 , MK_3 , SK_3 , M_4 , MS_4 , S_4 , SK_4 , $2SK_5$). В табл. 2 представлены гармонические постоянные основных приливных составляющих для отдельных годов наблюдений и векторно осредненные: H — амплитуда, G_L — фаза по местному времени, G_G — фаза по Гринвичу.

Основное внимание уделялось суточным и полусуточным гармоникам. Амплитуда главной лунной гармоники O_1 составляет ~0,45 см, лунно-солнечной деклинационной гармоники K_1 ~1,0 см. Отношение амплитуд основных суточных гармоник $O_1/K_1 = 0,44$, что существенно ниже их отношения в приливном потенциале (согласно [Pugh, 1987], $H_{O_1}/H_{K_1} \approx 0,71$). Среди всех приливных составляющих наибольшей амплитуды достигает главная лунная полусуточная гармоника ($M_2 = 1,2$ см). Амплитуда солнечной полусуточной гармоники равна 0,33 см, лунно-солнечной гармоники N_2 — 0,22 см. Амплитуды некоторых гармоник существенно варьируют от года к году. Так, амплитуда гармоники K_1 изменяется в пределах 0,86–1,20 см, N_2 — от 0,15 до 0,44 см. Диапазон изменчивости амплитуды гармоник O_1 , M_2 и S_2 не превышает 0,1–0,2 см. Фазы рассматриваемых гармоник также варьируют от года к году в пределах 30–40°. Подобный разброс фаз вызван короткими рядами наблюдений и малой амплитудой приливных составляющих.

Кроме основных суточных и полусуточных гармоник были рассчитаны и мелководные гармонические постоянные. Выявлено, что значительной амплитуды от года к году достигает только гармоника $2SK_5$ (4,7975 ч) — до 0,12 см.

По результатам анализа рассчитаны негармонические приливные постоянные, такие, как тип приливных колебаний и максимальная высота прилива. Тип приливных колебаний определяется отношением основных суточных гармоник к главным полусуточным [Pugh, 1987]:

Таблица 2
Амплитуда (H), локальная фаза (G_L), фаза по Гринвичу (G_G) основных гармонических приливных составляющих, рассчитанные для каждого года наблюдений в Голубой бухте

Гармоника	Частота, цикл/сут	Период, ч	2007		2008		2009		2010		2011		2012		Среднее		
			H , см	G , град.	H , см	G , град.	H , см	G , град.	H , см	G , град.	H , см	G , град.	H , см	G , град.	H , см	G_L , град.	G_G , град.
O_1	0,9295	25,8193	0,53	271	0,45	281	0,41	282	0,40	280	0,42	277	0,63	322	0,45±0,08	287	246
K_1	1,0027	23,9345	0,86	238	1,08	258	1,16	232	1,04	239	1,20	243	0,99	264	1,03±0,11	246	201
N_2	1,8960	12,6584	0,21	220	0,19	252	0,34	315	0,44	281	0,21	260	0,15	271	0,22±0,10	273	188
M_2	1,9323	12,4206	1,18	291	1,08	314	1,38	289	1,17	272	1,38	284	1,25	310	1,20±0,11	293	206
S_2	2,0000	12,0000	0,35	298	0,25	291	0,36	273	0,33	280	0,43	288	0,35	326	0,33±0,05	292	202
SK_3	3,0027	7,9927	0,11	221	0,11	220	0,13	26	0,19	26	0,11	26	0,15	106	0,13±0,03	48	273
$2SK_5$	5,0027	4,7974	0,02	29	0,11	100	0,12	108	0,11	152	0,10	347	0,05	240	0,08±0,04	107	242

$$F = \frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2} + H_{S_2}}.$$

Для Голубой бухты $F = 0,96$, что характерно для неправильного полусуточного прилива (классификация приливных колебаний приведена в работах [Pugh, 1987; Parker, 2007]). Согласно работе [Фомичева и др., 1991], полусуточные приливы преобладают в западной и восточной частях Черного моря, и только в центральной части (у побережья п-ова Крым) приливные колебания уровня имеют слабо-выраженный суточный характер. Преимущественное возбуждение полусуточных гармоник, вероятно, связано с близостью полусуточного периода к низшему периоду собственных колебаний Черного моря (одноузловой сейше) [там же].

Приблизительную оценку максимально возможной теоретической высоты прилива можно получить по формуле

$$I = 2 (H_{K_1} + H_{O_1} + H_{M_2} + H_{S_2}).$$

В Голубой бухте максимальная высота прилива составляет 6,1 см. Согласно работе [Фомичева и др., 1991], наибольшей высоты прилив в Черном море достигает в Одесском заливе — до 17 см.

Результаты анализа мы сравнили с результатами А.Б. Рабиновича, рассчитавшего гармонические постоянные по данным мареографа в г. Геленджик за 1979 г. [Фомичева и др., 1991]. Разница между гармоническими постоянными, рассчитанными по данным акустического волнографа, и значениями, полученными по данным мареографа в Геленджике, невелика — амплитуды гармоник отличаются на 0,1–0,2 см, фаза на 5–10° для полусуточных гармоник и до 20–30° для суточных.

Собственные колебания в Голубой бухте. Голубая бухта представляет собой полузамкнутый морской бассейн с глубиной до 10 м, что приводит к формированию внутри нее собственных стоячих колебаний — сейш. Сейши в замкнутых акваториях возбуждаются в результате непосредственного воздействия внешних сил на поверхность океана — атмосферного давления, приземного ветра, осадков [Рабинович, 1993]. Период собственных колебаний определяется частотно-избирательными свойствами акватории (геометрией бассейна). В сейшах не наблюдается поступательное движение формы волны, происходят только перемещения поверхности уровня — поднятия и опускания. Неподвижная ось, около которой колеблется зеркало водоема, называется узловой линией. Период n -узловой сейши в случае закрытого прямоугольного невращающегося бассейна рассчитывается по формуле Мериана [Rabinovich, 2009]:

$$T_n = \frac{2L}{n\sqrt{gH}},$$

где n — число узлов, L — длина бассейна, g — ускорение свободного падения, H — средняя глубина бассейна. В заливах и бухтах собственные колебания генерируются через открытую границу и определяются следующим выражением:

$$T_n = \frac{4L}{(2n+1)\sqrt{gH}}. \quad (1)$$

При $n = 0$ “раскачивается” низшая фундаментальная (нулевая) мода Гельмгольца, которая доминирует над всеми остальными видами собственных колебаний в бухтах и гаванях с узким входом [Rabinovich, 2009]. Узловая линия этой моды находится на входе в бассейн.

Для изучения собственных колебаний в Голубой бухте по данным волнографа сформированы ежеминутные ряды измерений изменчивости уровня. На рис. 3 представлены спектры колебаний уровня, рассчитанные по ежеминутным данным. Для улучшения качества расчетов и уменьшения эффекта Гиббса в соответствии с рекомендациями работы [Emery, Thompson, 2003] использовано спектральное окно Кайзера–Бесселя с выбранной длиной $N=2048$ мин с половинным перекрытием. На частоте ниже 3 цикл/ч спектральная энергия уменьшается с увеличением частоты. На периодах 85, 57, 28,8 и 24,6 мин (рис. 3) наблюдаются слабые спектральные пики, которые, вероятно, вызваны частотно-избирательными особенностями шельфовой зоны Черного моря в этом районе. Эти пики устойчиво проявляются на всех 6 представленных спектрах (рис. 3). В диапазоне частоты от 3 до 12 цикл/ч наблюдается существенное увеличение спектральной энергии. Два основных спектральных пика в этом частотном диапазоне имеют периоды 17,6 и 6 мин. Эти пики ярко выражены на всех 6 спектрах. На большинстве спектров также можно выделить пики с периодами 15,5 и 12,8 мин. В рассматриваемом частотном диапазоне выделяются два спектральных кластера: 1) относительно низкочастотные пики ($f < 5$ цикл/ч, период > 12 мин), которые, вероятно, определяются частотно-избирательными свойствами шельфа данной акватории; 2) относительно высокочастотные спектральные пики ($f > 7$ цикл/ч, период < 8 –9 мин), которые, возможно, формируются собственными колебаниями в Голубой бухте (сейши).

Сейши. Сейши с периодом от нескольких минут до 1–2 ч характерны для многих бухт и заливов Черного моря. Согласно [Фомичева и др., 1991], сейши с периодом несколько минут (2–6 мин) могут быть вызваны резкими порывами ветра одного направления. Сейши с периодами до 15–20 мин возникают при резких колебаниях атмосферного давления, а также при изменении направления и скорости ветра [Фомичева и др., 1991].

Таким образом, в широком спектре изменчивости уровня моря в Голубой бухте можно выде-

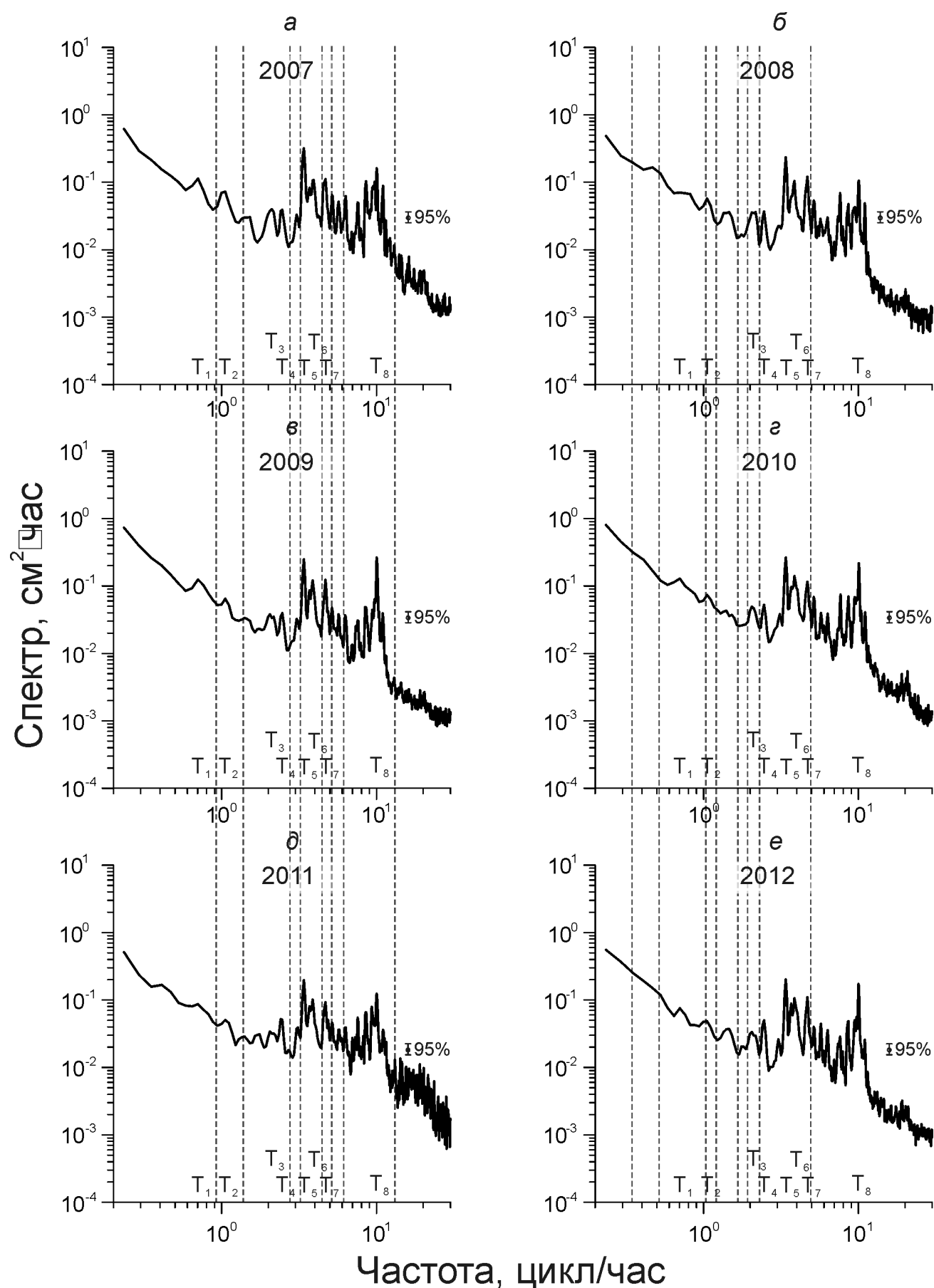


Рис. 3. Спектры колебаний уровня моря в Голубой бухте (*a–e*) в диапазоне частот от $2 \cdot 10^{-1}$ до $3 \cdot 10$ цикл/ч, построенные по ежеминутным измерениям уровня для каждого года. Вертикальными линиями показаны основные энергонесущие частоты, соответствующие спектральным пикам с периодами: $T_1 \sim 85$; $T_2 \sim 57$; $T_3 \sim 28,8$; $T_4 \sim 24,6$; $T_5 \sim 17,6$; $T_6 \sim 15,5$; $T_7 \sim 12,8$; $T_8 \sim 6$ мин

лить три типа (кластера) собственных колебаний: 1) сейши всего Черного моря с периодами от 4,8 до 9,8 ч; 2) собственные колебания северо-восточной части Черного моря вблизи Геленджикской бухты с периодами 17,6; 15,5 и 12,8 мин; 3) сейши в Голубой бухте с периодом от 4 до 8 мин. Каждый залив или бухта Черного моря характеризуется своим набором частот. Сейши всего моря должны проявляться в спектрах изменчивости уровня на всем побережье Черного моря, за исключением пунктов вблизи узловых линий. Согласно [Марамзин, 1985], узловые линии основных сейшевых мод расположены в центральной части Черного моря в направлении север–юг. Энергия собственных мод концентрируется в северо-западной части бассейна, где и наблюдаются максимальные амплитуды. Узловая линия низшей моды с периодом 9,52 ч проходит почти точно по 200-метровой изобате, фактически представляющей собой границу северо-западной части моря — Одесского залива [там же]. Амплитуда сейши в Одесском заливе приблизительно в 15 раз больше, чем у восточного побережья Черного моря.

Рассмотрим четвертую моду собственных колебаний Черного моря с периодом 4,8 ч [Марамзин, 1985]. Эта мода представляет собой трехузловую сейшу. Две узловые линии этой сейши расположены в Одесском заливе, третья проходит в центральной части моря в направлении от Крыма к побережью Турции. Наибольшие амплитуды колебаний, вызванных этой модой, должны наблюдаться в пунктах Очаков и Приморское (Одесский залив). Повышение энергии должно наблюдаться также у западного и восточного побережий Черного моря. В районе Ялты находится узловая линия, как следствие амплитуда этой моды в этой части моря должна приближаться к нулю. Вероятно, эта сейшевая мода вызывает увеличение энергии на частоте 4,9–5,1 цикл/сут и происходит резонансное усиление мелководных приливов с близкими частотами. Вследствие этого в спектрах изменчивости уровня в Голубой бухте и около пос. Вилково выделяется спектральный пик с частотой 5 цикл/сут, имеющий приливное происхождение и резонансно усиливающийся собственными колебаниями Черного моря с близкой частотой. Похожее явление можно наблюдать в заливе Фанди, где полусуточный прилив усиливается собственными колебаниями залива, вследствие чего в заливе Фанди возникают самые высокие приливы в Мировом океане.

Вопрос о природе формирования выявленных нами пиков с периодами 17,6; 15,5; 12,8 и 6 мин в спектрах колебаний уровня в Голубой бухте также остается дискуссионным. Для интерпретации этих пиков в качестве сейш требуется расчет собственных частот колебаний уровня в бухте, что планируется осуществить в будущем при помощи численного моделирования путем решения задачи на собственные значения. Так, в работе [Архипкин,

2002] при помощи этого метода удалось рассчитать периоды собственных колебаний уровня в Геленджикской бухте: 38,4 (T_0 , мода Гельмгольца); 18,6 (T_1); 14,4 (T_2); 12,6 (T_3); 12 мин (T_4). Одно- и трехузловая сейши, рассчитанные для Геленджикской бухты, имеют близкие периоды со спектральными пиками, полученными нами для Голубой бухты, что позволяет предположить существование связи между этими бухтами. Широко известно физическое явление, происходящее в случае двух маятников, соединенных между собой пружиной, — колебания одного маятника раскачивают другой, при этом в момент, когда первый маятник колеблется с максимальной амплитудой, амплитуда колебаний второго минимальна и наоборот [Rabinovich, 2009]. Подобный эффект наблюдается в некоторых акваториях Мирового океана: например, в японских бухтах Коазиро и Мороисо, расположенных на п-ве Миура недалеко от Токио, в бухтах Сьютаделла и Платья-Гран, расположенных на о. Менорка (Балеарские о-ва, Испания) [Rabinovich, 2009]. Доказать или опровергнуть представленные выше предположения будет возможно только после взаимного статистического (спектрального) анализа высокочастотных колебаний уровня в Голубой и Геленджикской бухтах.

Спектральный пик с периодом 6 мин, видимо, сформирован сейшей Голубой бухты. Оценка периода фундаментальной (нулевой) собственной моды в Голубой бухте по формуле (1) для бассейнов с открытой границей дает $T = 5,85$ мин, т.е. значение, достаточно близкое к наблюдениям, здесь $c = \sqrt{gH} \approx 7,75$ м/с — скорость длинных волн, $H = 6$ м — средняя глубина бухты, а $L \approx 680$ м — ее длина.

Выводы:

— по ежечасным наблюдениям удалось выделить основные суточные и полусуточные приливные пики (O_1 , K_1 , M_2 , S_2), а также пик с частотой 5 цикл/сут;

— на спектрах изменчивости уровня моря, построенных по ежеминутным рядам измерений, выделены пики, соответствующие частотно-избирательным свойствам шельфа в северо-восточной части Черного моря ($T = 17,6$; 15,5 и 12,8 мин) и сейши непосредственно в Голубой бухте с периодом $T = 6$ мин;

— вывод о происхождении ярко выраженного спектрального пика на частоте ~ 5 цикл/сут предварительный и требует более глубокого анализа.

Авторы благодарят С.А. Мысленкова и С.С. Мухометова, а также студентов и сотрудников кафедры океанологии МГУ имени М.В. Ломоносова, которые на протяжении 7 лет (с 2007 по 2013 г.) проводили измерения изменения уровня моря в Голубой бухте и любезно предоставили материалы для исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Архипкин В.С. Расчет сейшевых колебаний в Геленджикской бухте // Устойчивое развитие территорий юга России и Украины: эволюция, функционирование и ресурсы. Вып. 1. Севастополь: ЧФ МГУ, 2002. С. 81–89.
- Arkhipkin V.S. Raschet seishevykh kolebanii v Gelendzhikskoi bukte [Calculation of the seiches oscillations in the Gelendzhik Bay], Ustoichivoe razvitie territorii yuga Rossii i Ukrainy: evolyutsiya, funktsionirovanie i resursy [Sustainable development of the southern territories of Russia and Ukraine: evolution, functioning and resources], Sevastopol', ChF MSU, 2002, no 1, pp. 81–89 (in Russian).
- Архипкин В.С., Иванов В.А., Николаенко Е.Г. Моделирование баротропных сейш в южных морях // Моделирование гидрофизических процессов и полей в замкнутых водоемах и морях. М.: Наука, 1989. С. 104–117.
- Arkhipkin V.S., Ivanov V.A., Nikolaenko E.G. Modelirovanie barotropnykh seish v yuzhnykh moryakh [Simulation of barotropic seiches in southern seas], Modelirovanie gidrofizicheskikh protsessov i polei v zamknutykh vodoemakh i moryakh [Modeling of hydrophysical processes and fields in closed reservoirs and seas], Moscow, Nauka, 1989, pp. 104–117 (in Russian).
- Герман В.Х. Спектральный анализ колебаний уровня Азовского, Черного и Каспийского морей в диапазоне частот от одного цикла за несколько часов до одного цикла за несколько суток // Тр. ГОИН. 1970. Вып. 103. С. 52–73.
- German V.Kh. Spektral'nyi analiz kolebanii urovnya Azovskogo, Chernogo i Kaspiiskogo morei v diapazone chastot ot odnogo tsikla za neskol'ko chasov do odnogo tsikla za neskol'ko surok [Spectral analysis of sea level variability in the Azov, Black and Caspian seas in the period band from hours to days], Trudy GOIN, 1970, V. 103, pp. 52–73 (in Russian).
- Герман В.Х., Левиков С.П. Вероятностный анализ и моделирование колебаний уровня моря. Л.: Гидрометеоздат, 1988. 231 с.
- German V.Kh., Levikov S.P. Veroyatnostnyi analiz i modelirovanie kolebanii urovnya morya [Probability Analysis and Modelling of Sea Level Oscillations], Leningrad, Gidrometeoizdat, 1988, 231 p. (in Russian).
- Горячкин Ю.Н., Иванов В.А. Уровень Черного моря: прошлое, настоящее и будущее. Севастополь: МГИ НАН Украины, 2006. 210 с.
- Goryachkin Yu.N., Ivanov V.A. Uroven' Chernogo morya: proshloe, nastoyashchee i budushchee [Black Sea Level: Past, Present, and Future], Sevastopol', MGI NAN Ukrainy, 2006, 210 p. (in Russian).
- Демченко П.Ф., Кислов А.В. Стохастическая динамика эволюции природных объектов: броуновское движение и геофизические приложения. М.: ГЕОС, 2010. 189 с.
- Demchenko P.F., Kislov A.V. Stokhasticheskaya dinamika evolyucii prirodnykh obektov: brounovskoe dvizhenie i geofizicheskie prilozheniya [Stochastic Dynamics of Natural Objects: Brownian Motion and Geophysical Applications], Moscow, GEOS, 2010, 189 p. (in Russian).
- Кондрин А.Т. Методы гармонического анализа приливов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2008. № 5. С. 26–30.
- Kondrin A.T. Metody garmonicheskogo analiza prilivov [Methods of the harmonic analysis of tides], Vestnik Moskovskogo Universiteta, seria 5, Geografiya, 2008, no 5, pp. 26–30 (in Russian).
- Курчатов И.В. Сейши в Черном и Азовском морях // Изв. Центр. Гидромет. Бюро. 1925. Вып. 4. С. 149–158.
- Kurchatov I.V. Seishi v Chernom i Azovskom moryakh [Seiches in the Black and Azov seas], Izv. Tsent. Gidromet. Byuro, 1925, V. 4, pp. 149–158 (in Russian).
- Марамзин В.Я. Расчет сейшевых колебаний методом конечных элементов в бассейнах произвольной формы // Теоретические и экспериментальные исследования длинноволновых процессов. Владивосток, 1985. С. 46–67.
- Maramzin V.Ya. Raschet seishevykh kolebanii metodom konechnykh elementov v basseinakh proizvol'noi formy [Calculation of seiche oscillations finite element method in free-form swimming pool], Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya dlinnovolnovykh protsessov [Theoretical and experimental studies of long-wave processes], Vladivostok, 1985, pp. 46–67 (in Russian).
- Медведев И.П., Рабинович А.Б., Куликов Е.А. Приливные колебания в Балтийском море // Океанология. 2013. Т. 53, № 5. С. 596–611.
- Medvedev I.P., Rabinovich A.B., Kulikov E.A. Tidal oscillations in the Baltic Sea, Oceanology (Engl. Transl.), 2013, Vol. 53, no 5, pp. 526–538.
- Рабинович А.Б. Длинные гравитационные волны в океане: захват, резонанс, излучение. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 325 с.
- Rabinovich A.B. Dlinnye gravitatsionnye volny v okeane: zakhvat, rezonans, izluchenie [Long Ocean Gravity Waves: Trapping, Resonance and Leaking], Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1993, 325 p. (in Russian).
- Фомичева Л.А., Рабинович А.Б., Демидов А.Н. Уровень моря // Проект “Моря СССР”. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 4. Черное море. Вып. 1. СПб.: Гидрометеоздат, 1991. С. 329–354.
- Fomicheva L.A., Rabinovich A.B., Demidov A.N. Uroven' morya [Sea level] // Proekt “Morya SSSR”. Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei SSSR [Project “USSR’s seas”. Hydrometeorology and hydrochemistry of the seas of USSR], Vol. 4, Chernoe more (Black Sea), iss. 1, Saint-Petersburg, Gidrometeoizdat, 1991, pp. 329–354 (in Russian).
- Emery W.J., Thomson R.E. Data analysis methods in physical oceanography. 2nd and revis. N.Y.: Elsevier, 2003. 638 p.
- Parker B.B. Tidal Analysis and Prediction // NOAA spec. publ. NOS CO-OPS 3. Maryland: Silver Spring, 2007. 378 p.
- Pugh D.T. Tides, Surges and Mean Sea-Level. Chichester: John Wiley, 1987. 472 p.
- Рабинович А.Б. Сейши и harbor oscillations. In: Handbook of Coastal and Ocean Engineering / Ed. Y.C. Kim. Chapter 9. Singapore: World Scientific Publ., 2009. P. 193–236.

I.P. Medvedev, V.S. Arkhipkin

SEA LEVEL OSCILLATIONS IN THE GOLUBAYA BAY (THE TOWN OF GELENDZHİK)

Sea level oscillations in the Golubaya Bay (the town of Gelendzhik) were studied using the data of the acoustic wave recorder that registers level fluctuations with 5 Hz frequency. Analysis of the continuous series of observations made it possible to identify principal daily and semi-daily tidal components in the spectra of the Black Sea level oscillations. A peak with about 4,8 hour periodicity probably results from the resonance of the sea level oscillations themselves and the shallow-water components of a tide. The harmonic analysis was used to evaluate the amplitudes and phases of the main daily and semi-daily harmonic constants of tides in the Golubaya Bay. The spectral analysis identify the following frequencies of the sea level oscillations themselves in the range of 2 min to 1 hour: 17,6 min, 15,5 min, 13 min and 6 min. Peak values at the frequencies below 5 cycles per hour depend on the frequency-selective characteristics of the Golubaya Bay shelf and the sea level oscillations in the nearby Gelendzhik Bay. Spectral peaks at $f > 7$ cycles per hour are formed by the sea level oscillations in the Golubaya Bay itself.

Key words: sea level oscillations, tides, seiches, spectral analysis, acoustic wave recorder, the Golubaya Bay, the Black Sea.

УДК 911.3. (430)

Е.А. Шустова¹**ГЕОГРАФИЯ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ ГЕРМАНИИ**

Банковская система Германии — одна из наиболее старых банковских систем мира. Она имеет сформировавшуюся территориальную структуру, состоящую из сети разного вида банковских учреждений и характеризующуюся значительной асимметрией. При анализе банковских систем стран в подавляющем большинстве случаев применяется институциональный подход, который не может в полной мере охарактеризовать банковскую систему, особенно взаимосвязь с размещением производительных сил в пределах стран, а также с экономическим потенциалом населения территории функционирования того или иного банковского учреждения. Поскольку Германия обладает так называемой трехсекторной структурой банковской системы, то каждый сектор имеет собственные клиентскую базу, набор банковских услуг и размер балансовых средств, а следовательно, и разные факторы размещения, изучение которых необходимо для прогнозирования и стратегического планирования развития банковской системы Германии, а также поиска экономических ниш для иностранных банков, желающих вести деятельность в Германии. Выполнен анализ размещения кредитно-финансовых учреждений Германии в зависимости от правовой формы, размера и количества разных видов банков, а также вычислены и интерпретированы показатели, отображающие взаимосвязь банковских учреждений и их штандортов — коэффициент локализации и распределение филиалов по административно-территориальным единицам 2-го порядка.

Ключевые слова: банковская система, сберегательные кассы, кооперативные банки, Германия.

Введение. Германия, обладая наиболее мощной экономикой в пределах Европейского Союза, имеет очень развитый диверсифицированный третичный сектор, в состав которого по Международной стандартной отраслевой классификации входят финансовые услуги, а в их числе и банковские услуги [ISIC, 2008]. Доля третичного сектора в номинальном ВВП Германии (четвертом в мире) составляет более 2/3. Банковская система Германии — одна из наиболее старых систем с давно сформировавшейся пространственной структурой размещения банковских учреждений, что представляет значительный интерес для географической науки. Это позволяет проследить взаимосвязи секторов экономики как на субнациональном (региональном) уровне, так и в других отраслях экономики, а также выявить причины слияния промышленного и банковского капитала и формирования банковских групп, холдингов и т.д. [Financial Stability Board, 2013, p. 37–38].

Географию банковских систем стран мира неоднократно исследовали отечественные географы и экономисты, например А.Н. Лузанов [Лузанов, 2012], С.А. Андрияшин [Андрияшин, 2011], В.И. Рыбин [Национальные..., 2011], П.Ю. Фомичев [Фомичев, 2001], Е.А. Прусс [Прусс, 2011], а также их иностранные коллеги С. Гертнер [Gärtner, 2009], К.-Х. Фишер [Fischer, 2006], В. Герке и М. Штайнер [Gerke, Steiner, 2001]. Если говорить о периодических изданиях, то наиболее часто вопросы географии банков рассматриваются в журнале “Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie”. Однако в подавляющем большинстве случаев количественному и пространственному подходу предпочитают институциональный,

что не позволяет получить полную и достоверную картину функционирования национальной банковской системы страны, а также наглядно продемонстрировать как взаимосвязь банковского и реального секторов экономики, так и взаимодействие кредитно-финансовой сферы и населения, живущего на территории функционирования того или иного банка [Лузанов, 2012]. Поскольку Германия обладает специфической трехсекторной структурой банковской системы (Drei-Säulen-Struktur), то каждый из этих секторов, а именно система частных банков, система кооперативных банков, или кредитных товариществ (Genossenschaftsbanken) и система общественно-правовых кредитных институтов — земельных банков (Landesbanken) и сберегательных касс (Sparkassen), имеет собственные клиентскую базу, набор банковских услуг и размер балансовых средств, а следовательно, характеризуется и разными факторами размещения, изучение которых необходимо для прогнозирования и стратегического планирования развития банковской системы Германии, а также поиска экономических ниш для иностранных банков, желающих вести деятельность в Германии.

Материалы и методы исследований. Помимо вышеупомянутых работ экономистов и экономико-географов применялись статистика и отчеты банков, такие, как отчет Бундесбанка о числе банковских учреждений в 2012 г. [Bankstellenstatistik..., 2013], отчет Союза сберегательных касс о числе их филиалов в 2013 г. [Deutsche Sparkassen..., 2014], а также статистические данные о динамике числа кредитных учреждений [Entwicklung..., 2013]. Помимо су-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра социально-экономической географии зарубежных стран, студент; e-mail: egorshustoff@mail.ru

губо финансовых данных использованы данные о численности населения земель и округов Германии, а также о ВВП этих административных единиц.

При изучении банковской системы ФРГ автором, во-первых, в рамках институционального подхода выявлены коренные различия в функционировании и правовом статусе трех ее секторов — частном, общественно-правовом и кооперативном; во-вторых, использованы количественные методы для более точного анализа распределения банковских учреждений и выявления пространственных закономерностей их размещения. Так, вычислены показатели коэффициента локализации разных групп универсальных кредитных учреждений, а также распределения их филиалов по административным округам Германии. В-третьих, для выявления и анализа экономико-географических факторов, влияющих на формирование пространственной структуры банковской системы Германии, применялся системный подход, т.е. она рассматривалась как элемент более масштабной системы экономики Германии, что позволило в ходе рассмотрения взаимосвязей других элементов системы (промышленность, инвесторы, бизнес, население как ресурс денежных средств для инвестиций) определить системообразующую роль банков в ней.

Ключевые этапы исследования: в ходе анализа отчетов Бундесбанка рассмотрены количественные параметры банковской системы Германии, характеризующие ее масштаб, число учреждений, пропорции между тремя банковскими секторами; изучена корреляция числа банковских учреждений с разными характеристиками основной части клиентской базы каждого класса учреждений; определена степень локализации кредитных учреждений в пределах административных единиц 1-го и 2-го порядка.

Результаты исследований и их обсуждение. Банковская система представляет собой совокупность взаимосвязанных между собой элементов финансовой системы, а именно Центральный банк, орган надзора и иные институты контроля банковской системы на макроуровне; банки с разным правовым статусом и небанковские кредитные организации на микроуровне. В изучении банковских систем различных стран существует два традиционных подхода — разделение банковской системы по уровням полномочий (ЦБ и коммерческие банки — вертикальный подход), а также разделение согласно правовым аспектам банковского дела страны (Германия, США) [Национальные..., 2011].

В Германии создана двухступенчатая банковская система, состоящая из центрального банка и коммерческих банков. Центральным банком Германии является Немецкий федеральный Банк (Deutsche Bundesbank), или Бундесбанк, созданный в 1957 г. Его штаб-квартира находится во Франкфурте-на-Майне (Гессен). Помимо центрального офиса Бундесбанк состоит из 9 земельных банков и 200 отделений и филиалов.

Второй уровень банковской системы образуют коммерческие банки, среди них преобладают универсальные кредитные учреждения. Преобладание универсальных кредитных учреждений среди коммерческих кредитных учреждений объясняется тем, что Германия в начале промышленной революции не располагала достаточным капиталом, а также не имела мощной, поставленной на поток системы торговли ценными бумагами, поэтому для организации крупных промышленных предприятий промышленники не могли обойтись без крупных кредитов.

Помимо универсальных банков в Германии существуют также специализированные кредитные учреждения, к числу которых относят ипотечные банки, строительные сберкассы, гарантийные банки и кредитные гарантийные общества, а также банк, хранящий ценные бумаги (Wertpapiersammelbank).

В зависимости от правовой формы коммерческие кредитные учреждения Германии делятся на *частные, общественно-правовые и кооперативные*. Целью первых двух, в отличие от кооперативных банков, является получение прибыли.

Цель же *кооперативных банков* — оказание взаимопомощи клиентам банка, однако сейчас кооперативные банки сливаются и трансформируются по количеству и типам банковских услуг в универсальные кредитные учреждения. Впервые кооперативная форма организации кредитных учреждений была внедрена в середине XIX в. стараниями двух юристов и реформаторов Ф. Шульце-Делича и Ф. Райффайзена. В итоге, сложились два вида кооперативных банков — фольксбанки и райффайзенбанки [Stappel, 2006]. Фольксбанки основывали в городах, а райффайзенбанки — в сельской местности. Главные преимущества кооперативных банков — их горизонтальная структура управления, состоящая из множества его пайщиков, а также близость к потребителю, заключающаяся в огромном числе филиалов кооперативных банков (1106 банков и 12 895 банковских отделений в 2012 г.), участников (17,35 млн человек в 2012 г.) и клиентов (~30 млн человек в 2012 г.) [Entwicklung..., 2013]. Несмотря на небольшие размеры и локальный масштаб оказания банковских услуг, размер балансовых средств всех кооперативных банков Германии превышает размер средств Дойче Банка, крупнейшего частного банка Германии. Региональная организация сберегательных и кредитных кооперативных банков заключается в создании шпарда-банков (Spar- und Darlehenbanken) и PSD-банков (Post-Spar- und Darlehensverein, почтовые сберегательно-кредитные объединения).

Главные функции общественно-правовых кредитных учреждений, прежде всего сберегательных касс — аккумуляция свободных денежных средств у жителей той административной единицы (округа, городского округа, общины), где этот банк находится, и удовлетворение потребностей местного населения, а также мелких и средних пред-

принимателей в кредитах. Однако, в отличие от частных банков, получение прибыли не является важнейшей задачей для сберегательных касс; на первый план выходит обеспечение минимизации рисков сохранения денежных средств населения. Так как управление сберегательными кассами находится в руках муниципальных или региональных властей, то именно они и несут ответственность за риски этих кредитных учреждений.

В связи с централизацией системы сберегательных касс, реформами административно-территориального деления 2-го порядка и стремлением увеличить балансовые средства мелких сберегательных касс законами о сберегательных кассах, принятыми в каждой земле, разрешены такие общественно-правовые формы управления сберкассами, как целевые объединения (*Zweckverbände*). Они представляют собой объединения нескольких коммун или округов, в рамках которых действует определенная сберкасса.

На 31 декабря 2012 г. в Германии осуществляли банковскую деятельность 423 сберегательные кассы с 13 526 отделениями. Они объединены в 12 региональных сберегательных союзов (*Regionale Sparkassen- und Giroverbände*).

В секторе частных банков Германии выделяются три категории: 4 банка, фактически формирующие олигополию на рынке частного капитала: Дойче Банк АГ, Коммерцбанк АГ, Немецкий почтовый банк (*Postbank AG*) и ЮниКредит Банк АГ (бывший Хюпоферайнсбанк), которые в совокупности называют гроссбанками [Gerke, Steiner, 2001], региональные коммерческие банки, а также представительства и филиалы иностранных банков. [Bankstellenstatistik..., 2013].

Гроссбанки обладают наибольшими балансовыми средствами, обладая 2/3 общей суммы балансовых средств всех немецких частных банков. Величина активов Дойче Банка составляла (евро) 2,186 трлн, Коммерцбанка — 635,9 млрд, ЮниКредит Банка — 348,3 млрд, Почтового банка — 193,8 млрд (2012). Они характеризуются обширной сетью филиалов по всей Германии, а также имеют право создавать представительства и филиалы за рубежом [Financial Career..., 2011]. Различные финансовые агентства регулярно включают Дойче Банк, а также Коммерцбанк в список банков — регуляторов мировой финансовой системы, при крахе которых рухнет мировая экономика или экономика Германии в данном случае [Financial..., 2013]. Каждый гроссбанк возглавляет банковско-промышленную группу, возникшую на основе их сращивания с промышленными концернами страны в конце XIX — начале XX в. В каждую группу входит приблизительно 50 крупных фирм и предприятий.

Прочие немецкие частные банки, обладая меньшими средствами, вынуждены искать определенную нишу на рынке капитала. Так, среди частных банков выделяются банки, специализирующиеся

на ипотечных кредитах, работающие с иностранными клиентами или предприятиями реального сектора и т.д. Среди частных банков Германии наиболее успешны те банки, которые проводят также инвестиционные операции (в Германии, в отличие от США, частным банкам разрешается их проводить). Всего к концу 2012 г. осуществляли свою деятельность 390 частных кредитных институтов с 10 027 отделениями [Entwicklung..., 2013].

Количественные методы изучения географии банковской системы Германии. При изучении банковской системы Германии для более точного анализа распределения банковских учреждений и выявления пространственных закономерностей были использованы различные количественные методы.

С помощью вычисления коэффициента локализации разных групп универсальных кредитных учреждений установлено неравномерное распределение ее элементов. Метод вычисления коэффициента локализации заключается в вычислении разницы между долей объектов подсистемы региона среди всего множества объектов данной подсистемы в стране и значений доли региона среди всех объектов страны, последующем суммировании значений отклонений (положительных и отрицательных) и делении этой суммы на 2. В результате получается коэффициент, который показывает, в какой степени размещение подсистемы отличается от размещения системы в целом. Чем выше коэффициент, тем неравномернее размещение отрасли относительно той основы, которая была выбрана при исследовании. Вычисления выполнены по формулам

$$K_l = \frac{\sum_{i=1}^n |D_n|}{2},$$

$$D_n = \frac{R_s}{R_b} - \frac{R_L}{R_B},$$

где D_n — отклонение доли региона в подсистеме от доли региона в системе, R_s — число объектов подсистемы в регионе, R_b — число объектов подсистемы в стране, R_L — число объектов системы в регионе, R_B — число объектов системы в стране.

Проанализировав значения коэффициента локализации по землям Германии (таблица), можно сказать, что каждому виду кредитных учреждений присущи свои особенности локализации. Для сберегательных касс отклонения от среднего по землям положительны для земель Восточной Германии, где за время существования ГДР сложилась централизованная банковская система, характерная для социалистических стран и отличавшаяся строгой привязкой банковской деятельности к той единице административно-территориального деления, где это кредитное учреждение предоставляет свои услуги, а также для “земель-середняков” (Нижняя Саксония, Рейнланд-Пфальц, Шлезвиг-Гольштейн,

Показатели коэффициента локализации разных групп универсальных банковских учреждений Германии, в процентных пунктах*

Земли	Отклонение доли земли в общем числе банковских учреждений от доли земли в секторе			
	сберкассы	кооперативные банки	частные банки	филиалы иностранных банков
Бавария	−3,6	4,8	−6,1	−13,9
Баден—Вюртемберг	−5,8	4,1	−2,7	−8,1
Берлин	−0,7	−0,7	3,8	1,3
Бранденбург	1,4	−0,1	−1,2	−1,2
Бремен	0,2	−0,3	1,9	−0,5
Гамбург	−1,2	−1,3	6,5	2,9
Гессен	−7,8	−8,1	15,7	50,2
Мекленбург—Передняя Померания	1,2	−0,1	−0,7	−1,2
Нижняя Саксония	1,4	2,0	−5,6	−9,0
Рейнланд—Пфальц	1,2	0,8	−2,6	−5,0
Саар	0,6	0,0	−0,6	−1,1
Саксония	1,5	0,0	−1,6	−1,6
Саксония—Анхальт	1,0	0,1	−1,3	−1,8
Северный Рейн—Вестфалия	8,0	−1,5	−2,1	−7,4
Тюрингия	2,1	−0,2	−1,7	−1,7
Шлезвиг—Гольштейн	0,5	0,5	−1,8	−2,2
Германия в целом	0,0	0,0	0,0	0,0
Коэффициент локализации	19,2	12,4	27,9	54,4

* Рассчитано автором по [Bankstellenstatistik..., 2013].

Саар), в которых недостаточно сильно развит частный бизнес в кредитно-финансовой сфере. Из общего ряда сильно выделяется значительным положительным отклонением земля Северный Рейн—Вестфалия. С одной стороны, это самая населенная земля Германии, следовательно, наличие здесь большого числа сберегательных касс, агломерирующих свободную денежную массу многомиллионного населения, вполне логично. С другой стороны, в Северном Рейне—Вестфалии находилось множество крупных промышленных предприятий Рурского бассейна, которые финансировались преимущественно частными банками, и, таким образом, преимущество сберегательных касс и отрицательные отклонения от среднего по земле в секторе частных банков необычны. Однако этот парадокс объясняется сдвигами в экономике этой земли. Уже в начале XX в. сберкассы создавались здесь для накопления денег на старость и создания страхового счета на случай производственной травмы. Во время войны крупные частные банки стояли на грани краха и были затем разделены, что еще больше укрепило институт сберегательных касс, а по мере

деиндустриализации Рурской области и развития человеческого капитала свободная денежная масса огромного населения Северного Рейна—Вестфалии стала главным фактором развития финансовой деятельности в этой земле.

Очевидна локализация и кооперативных банков. Положительные отклонения наблюдаются в двух южных землях — Баварии и Баден—Вюртемберге. Две эти земли во многом схожи — в них значительно развито сельское хозяйство, велика доля сельского населения; обе земли густо населены и занимают 2-е и 3-е места по населению в стране соответственно. Поэтому в этих землях получили распространение кооперативные банки, созданные как кассы взаимопомощи членов финансового кооператива и очень востребованные в сельском хозяйстве и небольших городах, которыми изобилуют обе земли [Bahr, 2011]. Развитое сельское хозяйство и многочисленность населения в Нижней Саксонии также обусловили положительные отклонения от среднего.

В географии же частных банков налицо гегемония земли Гессен, а точнее Франкфурта-на-Майне.

В нем расположен Европейский центральный банк, а также много штаб-квартир немецких банков и филиалов иностранных банков. Франкфурт-на-Майне еще со времен Средневековья представлял собой крупный торгово-финансовый центр, что было связано с удачным географическим положением на стыке торговых и географических путей, а также близостью купеческих Валлонии и Голландии, откуда бежали многие купцы, прятавшиеся от испанского владычества. Они оседали во Франкфурте и начинали там свое дело (например, Ротшильды). Город потерял лидерство с созданием Германской империи и превращением Берлина в ее ведущий банковский центр. Банковский кризис во время Великой депрессии, аризация и Вторая Мировая война еще сильнее ослабили значение Франкфурта-на-Майне. Возрождение он пережил во 1950-е гг., когда попал в список претендентов на получение статуса столицы ФРГ, но первый федеральный канцлер К. Аденауэр протезировал Бонну; в итоге Франкфурт стал экономической столицей ФРГ. Ныне в городе расположены штаб-квартиры таких банков, как Дойче Банк АГ, Коммерцбанк АГ, Федеральный банк реконструкции и развития (Kreditanstalt für Wiederaufbau), Центральный кооперативный банк Германии (DZ Bank AG Deutsche Zentral-Genossenschaftsbank) и многих других.

Положительные отклонения от доли земель в банковском секторе страны имеют также Берлин, Гамбург и Бремен. Это объясняется как историческими факторами (создание частных банков в промышленных, портовых и административных центрах, близость иностранных государств, наиболее активные торговые связи с иностранными государствами), так и менее интенсивным развитием секторов сберегательных касс и кооперативных банков в этих городах.

У иностранных банков, функционирующих в Германии, география еще проще — они сконцентрированы во Франкфурте-на-Майне. Причины заключаются в следующем. Во-первых, иностранные банки стали появляться на территории Германии только после падения Третьего рейха, так как в свое время этому противодействовала НСДАП [Bahg, 2011]. Такой поздний приход иностранного капитала на немецкий рынок, вдобавок сократившийся за счет территорий, отошедших к СССР и Польше, не позволил иностранным банкам создать в ФРГ сеть своих представительств. Во-вторых, иностранные банки в Германии обслуживают преимущественно внешнеторговые сделки между ФРГ и странами, где расположены штаб-квартиры этих банков, поэтому их представительства расположены и в других крупных городах. В-третьих, для иностранных банков при проникновении на рынок Германии было важно взаимодействовать с крупнейшими игроками на немецком рынке капитала, имевшими свои штаб-квартиры во Франкфурте-на-Майне и в меньшем количестве в Берлине и Гамбурге.

Таким образом, можно отметить (рис. 1), что сохраняются существенные территориальные диспропорции в размещении банков по территории Германии (так, около 85% универсальных банковских учреждений сконцентрировано в 5 наиболее населенных и экономически развитых землях Германии (Бавария, Баден-Вюртемберг, Северный Рейн-Вестфалия, Нижняя Саксония и Гессен)), причем

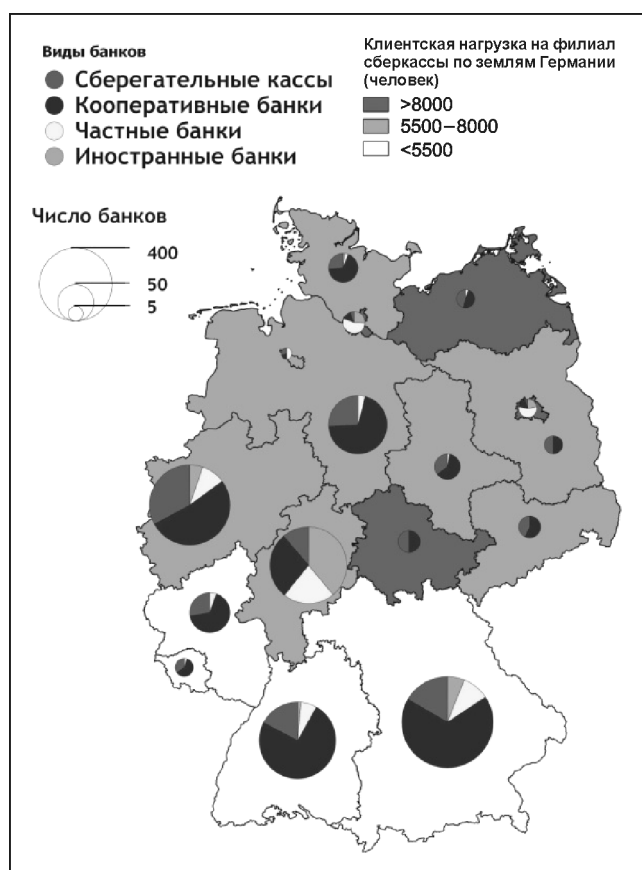


Рис. 1. Общее число банков в землях Германии в 2012 г. Составлено по [Bankstellenstatistik..., 2012]

структурные различия между землями, схожими по числу банков, очевидны и обусловлены различиями в экономике, населении и истории формирования банковской системы каждого региона.

Чтобы выявить особенности финансовой деятельности системы сберегательных касс Германии, а также особенности и территориальные различия клиентской базы сберегательных касс, проанализировано распределение филиалов сберегательных касс по 295 округам Германии. Поскольку законодательно закрепленные зоны действия той или иной сберегательной кассы отличаются от административно-территориального деления 2-го порядка (в одном округе может находиться несколько сберкасс и наоборот), отдельно для каждой административной единицы было рассчитано число находящихся в округе филиалов функционирующей в ее пределах сберкассы для дальнейшей оценки их клиентской базы. Для округов рассчитано *число филиалов* той или иной сберегательной кассы (рис. 2).

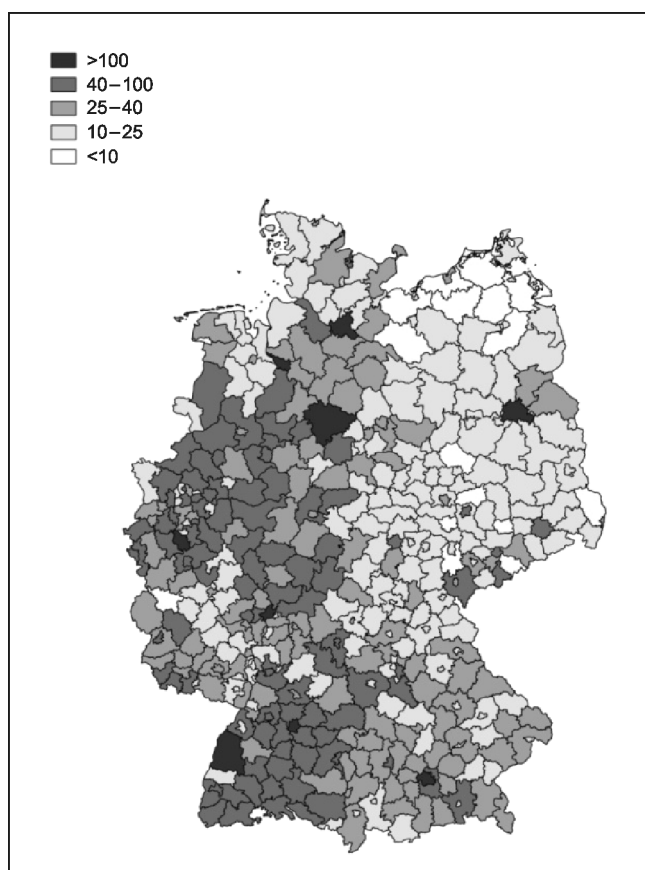


Рис. 2. Число филиалов сберегательных касс в административно-территориальных единицах 2-го порядка Германии в 2012 г. Составлено по [Deutsche..., 2014]

При анализе рис. 2 выявлены некоторые закономерности. Во-первых, распределение филиалов сберегательных касс по административным округам значительно сложнее и неравномернее, чем по федеральным землям. Восточная Германия, за исключением Берлина, в целом характеризуется слабой плотностью банковских учреждений, однако региональные и муниципальные значения сильно различаются. Наихудшее положение сложилось в Мекленбурге—Передней Померании и восточной части Саксонии—Анхальта. Это наиболее депрессивные части Германии, в которых слабо развит как потребительский рынок, так и малый и средний бизнес, сальдо миграций отрицательное, инвестиционный климат низкий, поэтому кредитные учреждения здесь испытывают недостаток в клиентах и обладают малыми балансовыми суммами. В лучшую сторону отличается Бранденбург в связи с пристоличным положением и субурбанизацией из Берлина. Наилучшими для Восточной Германии показателями характеризуются крупнейшие города Саксонии — Дрезден и Лейпциг.

Для других земель значения этого показателя также неоднородны. Так, в Баварии число филиалов в округах не так велико, как в соседнем Баден—Вюртемберге или Северном Рейне—Вестфалии. Это объясняется большим числом городских округов,

которые в Баварии населены реже, чем окружающие их сельские округа, а также сильной конкуренцией со стороны кооперативных банков. Наибольшей плотностью сети сберегательных касс отличается Баден—Вюртемберг, что объясняется медленным темпом слияния мелких сберегательных касс, которых в округах Баден—Вюртемберга может быть до 5 [Sparkassenverband..., 2015], а также высоким промышленным и сельскохозяйственным развитием, наличием многочисленных курортов и дисперсным расселением в горной части земли. В Сааре и Рейнланде—Пфальце число филиалов близко к среднему по стране, а в Северном Рейне—Вестфалии их дефицит наблюдается в городских округах Рура, что связано с субурбанизацией и децентрализацией банковской деятельности (все близлежащие округа имеют более плотную сеть филиалов сберкасс), а также с выделением многих небольших, в прошлом промышленных городов в отдельные городские округа. В Нижней Саксонии описываемый показатель прямо коррелирует с численностью населения округов.

В целом в городских округах число филиалов сберегательных касс меньше, чем в окружающих их сельских округах (что свидетельствует о небольших территориальных диспропорциях дохода населения этих округов); их меньше в новых землях, больше в старых; в крупных городах они расположены менее плотно, чем в небольших.

Выводы:

— в силу ряда особенностей (большое население, позднее объединение страны в единую империю, традиция сбережения денег, доверие к государству, недостаточное развитие рынка ценных бумаг) в банковской системе Германии значительную роль играет инвестиционная активность населения при посредничестве государства. Соответственно в ней сформировалась специфичная трехсекторная структура банковской системы, позволяющая наиболее полно охватить население страны сетью финансовых учреждений, а также привлечь обширные свободные денежные средства населения;

— в географии разных секторов описанной структуры наблюдаются существенные различия по федеральным землям, что связано с диспропорциями в их населении и экономическом развитии, разными традициями сбережения денег, а также с формированием специализированных финансовых центров. Для сберегательных касс характерно весьма сложное распределение, в наибольшей степени зависящее от населенности округов страны; кооперативные банки локализованы в менее урбанизированных и более населенных округах; частные же банки, как немецкие, так и иностранные, размещают свои отделения в наиболее развитых городах и агломерациях страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

- Андрюшин С.А.* Банковская система Германии // Банковские системы: Учебное пособие. М.: Альфа-М, Инфра-М, 2011. С. 119–151.
- Andryushin S.A. Bankovskaya sistema Germanii [The banking system of Germany] // Bankovskie sistemy: Uchebnoe posobie, Moscow, Alfa-M, Infra-M, 2011, pp. 119–151 (in Russian).
- Лузанов А.Н.* Экономико-географический подход к изучению банковской деятельности // Российское предпринимательство. 2012. № 16 (214). С. 48–54.
- Lusanov A.N. Ekonomiko-geograficheskiy podkhod k izucheniyu bankovskoi deyatel'nosti [The economic-geographical approach to the study of banking], Rossiyskoye predprinimatel'stvo, 2012, no 16 (214), pp. 48–54 (in Russian).
- Национальные банковские системы: Учебник / Под общ. ред. В.И. Рыбина. М.: Инфра-М, 2011. 528 с.
- Natsional'nye bankovskie sistemy: Uchebnik [The national banking systems: Textbook] / Pod. red. V.I. Rybina, Moscow, Infra-M, 2011, 528 p. (in Russian).
- Прусс Е.А.* Современная территориальная структура банковской системы США: Автореф. канд. дисс. М., 2011.
- Pruss E.A. Sovremennaya territorial'naya struktura bankovskoi sistemy SeSheA [The up-to-date spatial structure of banking system in the USA]: Autoref. PhD thesis, Moscow, 2011.
- Фомичев П.Ю.* География мировой финансовой системы: Учебное пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001.
- Fomichev P.Yu. Geografia mirovoi finansovoi sistemy: Uchebnoe posobie [Geography of the world banking system: Textbook], Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, Moscow, 2001.
- Bahr J.* Die Banken im Dritten Reich — was wir heute darüber wissen und wie sich der Umgang der Banken mit ihrer Geschichte verändert hat // Paper der Gastvorträge des Instituts für bankhistorische Forschung an der Frankfurt School of Finance and Management. Frankfurt/Main: Campus Verlag, 2011.
- Deutsche Bundesbank // Bankstellenbericht 2012. Bankstellenstatistik. Frankfurt am Main, 30.08.2013. URL: www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Downloads/Aufgaben/Bankenaufsicht/Dokumentationen/bankstellenbericht_2012.pdf?__blob=publicationFile (дата обращения: 05.07.2015).
- Deutsche Bundesbank // Bankstellenbericht 2012. Entwicklung des Bankstellennetzes im Jahr 2012. Frankfurt am Main. URL: https://www.bundesbank.de/Redaktion/DE/Downloads/Aufgaben/Bankenaufsicht/Dokumentationen/bankstellenstatistik_2012.pdf?__blob=publicationFile (дата обращения: 05.07.2015).
- Deutsche Sparkassen und Giroverband // Sparkassenrangliste 2013. 28.03.2014. URL: http://www.dsgv.de/_download_gallery/statistik/Sparkassenrangliste_2013.pdf (дата обращения: 04.02.2015).
- Financial Career. Liste der Privatbanken Deutschlands, 2012. URL: http://www.financial-career.de/liste_privatbanken.php (дата обращения: 05.07.2015).
- Financial Stability Board. 2013 update of group of global systematically important banks (G-SIBs). 11 November 2013. URL: http://www.financialstabilityboard.org/wp-content/uploads/r_131111.pdf (дата обращения 05.07.2015).
- Fischer K.-H.* Banken und unvollkommener Wettbewerb. Empirische Beiträge zu einer Industrieökonomie der Finanzmärkte. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2006. 196 S.
- Gärtner S.* Sparkassen als Akteure der regionalen Strukturpolitik. Sind sie in strukturschwachen Regionen hinreichend erfolgreich? // Zeitschrift für Wirtschaftsgeographie. 2009. N 1–2. S. 14–27.
- Gerke W., Steiner M. (Hrsg.)* Handwörterbuch des Bank- und Finanzwesens. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 2001. 2243 S.
- International standard industrial classification of all economic activities: Revision 4. New York, 2008.
- Sparkassenverband von Baden-Württemberg. Alle Baden-Württembergische Sparkassen. URL: http://www.sv-bw.de/sparkassen_bw/allesbwsparkassen/index.htm (дата обращения: 05.07.2015).
- Stappel M.* 125 Jahre DZ BANK — zur Geschichte der Verbundidee. URL: [http://www.giz.bvr.de/giz/giz2006.nsf/394F236137FEC026C12577AF003340E4/\\$FILE/125JahreDZBANK_GeschichteDerVerbundidee.pdf](http://www.giz.bvr.de/giz/giz2006.nsf/394F236137FEC026C12577AF003340E4/$FILE/125JahreDZBANK_GeschichteDerVerbundidee.pdf) (дата обращения: 05.07.2015).

Поступила в редакцию
17.11.2014

E.A. Shustov

GEOGRAPHY OF BANKING IN GERMANY

The banking system of Germany is among the oldest ones in the world. Its well-developed territorial structure which includes different types of banking institutions is characterized with a pronounced asymmetry. The institutional approach to the investigation of the national banking systems in the world is not adequate enough to describe all features of a banking system, particularly its interrelations with the spatial distribution of productive forces and the economic potential of the population within the area of operation of a banking institution. The banking system of Germany has the so-called three-sector structure and each sector has its own clients, sets of banking services and assets. Their spatial distribution is therefore governed by different factors which should be analyzed in order to forecast and plan the strategic development of the banking system in Germany and find the economic niches for foreign banks eager to expand their activities in Germany. Spatial distribution of credit and financial institutions of Germany in terms of their legal forms, size and numbers was analyzed. Parameters of the interrelation of the banking institutions and the social-economic situation in their standorts were calculated and interpreted.

Key words: banking system, savings banks, cooperative banks, Germany.

УДК 574:581.5(593)

Б. Вонгтуй¹, Н.Н. Алексеева²

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И ОБЕЗЛЕСЕНИЯ В ГОРНЫХ РАЙОНАХ ТАИЛАНДА

На основе анализа динамики землепользования за 1995–2012 гг. в горном районе на севере Таиланда (провинция Нан) выявлены основные факторы, ведущие к обезлесению ландшафтов. Мониторинг землепользования проводился на основе дешифрирования космических снимков Landsat 7 ETM и таиландского спутника Theos/Thaichote с использованием векторных данных о земельном покрове, предоставленных Департаментом развития земель Королевства Таиланд. Несмотря на оценки ФАО о приостановке процессов обезлесения, показано, что в ряде горных районов страны произошли существенные изменения форм землепользования: резко сократились площади лесов, увеличились площади, занятые многолетними насаждениями, полями под сельскохозяйственными культурами, садами и пастбищами, а также городской застройкой.

Установлено, что процессы обезлесения наиболее активно протекали в 2009–2012 гг. Показано, что в горных ландшафтах активизировались деструктивные природно-антропогенные процессы (эрозия, оползни), способствующие увеличению твердого стока и усилению риска наводнений. Для Таиланда — страны с бурно развивающейся экономикой — ключевыми факторами, приведшими к обезлесению горных территорий, стали трансформация традиционных, экологически более устойчивых систем потребительского хозяйства и замена их интенсивными системами, характерными для рыночной экономики.

Ключевые слова: Таиланд, обезлесение, землепользование, земельный покров, ландшафты, дешифрирование космических снимков, традиционное хозяйство, коммерциализация.

Введение. Интерес к изучению динамики землепользования обусловлен тем, что позволяет выявлять движущие силы глобальных изменений окружающей среды и на этой основе разрабатывать и принимать меры по предотвращению и смягчению их негативных последствий. Одна из ключевых глобальных проблем — обезлесение ландшафтов, особенно актуально это стало после Второй Мировой войны, когда увеличился спрос на твердые сорта древесины и стали внедряться современные технологии ее добычи. В 1946 г. был создан отдел лесных ресурсов в ФАО, началась инвентаризация лесных земель. Проблемы деградации лесов и обезлесения стали предметом бурных обсуждений на конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (1992) — в ее итоговый документ “Повестка дня на XXI век” вошла специальная глава “Борьба с обезлесением”, хотя глобальная Конвенция по лесам так и не была принята.

По данным оценки мировых лесных ресурсов, проведенной ФАО в 2010 г., в наступившем столетии наметился позитивный тренд в сторону снижения темпа обезлесения, хотя общая ситуация все еще вызывает тревогу. В Бразилии и Индонезии — странах-лидерах по темпу обезлесения в 1990-е гг. — скорость сведения лесов в 2000-е гг. снизилась. В Юго-Восточной Азии темп обезлесения по-прежнему остается высоким: в 2005–2010 гг. он составлял в Камбодже 1,22, в Мьянме — 0,95, в Индонезии — 0,71% в год. В Таиланде обезлесение приостанови-

лось и даже наметился небольшой прирост лесных площадей (0,08% в год) [Global..., 2010]. Однако наши исследования показали, что в ряде горных районов страны происходят значимые изменения площади лесов и обострения экологических проблем.

Изменение структуры землепользования и земельного покрова — сложный многофакторный процесс, обусловленный разнообразными причинами. Этой тематике посвящены многочисленные публикации, например [Lambin et al., 2003; Lepers et al., 2005]; в рамках комиссии Международного географического союза по изменению землепользования и земельного покрова (IGU/LUCC) с 2001 г. издано 9 томов атласа, в которых рассмотрены примеры трансформации земель на региональном и локальном уровнях [Land..., 2014]. Существует множество определений и трактовок понятия “земельный покров”, а также “современный ландшафт”, “растительный покров”, “почвенно-растительный покров”, “типы землепользования”, “земельные ресурсы” и др. Наиболее часто под земельным покровом понимают современную мозаику растительного покрова как естественного, так и антропогенного происхождения, в том числе посевы сельскохозяйственных культур, разнообразные типы населенных пунктов и других объектов, земли, не покрытые растительностью (пустоши, ледники и др.), а также водоемы и водотоки. Существуют десятки классификаций земельного покрова с разными принципами выделения и картографирования. Они ле-

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, аспирантка; e-mail: baicha_w@hotmail.com

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра физической географии мира и геоэкологии, доцент; e-mail: nalex01@mail.ru

жат в основе многочисленных глобальных и региональных баз геоданных, составленных на основе данных дистанционного зондирования (ДДЗ), полевых обследований и статистической информации [Lesschen et al., 2005].

Интерпретация данных о земельном покрове и анализ их динамики позволяет выявлять сдвиги в системах землепользования и движущие силы (социально-экономические, политические, научно-технологические и экологические), приводящие к обезлесению обширных территорий. Сведение лесов во многих регионах Азии далеко не всегда связано с интенсивными лесоразработками [Алексеева, 2000]. Для стран с бурно развивающейся экономикой, в том числе для Таиланда, к ключевым факторам, приводящим к обезлесению обширных территорий, относятся трансформация традиционных, экологически более устойчивых систем хозяйства и замена их интенсивными системами, характерными для рыночной экономики. Коммерциализация хозяйства четко отражается в структуре использования земель — сокращаются земли под лесами, увеличивается площадь полей и многолетних насаждений, городской застройки. Подобные изменения сопровождаются серьезными экологическими последствиями во многих районах Таиланда, в том числе активизацией деструктивных природно-антропогенных процессов [Ткачев, 2008].

Цель работы — анализ современной динамики землепользования и ведущих факторов, обуславливающих обезлесение, на примере одного из горных регионов Таиланда. Пространственно-временной анализ структуры земельного покрова провинции Нан, проведенный за период с 1995 по 2012 г., позволил выявить основные направления изменений землепользования и обезлесения территории, произошедшие в ландшафтах разного типа. Эти изменения привели к усилению эрозии почв, увеличению частоты оползней и интенсивности наводнений, утрате биоразнообразия.

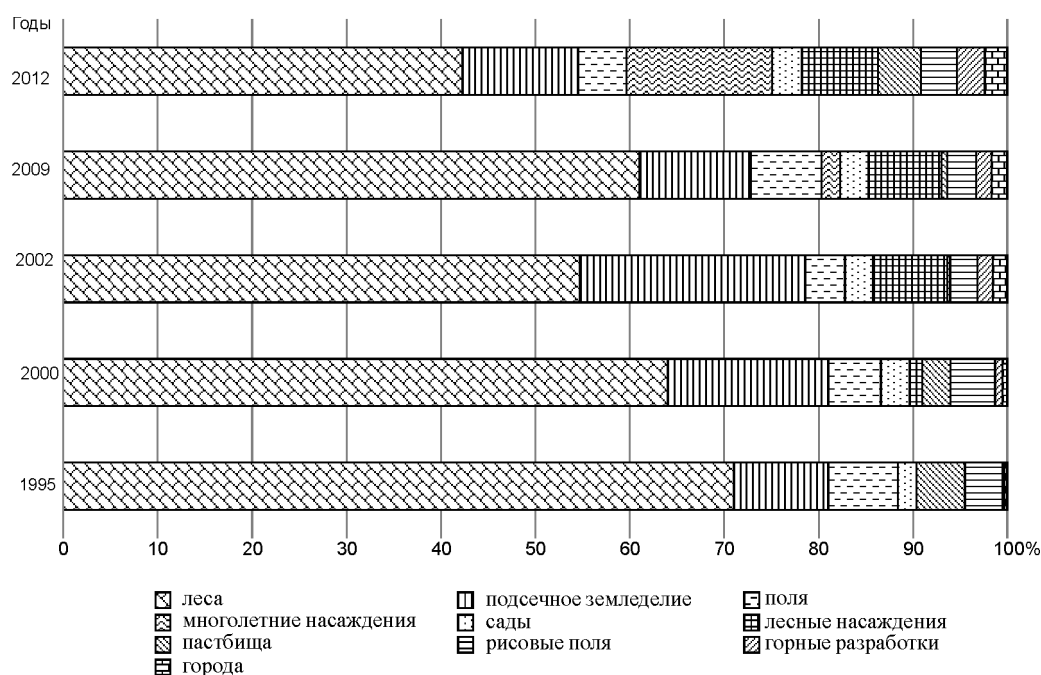
Материалы и методы исследований. Провинция Нан (площадь 11,5 тыс. км²) расположена в северной части Таиланда. Около 40% территории представлено низко- и среднегорьями с крутыми склонами. С севера на юг протягиваются линейно вытянутые глыбово-складчатые горные массивы яньшаньского (мезозойского) орогенеза: на западе хр. Флуенг (высота до 1620 м), входящий в нагорье Фипаннам, на востоке — хр. Луангпхабанг (Дайлаунг) (высота до 2079 м), по его гребню проходит граница с Лаосом, преобладают высоты от 500 до 900 м. Горы сложены преимущественного пермотриасовыми сланцами, песчаниками, конгломератами и известняками, с внедрениями эффузивных пород карбона и триаса (на юго-востоке), в центральной части присутствуют небольшие гранитные и диоритовые массивы. В юго-восточной части провинции есть невысокие возвышенности и низкогорья, сложенные эффузивными породами. Хребты Флуенг и Луангпхабанг разделены продольной

долиной р. Нан (северный приток р. Чао Прайя — основной речной артерии Таиланда). В долине выпадает в среднем 1270 мм осадков в год, сезон дождей длится с мая по сентябрь. В настоящее время 41,5% территории покрыто естественными лесами, которые представлены сухими диптерокарповыми древостоями, смешанными лиственными и вечнозелеными лесами, произрастающими как на равнинах, так и в горах. Красноцветные почвы отличаются умеренным или низким плодородием.

Население провинции Нан составляет 478 тыс. человек [Population..., 2014]. Равнины заселены в основном тайцами, в то время как возвышенности и горы населяют этнические меньшинства (племена групп луа, хмонг, мьен и кхму). Плотность населения в районе исследования (42 человека/км²) ниже, чем средняя по Таиланду (130 человек/км²). Ключевую роль в экономике провинции играет сельское хозяйство, обеспечивающее средствами к существованию подавляющую часть населения, в том числе племена, живущие в горных районах, оно же дает более 60% валового продукта провинции. Около 70% посевных площадей сосредоточено на равнинах и пологих склонах возвышенностей и предгорий, пригодных для распашки участков мало.

Мониторинг землепользования и изменения структуры земельного покрова провинции Нан проводился на основе дешифрирования космических снимков Landsat 7 ETM за 2002 и 2009 гг. с разрешением 30 м, а также снимков высокого разрешения (15 м), полученных с тайландского спутника Theos/Thaichote за 2012 г. Кроме того, проанализированы векторные данные по земельному покрову на 1995 и 2000 гг., предоставленные Департаментом развития земель Таиланда. Все спутниковые изображения увеличены с помощью соответствующих методов контрастного растяжения, после чего приведены к поперечной проекции Меркатора и системе UTM-координат. Дешифрирование снимков выполнено с помощью ERDAS IMAGINE, сопоставление — в программе ArcGIS.

Результаты исследований и их обсуждение. За период с 1995 по 2012 г. в провинции Нан произошло существенное изменение всех типов землепользования, в первую очередь лесопокрытых земель. По результатам дешифрирования космических снимков проведена классификация земель и выявлено 11 категорий земельного покрова: естественные леса, насаждения многолетних культур, участки подсечно-огневого земледелия, лесопосадки, неорошаемые пахотные земли, орошаемые рисовые поля, пастбища, фруктовые сады, районы горной добычи, городские земли, а также водоемы. В 1995 г. наиболее распространенными категориями земельного покрова были естественные леса (71% исследуемой территории), участки с подсечно-огневым земледелием (10,2%) и неорошаемые пахотные земли (7,4%). В 2012 г. структура земельного покрова существенно трансформировалась — доля естественных лесов сократилась до 41,5%, второе место заняли насаж-



Динамика структуры землепользования (%) в провинции Нан (Таиланд) в 1995–2012 гг.

дения многолетних культур (15,2%), на долю земель с подсечно-огневым земледелием пришлось 11,7% территории (рисунок).

Основная тенденция изменений структуры землепользования за период с 1995 по 2012 г. — увеличение обрабатываемых площадей, занятых разными типами агрогеосистем (посадками многолетних культур, перелогам с подсечно-огневым земледелием, неорошаемыми и орошаемыми полями, садами и пастбищами). Суммарная доля этих категорий земель увеличилась приблизительно на 50%: с 343 тыс. га в 1995 г. до 518 тыс. га в 2012 г.

Как видно на рисунке, структура земельного покрова сильно колебалась по годам. Например, доля земель с подсечно-огневым земледелием в период между 1995 и 2002 гг. увеличилась с 10,2 до 24%, а затем к 2012 г. сократилась до 11,7%. За исследуемый период произошло резкое увеличение площади под многолетними культурами (каучуконосы, тик) с нуля в 1995 г. до 2,1% в 2009 г. и 15,2% в 2012 г. Максимальное расширение посевных площадей также произошло в этот период. Таким образом, на рубеже 2010-х гг. горные территории провинции Нан испытали резкие единовременные изменения землепользования, в результате чего за относительно короткое время площадь агрогеосистем возросла, а площадь лесов сократилась.

Процессы обезлесения наиболее активно протекали в 2009–2012 гг. — леса сократились на 33% от площади, зафиксированной в 2009 г. Такое стремительное обезлесение произошло в районе исследований, несмотря на запрет коммерческих лесозаготовок, введенный правительством Королевства Таиланд в 1988 г.

Показатели темпа обезлесения в провинции Нан в целом близки данным, представленным на сервисе Глобального наблюдения за лесами (Global

Forest Watch), который позволяет пользователям получать и анализировать данные о лесном покрове в режиме реального времени на основе спутниковых технологий NASA и облачных вычислительных мощностей Google. Разнообразные детальные изображения с пространственным разрешением 30 м характеризуют динамику лесного покрова за период 2000–2012 гг. [Hansen et al., 2013]. В соответствии с данными о провинции Нан, приведенными на сайте Глобального наблюдения за лесами, в 2000 г. леса занимали 77%, а наибольший объем их сведения пришелся на 2007–2010 гг. [Thailand..., 2014].

Изменения структуры землепользования затронули не только равнинные ландшафты в долине р. Нан и прилегающие к ней возвышенности и холмы, но и расчлененные низко- и среднегорные массивы с крутыми склонами. В 2009 г. все горы были в основном залесены, к 2012 г. леса сохранились преимущественно в средних и верхних частях склонов хр. Флуенг и Луангпаханг, где они представлены вечнозелеными древостоями, а также на юго-востоке провинции в пределах базальтовых возвышенностей и низкогорий. За 1995–2012 гг. доля естественных лесов на склонах крутизной 12–35° снизилась до 44%, в то же время доля полей с посевами однолетних культур возросла более чем в 2 раза. В целом прирост пахотных земель на малопригодных для распашки склонах составил 95%. Наибольший прирост (146%) произошел в период с 2009 по 2012 г. Одновременно сократились площади под естественными лесами с 30% в 1995 г. до 21,6% в 2012 г.

Расширение пахотных земель затронуло также равнины и пологие склоны возвышенностей, где доля пашни возросла на 70% (с 22% в 1995 г. до 37% в 2012 г.). Здесь же доля естественных лесов сократилась с 39% в 1995 г. до 19% в 2012 г. Всего за

1995–2012 гг. в провинции Нан было потеряно около 50,6% лесов, преимущественно муссонных листопадных.

За изученный период произошла также трансформация способов хозяйствования — население перешло от переложных форм земледелия, господствовавших на протяжении последних столетий, к постоянному выращиванию товарных культур в интенсивном фермерском хозяйстве. Это коренным образом изменило структуру современных ландшафтов за счет создания открытых агрогеосистем, занятых постоянными полями на месте лесов, почвы которых для поддержания плодородия требуют постоянного внесения больших доз удобрений из-за быстрых потерь запасов гумуса и минеральных элементов питания в условиях муссонного тропического климата.

В научной литературе аутентичный способ подсечно-огневого земледелия довольно долго оценивался критически, сейчас эти взгляды пересматриваются [Cramb et al., 2009; Erni, 2009]. Практика подсечного земледелия более щадящая, так как при длительных циклах ротации (десятки лет) практически на постоянном уровне поддерживались запасы органического углерода в почвах, а также намного быстрее происходило возобновление лесов и восстановление природно-ресурсного потенциала ландшафтов, чем после выращивания на одной и той же территории определенных сельскохозяйственных культур. Кроме того, развитие эрозионных процессов, даже на крутых склонах, при переложном земледелии существенно ниже, чем при постоянной культивации. Но экономические факторы вынуждают фермеров отказываться от экстенсивного подсечно-огневого земледелия. К этому же привел запрет на использование перелогов, так как ~80% территории провинции задекларировано как охраняемые территории. В результате многие виды традиционной деятельности были ограничены, в том числе подсечное земледелие и сбор лесных продуктов (мёд, смола, ротанг и яйца ос) [Forsyth, Walker, 2010].

Изменилась и технология сельского хозяйства. Раньше оно удовлетворяло потребности лишь местных жителей, тогда как сейчас ориентировано на внешние рынки, в том числе на экспорт. Для получения больших урожаев фермеры увеличили дозы внесения минеральных и органических удобрений на сельскохозяйственных землях. Распространение монокультур (кукуруза, рис, гевея), наименее устойчивых к болезням и вредителям, потребовало внесения пестицидов. Выросло также использование гербицидов, необходимых для уничтожения сорняков. В то же время их применение снижает потребности в рыхлении почвы, что в свою очередь считается положительным фактором, снижающим интенсивность плоскостного смыва с полей, особенно расположенных на крутых и вогнутых склонах. Как показали исследования в горной провинции

Чианграй, также находящейся в горах на севере Таиланда, наиболее опасны с точки зрения развития эрозионных процессов посевы суходольного риса и овощных культур, риск эрозии снижается по мере выращивания кукурузы, бобовых, садов, лесных насаждений [Turkelboom et al., 2008].

К изменению структуры землепользования привели разнообразные причины, которые можно объединить в следующие группы:

Экономическая политика. Для привлечения инвестиций в провинцию Нан правительством Таиланда, поощряющим выращивание товарных культур, было принято решение о выращивании гевеи для производства каучука (ранее плантации гевеи находились только на юге страны). Это, с одной стороны, способствовало развитию инфраструктуры и торговли, но с другой — привело к росту сельскохозяйственных площадей и как следствие к активному сведению лесов.

Социальные факторы. Увеличение населения в провинции (с 323,4 тыс. человек в 1970 г. до 486,1 тыс. человек в 2000 г. [Population..., 2014]) стимулировало расширение сельскохозяйственных земель за счет вырубки и расчистки части лесов. Развитие инфраструктуры способствовало активному проникновению новых технологий, информации, телевидения в отдаленные горные районы, населенные племенами. На смену традиционному существованию, в значительной степени ориентированному на самообеспечение и не наносящему урон природе, пришел потребительский образ жизни. Для его поддержания населению стало необходимо зарабатывать гораздо больше средств на покупку разнообразных товаров и услуг, а наиболее простым способом достижения этого стало увеличение площадей под плантациями и товарными культурами за счет расчистки лесов.

Положение в области земельного права. В рамках традиционного землепользования у местных жителей не было документов, фиксирующих их права на возделывание того или иного участка земли. В соответствии с лесной политикой Таиланда горные и пересеченные территории (с уклоном 35° и более) с 1995 г. отнесены к охраняемым землям — национальным паркам и национальным лесам [Yongyut et al., 2010]. Это вызвало конфликт с фермерами, так как некоторые сельскохозяйственные земли попали в границы охраняемых территорий. До сих пор эта проблема не решена, поэтому нелегальная распашка малопригодных земель — единственный способ выживания племен. Люди, опасаясь государственных мер воздействия, предпочитают выращивать на этих землях однолетние культуры с коротким биологическим циклом, особенно кукурузу. Ее посевы дают стабильные урожаи и приносят быстрый доход. В результате площади, занятые под кормовой кукурузой, выросли по сравнению с 2004 г. в 3 раза — с 400 до 1300 км² [Statistical..., 2014]. Агропромышленные компании также поощряли выращивание товарных культур, в том числе

кукурузы, они продавали фермерам семена, удобрения и химикаты, а также закупали продукцию по гарантированным ценам.

Распашка горных территорий и их обезлесение привели к активизации склоновых процессов в муссонный сезон — плоскостной и линейной эрозии, оползням, солифлюкции. Так, для горных районов Северного Таиланда характерен большой диапазон величины эрозионного смыва — при ручейковой эрозии он может составлять от 2 до 350 т/га в год в зависимости от уклона, длины и формы склона, набора посевных культур, наличия сорной растительности, применяемой агротехники и предыстории использования территории [Turkelboom et al., 2008]. В результате сведения лесов зафиксировано также усиленное врезание водотоков в период паводков и развитие оползней на крутосклонных поверхностях. Отмечается также разрастание оврагов вверх по склонам, что существенно увеличивает поверхностный сток и поступление твердых наносов в нижележащие водотоки.

Выводы:

— несмотря на природоохранную стратегию развития лесных территорий Таиланда, доля естественных лесов уменьшилась за последние 20 лет на 49%, а посевных площадей увеличилась на 51%. Эти результаты подтверждаются системой Глобального наблюдения за лесами. Кроме того, в соседних горных провинциях Чианг Рай и Файяо, а также в прилегающих областях Лаоса по данным этой системы также фиксируются процессы обезлесения, при этом площади сведенных за 2000–2013 гг. лесов в десятки раз превышают площади лесовосстановления, пик обезлесения также пришелся на 2009–2012 гг. Таким образом, сведение тропических лесов с последующим переводом земель в иные типы землепользования (в первую очередь сельскохозяйственные) продолжается во многих районах Юго-Восточной Азии;

— анализ произошедших изменений показал, что их причиной стали экономические факторы, прежде всего коммерциализация сельского хозяйства. Лесное хозяйство не было главной причиной обезлесения, как это происходит в ряде других регионов мира (в том числе в Индонезии). Запрет на лесоразработки, введенный в Таиланде после наводнения 1988 г., в целом способствовал сохранению лесов страны. Однако в горных районах из-за отсутствия иных форм занятости и неопределенности земельных отношений леса стали усиленно

расчищать для выращивания коммерчески выгодных сельскохозяйственных культур, а щадящие традиционные системы землепользования попали под запрет;

— выявлены тренды в системах землепользования, которые отчетливо проявились в 2000-е гг.: 1) конкуренцию фермерам за земельные ресурсы составляют теперь охраняемые территории и лесные плантации; 2) в условиях сохраняющегося роста населения и нехватки пригодных для распашки земель происходит нелегальное расширение пашни на месте лесов, в том числе на склоновых землях. Этому же способствуют различные формы государственных субсидий фермерам для ведения сельского хозяйства; 3) для увеличения урожая фермеры активно применяют пестициды, особенно при выращивании кормовой кукурузы. В результате происходит загрязнение водотоков и водоемов, почв, химикаты накапливаются в пищевых цепях. В настоящее время 60% фермеров имеют заболевания, связанные с использованием пестицидов в земледелии [Report..., 2012];

— конкретный случай обезлесения иллюстрирует существенную недооценку экосистемных услуг, выполняемых естественными тропическими лесами, в том числе депонирование углерода. Подсчитано, что только в результате обезлесения тропических лесов в 1990-е гг. ежегодно высвобождалось ~1–2 млрд т углерода, что сопоставимо с 15–25% ежегодной глобальной эмиссии парниковых газов [Houghton, 2005]. Кроме того, не учитывается выполнение лесными ландшафтами разнообразных средообразующих (сдерживание наводнений и водообеспечение, регулирование местных климатических условий, сохранение биоразнообразия, обеспечение лекарственными растениями и др.) и рекреационных функций, механизмы оценки которых пока не применяются при разработке стратегий экономической деятельности;

— преодоление указанных противоречий в перспективе возможно путем разработки и внедрения альтернативных систем агролесного хозяйства, основанных на принципах устойчивости и адаптированных к местным природно-климатическим условиям и потребностям местных жителей. Еще один механизм, пока еще труднодостижимый, — признание выгод от сохранения и долгосрочного устойчивого использования экосистемных функций и формирование на этой основе соответствующей региональной политики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

REFERENCES

Алексеева Н.Н. Современные ландшафты зарубежной Азии. М.: ГЕОС, 2000. 414 с.

Alekseeva N.N. Sovremennyye landshafty zarubezhnoj Azii [Present-day landscapes of foreign Asia], GEOS, Moscow, 414 p. (in Russian).

Ткачев С.Л. Геоэкологическое состояние современных ландшафтов Таиланда: Автореф. канд. дисс. М., 2008.

Tkachev S.L. Geojekologicheskoe sostojanie sovremennyh landshaftov Tailanda [Geoeological status of present-day landscapes of Thailand], Abstract of PhD thesis, Moscow, 2008 (in Russian).

Cramb R.A., Pierce Colfer C.J. et al. Swidden transformations and rural livelihoods in Southeast Asia // Human Ecology. 2009. N 37. P. 323–346.

Erni C. Shifting the blame? Southeast Asia's indigenous peoples and shifting cultivation in the age of climate change // Pap. presented at the seminar on "Adivasi/ST Communities in India: Development and Change". Delhi, August 27–28, 2009. 21 p.

Forsyth T., Walker A. Forest guardians, Forest destroyers. The Politics of Environmental Knowledge in Northern Thailand. Chiang Mai, Thailand: Silkworm Books, 2008.

Global Forest Resources Assessment 2010. Main Report. FAO Forestry Paper 163. Rome: FAO, 2010. 340 p.

Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R. et al. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change // Science. 2013. Vol. 342 (15 November). P. 850–853.

Houghton R.A. Tropical deforestation as a source of greenhouse gas emissions // Tropical deforestation and climate change. Belem: IPAM, 2005.

Lambin E.F., Geist H.J., Lepers E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions // Ann. Rev. Environ. Resources. 2003. Vol. 28. P. 205–241.

Land Use/Cover Changes in Selected Regions of the World. Vol. 9 (IGU-LUCC Research Reports). Asahikawa: Hokkaido University of Education, 2014.

Lepers E., Lambin E.F., Janetos A.C. et al. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981–2000 // BioScience. 2005. Vol. 55, N 2. P. 115–124.

Lesschen J.P., Verburg P.H., Staal S.J. Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems // LUCC Rep. Ser. The Intern. Livestock Research Institute (Nairobi), Wageningen University. 2005. N 7. 81 p.

Population data. The Bureau of Registration Administration. URL: <http://stat.bora.dopa.go.th/stat/sumyear.html> (дата обращения: 19.10.2014).

Report on the Sub-global Assessment for Nan, Thailand. Thailand Environment Institute. 2012. 137 p.

Statistical data on agriculture. Office of agricultural economics, Ministry for Agricultural and cooperatives. Bangkok, 2014.

Thailand. Global Forest Watch. URL: <http://www.globalforestwatch.org/country/THA/31> (дата обращения: 25.10.2014).

Turkelboom F., Poesen J., Trébuil G. The multiple land degradation effects caused by land-use intensification in tropical steepplands: A catchment study from northern Thailand // Catena. 2008. Vol. 75. P. 102–116.

Yongyut T., Alkemade R., Verburg P.H. Projecting land-use change and its consequences for biodiversity in Northern Thailand // Environ. Management. 2010. Vol. 45, N 3. P. 626–639.

Поступила в редакцию
04.02.2015

B. Wongtui, N.N. Alekseeva

THE PRESENT-DAY DEFORESTATION OF MOUNTAIN REGIONS IN THAILAND (ON THE BASIS OF LAND USE DYNAMICS STUDIES)

The analysis of land use dynamics in a mountainous Nan province for the period of 1995–2012 made it possible to identify the principal factors leading to deforestation in Northern Thailand. The land use was monitored through interpreting space imagery from the Landsat 7 ETM and the Thai Theos/Thaichote satellite and using land cover data granted by the Land Development Department of the Kingdom of Thailand. Compared to the FAO conclusion about the suspension of deforestation it is shown that profound changes in land use took place in several mountainous regions of the country, namely sharp reduction of forest areas and the increase of perennial plantations, fields, orchards and pastures, as well as the urban areas. The main types of land use changes in mountainous and lowland regions of the Nan province were identified. The deforestation was particularly intensive during 2009–2012. As a result, the destructive natural-anthropogenic processes, i.e. erosion and landslides, became more active within mountainous landscapes provoking the increase of sediment discharge and the risk of floods. Key factors of deforestation in the mountainous regions of Thailand which is a vibrant economy nowadays are the transformation of traditional environmentally sustainable systems of subsistence economy and their substitution for the intensive systems typical for the market economy.

Key words: deforestation, land use, land cover, landscapes, interpretation of space imagery, traditional economy, commercialization.

ХРОНИКА

НАГОЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ОБРАЗОВАНИЮ
В ИНТЕРЕСАХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

В 2014 г. закончилось Десятилетие образования для устойчивого развития ООН (ДОУР) — важнейший в истории глобальный образовательный проект. Его итоги были подведены на Всемирной конференции в Нагое (10–12 ноября 2014 г.), одном из крупнейших городов Японии, где ярко представлены особенности национальной модели устойчивого развития. В конференции приняли участие более 1000 человек, представлявших около 80 стран и профильные международные организации. Конференция подвела итоги ДОУР и определила перспективы деятельности в этой сфере на международной арене на последующий период.

В конференции участвовали руководители ЮНЕСКО, включая Генерального директора И. Боккову, а также министр образования, культуры, спорта, науки и технологий Японии Х. Шимомура, губернатор префектуры Айчи Х. Омура, другие официальные представители Японии, министры и руководители профильных ведомств и иные представители стран и международных организаций. На церемонии открытия конференции присутствовал наследный принц Японии, обратившийся с посланием к участникам встречи. Тогда же было заслушано видеообращение Генерального секретаря ООН Пан Ги-Муна и директора ЮНЕП А. Штайнера.

Конференция стала важнейшим событием на международном уровне со значительным потенциалом повсеместного воздействия на образовательную политику на национальном уровне. Ее успех был предопределен участием в ней крупнейших специалистов в области образования, а также тщательной подготовкой как со стороны Японии, так и международных структур. Конференция смогла решить стоявшие перед ней задачи, важнейшими из которых были оценка современного состояния образования в мире и его мобилизация на решение проблем перехода цивилизации к устойчивому развитию.

Формальным итогом конференции стало принятие **Нагойской декларации**, нацеленной на усиление роли образования для устойчивого развития (ОУР) как важнейшего универсального инструмента обеспечения устойчивого развития в мире и одобренной разработанную ЮНЕСКО Дорожную карту осуществления **Глобальной программы действий в области ОУР**. Эти и другие документы Нагойской конференции доступны на сайтах ЮНЕСКО и конференции¹.

Основным неформальным результатом встречи в Нагое можно считать укоренение проблематики

ОУР в международной повестке дня в качестве одного из важнейших направлений мировой политики по обеспечению устойчивого развития в понимании Всемирного саммита “Рио+20”. Другим важным ее результатом стала еще большая интеграция мирового образовательного сообщества на основе понимания своей ответственности перед лицом усиления глобальных вызовов современности и осознания роста реальной поддержки со стороны политических кругов и мировой общественности.

Конференция выявила лидеров в сфере ОУР, в числе которых чаще всего называли Японию, Германию, Швецию и Нидерланды. Именно в них ОУР стало реальным фактором устойчивого развития, что зримо способствует росту их международного авторитета. Впечатляющие достижения этих стран, а также Китая, Индии, ряда арабских стран, государств Северной Европы и некоторых других были представлены на выставке достижений в области ОУР, организованной в рамках конференции.

В целом на конференции доминировал дух оптимизма, основанный на признании успехов ДОУР, которые изначально отнюдь не были гарантированы. Вместе с тем конференция не игнорировала и проблем продвижения ОУР в мире. Так, в частности, в центре внимания многочисленных обсуждений были такие острые вопросы: почему при явном успехе ОУР в большинстве стран мира в некоторых странах эта образовательная парадигма оказалась невостребованной; как преодолевать недооценку возможностей ОУР и формальное отношение к нему со стороны политических и административных структур, характерное для ряда стран; как активизировать представителей сферы образования к более решительному использованию потенциала ОУР при решении наиболее актуальных проблем современности и пр.

Некоторое недоумение оставила позиция ряда наиболее развитых стран, успешно продвигающих у себя идеологию и практики ОУР, таких, в частности, как США, Канада, Великобритания и Австралия. Их представители участвовали в конференции, но масштаб этого участия был явно скромнее реального потенциала, накопленного в этих странах. Их достижения в ОУР известны профессионалам, они явно востребованы, но преимущественно внутри этих стран.

Конференция выявила и другие узкие места продвижения ОУР, в частности это касается компетенций специалистов в области образования².

¹ С Нагойской декларацией можно ознакомиться на сайте географического факультета МГУ.

² Shaping the Future We Want. UN Decade of Education for Sustainable Development (2005–2014). Final Report. Paris: UNESCO, 2014. 201 p.

Она отразила эти проблемы во множестве предложений по их преодолению. Для этого, в частности, будут использованы многочисленные документы и инструменты, подготовленные и обоснованные в рамках ДОУР.

Нагойская конференция полностью солидаризировалась с выводом конференции “Рио+20” в том, что устойчивое развитие — баланс экологических, экономических и социальных интересов социума. Это означает, что экологические проблемы продолжают оставаться в глобальной повестке дня человечества. В качестве важнейших были названы проблемы глобальных климатических изменений, сохранения биоразнообразия, а также проблемы устойчивого потребления и производства. Именно их видят профессионалы в центре изучения в сфере образования, прежде всего экологического образования. Разумеется, при этом не должны быть исключены из сферы внимания и другие более традиционные вопросы или направления экологического образования.

Итоговый документ конференции в Нагое при голосовании был поддержан единогласно. В этом проявилось признание мировым сообществом отсутствия у него видимых альтернатив ОУР, подобно тому, как на конференции “Рио+20” было зафиксировано отсутствие альтернативы устойчивому развитию. Нагойская декларация стала еще одной

важной формой поддержки института образования вообще и глобального проекта ОУР в частности. Это также несомненная форма поддержки экологического образования, относительно традиционного для ряда стран, но с одним важным уточнением: экологического образования как составной части ОУР, что ставит перед ним важные принципиальные задачи социализации и экономизации собственно экологического образования.

Разумеется, Нагойская декларация по правовому статусу — всего лишь рекомендательный документ. Не исключено, что где-то отнесутся к нему формально или даже проигнорируют, но очевидно, что это будет означать упущенные возможности для стран и народов, и наоборот, — загрузка потенциала ДОУР в национальные стратегии развития означает новые возможности приблизить *будущее, которого мы хотим*.

Наша страна была представлена на конференции в Нагое относительно небольшой по сравнению с другими странами группой специалистов. Они в полной мере осознают, что предстоит большая работа по осмыслению результатов ДОУР, а также Всемирной конференции и других мероприятий по подведению итогов названного десятилетия, предстоит ответственная и творческая работа по постановке новых задач продвижения ОУР в России.

Ю.Л. Мазуров

ЮБИЛЕЙ

75-ЛЕТИЕ АНДРЕЯ АЛЕКСАНДРОВИЧА ЛУКАШОВА

30 июня 2015 г. исполнилось 75 лет профессору Андрею Александровичу Лукашову — одному из основных и старейших преподавателей кафедры геоморфологии и палеогеографии. Его блестящие лекции, увлекательные практики, живое и доброжелательное общение помнят поколения студентов, многие из которых сами давно стали преподавателями. Наверное, он единственный в мире профессор, который более 45 лет ежегодно проводил и проводит (!) учебные практики (в Карпатах, Дагестане, Крыму, Хибинах, на Кавказе, в Карелии, в Западной Европе). Общая продолжительность этих практик, наполненных беседами со студентами, лекциями, напряженными и ответственными маршрутами, непрерывным познанием мира, более 7 лет.

Вся жизнь Андрея Александровича связана с географическим факультетом Московского университета. Он родился в Москве в семье географов Е.Н. Лукашовой и А.Г. Кауфмана. Поступив на факультет, А.А. Лукашов стал одним из организаторов и первых председателей геоморфологического кружка, работу которого направлял несколько десятилетий. Первые научные работы юбиляра посвящены обобщению собранных участниками кружка материалов.

После окончания кафедры геоморфологии в 1962 г. Андрей Александрович ежегодно участвовал в работе Забайкальской экспедиции, в качестве начальника отряда и главного геоморфолога экспедиции возглавлял геоморфологические и комплексные географические работы в труднодоступных районах Читинской области. Главным предметом его исследований стали проблемы рудной и инженерной геоморфологии, поисков полезных ископаемых, геохимии, морфоструктурного анализа. Авторитет А.А. Лукашова в этих вопросах очень высок, руководимые им студенты защитили множество курсовых и дипломных работ, многие стали кандидатами наук. Собранные в Забайкалье материалы легли в основу его кандидатской диссертации (1969), а затем были использованы в докторской диссертации (1990). Его научные интересы значительно расширились после неоднократного участия в работах Советско-Йеменской археологической экспедиции, где Андрею Александровичу удалось разрешить ряд трудных и дискуссионных

вопросов происхождения рельефа о. Сокотра и его связи со строением Сомалийского рога. Особое место в научных исследованиях юбиляра занимает проблема формирования рельефа планет и космического рельефа Земли, им подготовлены оригинальные лекционные курсы и учебные пособия.

Всего перу А.А. Лукашова принадлежит более 200 научных работ, в том числе свыше 100 статей, 10 монографий, серия учебных пособий не только для студентов, но и для школьников. В них рассмотрен широкий круг проблем структурной, рудной и климатической геоморфологии, поисков полезных ископаемых, применения геохимических методов исследования в геоморфологии, рельефа планет, а также краеведческие и общегеографические вопросы. Для его работ характерны оригинальность подхода, огромная эрудиция, живой и образный язык, некоторые не имеют аналога в отечественной научной литературе.

Много сил отдал Андрей Александрович профессиональной ориентации школьников — он преподавал в школе юных географов, водил экскурсии по геоморфологии и москвоведению по Москве и Подмосковию, а в последние десятилетия вел практики школьников в Западной Европе.

Лекции и доклады А.А. Лукашова всегда отточены по форме, глубоки по содержанию и существенно расширяют горизонты слушателей. Он постоянно включает в лекции самые последние достижения современной геологии и геоморфологии, формулируя и обсуждая с коллегами дискуссионные вопросы.

Андрей Александрович встречает юбилей на “боевом посту” — в Хибинских горах на учебной геолого-геоморфологической практике, которую он организовал в 1992 г. и продолжает ею руководить со своими учениками и последователями. Он открывает новому поколению студентов целые миры — миры геоморфологии, петрографии, геохимии, навыков полевой жизни и успешной работы в суровых условиях Крайнего Севера.

Желаем дорогому Андрею Александровичу здоровья, энергии, неиссякаемого оптимизма, радости познания, новых дорог, достойных и благодарных учеников и слушателей!

Редколлегия журнала

ПОТЕРИ НАУКИ

**ПАМЯТИ НИКОЛАЯ ИВАНОВИЧА АЛЕКСЕЕВСКОГО
(01.04.1950–14.05.2015)**

14 мая 2015 г. умер Николай Иванович Алексеевский, наш коллега, друг и учитель. Ушел из жизни замечательный человек, выдающийся ученый, крупный организатор и мудрый руководитель, всегда доброжелательный, спокойный и рассудительный, умеющий ценить юмор и любивший жизнь.

Николай Иванович родился 1 апреля 1950 г. в с. Гофицкое на Ставрополье. После службы на Черноморском флоте он в 1973 г. поступил на географический факультет МГУ и с тех пор связал свою жизнь с университетом. В 1995 г. Николай Иванович стал профессором и заведующим кафедрой гидрологии суши.

Область научных интересов Н.И. Алексеевского была чрезвычайно широка. Первые его шаги в науке были связаны с русловыми и дельтовыми процессами и изучением стока наносов. В 1981 г. он защитил кандидатскую диссертацию на тему “Русловые процессы в дельтах с большим стоком наносов (на примере Терека)”, а в 1994 г. докторскую диссертацию, которая заложила фундаментальные основы современного представления о стоке речных наносов, на тему “Формирование и движение речных наносов”.

Много работ Н.И. Алексеевского было посвящено вопросам изучения стока наносов. Им разработана нашедшая широкое применение в гидрологической практике методика оценки стока влекомых наносов, которая основана на определении геометрических размеров и скорости смещения песчаных гряд на дне реки. Выявленные им закономерности позволили оценивать смещение гряд неизученных рек, а через него проводить оценку стока влекомых наносов.

Н.И. Алексеевский заложил основы методологии оценки изменчивости однонаправленных русловых деформаций, вызванной возможным климатическим изменением речного стока, он показал, что масштабы этого процесса зависят от степени увеличения или уменьшения стока воды и наносов.

Много внимания в своих работах Н.И. Алексеевский уделял вопросам фрактальной или индикаторной гидрологии. Он развил идеи Р. Хортон, Н.А. Ржаницына и других основоположников этого направления. Н.И. Алексеевским предложена концепция условных порядков, позволяющая адаптировать технологии индикаторной гидрологии для участков бифуркации речного русла (разветвления русел рек и дельтовые разветвления). Эти идеи, в частности, легли в основу разработанной под руководством Н.И. Алексеевского теории гидрологических функций разветвленных русел, согласно которой особенности рассредоточения стока воды соответствует характерным типам изменения ха-

рактеристик стока наносов, растворенных веществ и тепла, условиям существования сообществ водных организмов и хозяйственной деятельности.

Особое внимание Н.И. Алексеевский уделял изучению устьевых процессов. Он занимался разработкой методик изучения таких сложных процессов, как эволюция морского края дельт, динамика гидрографической сети дельтовых водотоков, их структурные особенности, заливание дельтовых пространств, ледовые и термические явления и др. Основные исследования относились к дельтам южных морей России и Арктики.

Н.И. Алексеевский всегда был приверженцем современных методов исследований в гидрологии. Он активно использовал ГИС- и дистанционные методы изучения гидрологических процессов. Им разработаны уникальные методики дешифрирования и обработки космических снимков для определения количественных и качественных характеристик эволюции дельт, стока наносов по дельтовым рукавам и его трансформации от вершины дельты к взморью, температурного режима дельтовых водотоков.

В последние два десятилетия вместе с коллегами он активно разрабатывал теорию и методологию гидроэкологии — науки, занимающейся закономерностями оптимального сосуществования населения, хозяйства, водных объектов суши и их экосистем. Основное внимание Николай Иванович уделял обоснованию места новой научной дисциплины в системе наук. Для минимизации экономических, социальных и экологических ущербов, обеспечения экономически эффективного и экологически безопасного использования природных ресурсов в бассейнах водных объектов им обоснованы пути упреждающего регулирования пространственно-временной изменчивости составляющих речного стока, влияющей на вероятность, масштабы и продолжительность опасных гидрологических процессов.

Он руководил многочисленными проектами в рамках федеральных целевых программ: “Возрождение Волги”, “Интеграция”, “Мировой океан”, “Университеты России”, “Экологическая безопасность России”, “Каспий”, “Глобальные изменения природной среды и климата”. В 2002 г. Н.И. Алексеевский возглавил крупный межведомственный научно-исследовательский проект по государственному контракту с Министерством промышленности, науки и технологий РФ на тему “Оценка роли речного стока и береговых процессов в Российской Арктике в глобальных изменениях природной среды и климата”. В итоге многолетних исследований получены новые данные о природных условиях и составе опасных процессов в арктическом регионе

России, причинах и особенностях пространственно-временной изменчивости их характеристик, составляющих речного стока, их текущих и ожидаемых изменениях. В 2007 г. на базе этих результатов и под редакцией Н.И. Алексеевского издана монография “Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования”. В 2011–2013 гг. под руководством и редакцией Николая Ивановича подготовлен и издан первый учебный атлас “Российская Арктика в XXI веке: природные условия и риски освоения”. В 2010–2014 гг. Н.И. Алексеевский руководил исследованиями творческого коллектива гидрологов в рамках мегагранта “Оценка рисков природных катастроф в береговой зоне”. В этот период благодаря стараниям Николая Ивановича на кафедре актуализировались исследования опасных гидрологических процессов, работы по численному моделированию и ГИС-анализу наводнений, была существенно обновлена инструментальная база, накоплен огромный объем разнообразных данных.

Николай Иванович написал 20 книг и около 300 статей, подготовил двух докторов и 10 кандидатов наук. Он читал учебные курсы: “Гидрология”, “Проблемы современной гидрологии”, “Гидрофизика”, “Основы гидравлики” для студентов географического факультета МГУ, “Учение о гидросфере” — в Международном учебном центре М.В. Ломоносова в Женеве.

Николай Иванович думал и о подрастающем поколении, о школьниках. Вместе с соавторами им подготовлена серия учебников по географии для 6–11 классов, полностью соответствующая возрастным особенностям обучающихся.

Много внимания Николай Иванович уделял научно-организационной работе. Он был действительным членом Академии проблем водохозяйственных наук, членом научно-технического совета Агентства водных ресурсов Российской Федерации, заместителем главного редактора журнала “Водные ресурсы”, входил в редколлегия нашего журнала, был членом Национального комитета по международной гидрологической программе, учебно-методического отделения университетов РФ по географическому образованию (гидрометеорологическая секция), двух специализированных советов по защите диссертаций (МГУ, ИВП РАН), руководителем учебной комиссии ученого совета географического факультета, экспертом РФФИ, РНФ, других организаций в области географии, гидрологии и водного хозяйства, членом Национального комитета по международной гидрологической программе ЮНЕСКО, членом президиума Всемирной ассоциации по эрозии и речным наносам (WASER). Благодаря действиям Николая Ивановича укрепились связи кафедры с научными институтами РАН, рядом ведомственных научно-исследовательских институтов и производственных организаций.

За педагогическую работу Николай Иванович награжден Ломоносовской премией Московского университета, медалью “850-летие Москвы” и медалью ордена “За заслуги перед Отечеством” II степени.

Николай Иванович был талантливым ученым и замечательным педагогом. Для нас это невосполнимая утрата.

Память о Николае Ивановиче Алексеевском навсегда сохранится в наших сердцах.

Редколлегия журнала