СОДЕРЖАНИЕ

Том 85, номер 3, 2021

ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

Водные ресурсы и водно-экологическая напряженность в Центральном федеральном округе России
А. Г. Георгиади, Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, К. С. Мельник 325

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА

Приграничный туризм на российско-китайской границе в 2014–2019 гг.
Е. В. Михайлова 341

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

Закомерности формирования баланса азота и фосфора на речных водосборах в Центральной лесостепи Русской равнины в 1990–2020 гг.
С. В. Долгов, В. О. Швыдкий, Е. В. Штамм 355

Региональный гидрологический режим горного оледенения
В. Г. Коновалов 368

Динамическая синхронизация колебаний климата океана с барицентрическим движением Солнца
Б. Г. Шерстюков 380

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

Оценка методов дендроиндикации при датировании экзогенных гравитационных процессов прошлого в верховьях р. Актру (Горный Алтай)
С. А. Николаева, Д. А. Савчук 392

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

Современная динамика и перспективы крабового промысла в России
А. Г. Дворецкий, П. А. Балыкин 405

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Пространственная неоднородность химического состава вод горных рек Кабардино-Балкарии
Г. С. Шилькрот, Т. М. Кудерина, Л. Г. Лобковская 415

Типизация берегов Западного Приохотья и тенденции их развития
Т. Д. Леонова, О. В. Белоус 422

Подводные ландшафты островов Мантсинсаари и Лункулансаари в зоне рифейских поднятий в восточной части Ладожского озера
Д. С. Дудакова, В. М. Анохин, Ш. Р. Поздняков, М. О. Дудаков, С. Н. Юдин 433

Пространственные особенности экспансии инвазивных видов золотарника в центральных областях европейской части России
И. Ю. Савин, Е. А. Шишконакова 446

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

Перспективно-цилиндрические проекции для интеграции данных в геоинформационной системе
М. Э. Флейс, М. В. Ныpцов, А. А. Никифорова, М. А. Солдаткина 458

ВЗГЛЯД ГЕОГРАФА

“Поляризованный ландшафт”: полвека спустя
Б. Б. Родоман 467

Contents

Volume 85, No. 3, 2021

Theory and Social Functions of Geography

Water Resources and Water-Ecological Stress in the Central Federal District of Russia
A. G. Georgiadi, N. I. Koronkevich, E. A. Barabanova, and K. S. Melnik 325

Territorial Organization of Society

Cross-Border Tourism on the Russian-Chinese Border in 2014–2019
E. V. Mikhailova 341

Natural Processes and Dynamics of Geosystems

Regularities of the Nitrogen and Phosphorus Balance Formation in River Catchments in the Central Forest-Steppe of the Russian Plain in 1990–2020
S. V. Dolgov, V. O. Shvydkii, and E. V. Shtamm 355

Hydrological Regimes of Mountain Glaciers at the Regional Scale
V. G. Konovalov 368

Dynamic Synchronization of Ocean Climate Fluctuations with the Barycentric Movement of the Sun
B. G. Sherstyukov 380

Evolution of Natural Systems

Assessment of Dendrogeomorphological Dating Methods of Past Geomorphic Processes in the Aktru Headwater (the Russian Altai Mountains)
S. A. Nikolaeva and D. A. Savchuk 392

Natural Recourse Use and Geoecology

Modern Dynamics and Perspectives of Crab Fishery in Russia
A. G. Dvoretsky and P. A. Balykin 405

Regional Geographical Problems

Spatial Heterogeneity of Water Chemical Composition of Mountain Rivers of the Republic of Kabardino-Balkaria
G. S. Shilkrot, T. M. Kuderina, and L. G. Lobkovskaya 415

Typization and Evolution Trends of Coasts of the Western Part of the Sea of Okhotsk
T. D. Leonova and O. V. Belous 422

Underwater Landscapes of Mantsinsaari and Lunkulansaari Islands in the Zone of Riphean Uplifts in the Eastern Part of Lake Ladoga
D. S. Dudakova, V. M. Anokhin, Sh. R. Pozdnyakov, M. O. Dudakov, and S. N. Yudin 433

Spatial Features of Goldenrods (Invasive *Solidago* Species) Expansion in Central Regions of European Part of Russia
I. Yu. Savin and E. A. Shishkonakova 446

Geoinformation Systems and Mappings

Perspective Cylindrical Projections for Data Integration in a Geographic Information System
M. E. Fleis, M. V. Nyrtsov, A. A. Nikiforova, and M. A. Soldatkina 458

View of a Geographer

"Polarized Landscape": Half a Century Later
B. B. Rodoman 467

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 325–340

ТЕОРИЯ И СОЦИАЛЬНЫЕ ФУНКЦИИ ГЕОГРАФИИ

УДК 556.01

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ В ЦЕНТРАЛЬНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ РОССИИ

© 2021 г. А. Г. Георгиади[a], *, Н. И. Коронкевич[a], Е. А. Барабанова[a], К. С. Мельник[a]

[a] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**e-mail: georgiadi@igras.ru*

Поступила в редакцию 11.12.2020 г.
После доработки 27.02.2021 г.
Принята к публикации 03.03.2021 г.

Рассмотрены водный баланс, водные ресурсы и гидроэкологическое состояние территории административных областей и речных бассейнов в Центральном федеральном округе России – регионе с одной из самых высоких антропогенных нагрузок на водный элемент окружающей среды. Оценены как местные водные ресурсы, так и общие с учетом стока, поступающего с соседних территорий, а также экологический и свободный сток, который может быть использован без существенного ущерба для водных экосистем. Определена величина стока как в среднем многолетнем аспекте, так и в маловодные годы 75 и 95% обеспеченности. Показано, что величина нормы стока за период с конца XIX в. по 1960 г. заметно ниже, чем нормы стока за 1930–1980 гг. Оценено влияние на величину стока гидротехнических преобразований и забора воды на различные хозяйственные нужды. Выявлено существенное снижение водозабора после 1985 г. Оценена водноэкологическая напряженность региона с учетом таких показателей, как индекс водного стресса, кратность разбавления сточных вод, безвозвратный расход воды, качество речных вод. Показано, что наиболее напряженная гидроэкологическая ситуация складывается в Московской области, в бассейнах рр. Клязьмы и Москвы, особенно ниже г. Москвы.

Ключевые слова: речные бассейны, водный баланс, средний многолетний сток, экологический сток, свободный сток, сток в маловодные годы, антропогенные изменения, количество и качество водных ресурсов, водноэкологическая напряженность, Центральный федеральный округ

DOI: 10.31857/S2587556621030079

ВВЕДЕНИЕ

Трудно переоценить роль Центрального федерального округа (ЦФО) в жизни нашей страны. При этом антропогенная нагрузка на его природу одна из самых высоких. Занимая 3.8% площади России, его население составляет 39.4 млн чел. (26.9% населения страны, 2020 г.). Среди других округов он занимает первое место по величине производимого валового продукта. Каковы же его водные ресурсы, состояние водного элемента окружающей среды? Данному вопросу посвящено большое число исследований, включая и те, в которых оценка состояния водных ресурсов давалась в составе оценок по более крупным территориям. Это работы справочного характера (Водные..., 1967; Государственный водный..., 2019; Ресурсы..., 1979 и др.), монографии, в которых рассматриваются различные гидрологические аспекты данного региона (Болгов и др., 2005; Водные..., 2008; Водный..., 1969; Воскресенский, 1962; Георгиади и др., 2014; Джамалов и др., 2017; Дмитриева, 2015; Коронкевич, Мельник, 2015), а также большое число статей. Но большинство из них выполнено или довольно давно, или отражает состояние водных ресурсов лишь отдельных частей ЦФО, учитывает только количество или качество водных ресурсов, не учитывает величину экологического и свободного стока. Оценка современной водно-экологической напряженности в регионе и факторов ее формирования остается недостаточно освещенной. Цель данной статьи – восполнить этот пробел.

ОЦЕНКА ВОДНОГО БАЛАНСА И РЕСУРСОВ РЕЧНОГО СТОКА

Из работ по оценке ресурсов речного стока особо выделим представленную в (Водные..., 1967) балансовую оценку местных водных ресурсов административных областей, входящих в состав ЦФО (табл. 1), характеризующую ситуацию за период с конца XIX в. по 1960 г. В табл. 2 дан средний многолетний общий (с учетом притока с соседних территорий) сток за этот период, а также за период 1930–1980 гг., принятый в качестве нормы стока в последних работах Государствен-

Таблица 1. Местный водный баланс областей ЦФО за период с конца XIX в. по 1960 г.

Область	Площадь, тыс. км^2	Осадки		Сток						Испарение		Коэффициент стока
				суммарный		поверхностный		подземный				
		мм	км^3	мм	км^3	мм	км^3	мм	км^3	мм	км^3	
Белгородская	27.1	620	16.8	101	2.73	82	2.21	19	0.52	519	14.1	0.16
Брянская	34.9	720	25.1	159	5.54	121	4.21	38	1.33	561	19.6	0.22
Владимирская	29.0	694	20.1	151	4.38	94	2.73	57	1.65	543	15.7	0.22
Воронежская	52.4	600	31.4	72	3.75	53	2.77	19	0.98	528	27.6	0.12
Ивановская	23.9	716	17.1	173	4.13	119	2.84	54	1.29	543	13.0	0.24
Калужская	29.0	702	21.0	176	5.26	110	3.29	66	1.97	526	15.7	0.25
Костромская	60.2	747	45.0	236	14.3	184	11.1	52	3.13	511	30.8	0.32
Курская	29.8	675	20.1	130	3.88	109	3.25	21	0.63	545	16.2	0.19
Липецкая	24.1	630	15.2	106	2.55	47	1.12	59	1.43	524	12.6	0.17
Московская	47.0	680	32.0	188	8.82	128	6.0	60	2.82	492	23.2	0.28
Орловская	24.7	687	17.0	140	3.47	90	2.23	50	1.24	547	13.5	0.2
Рязанская	39.6	583	23.1	136	5.39	85	3.37	51	2.02	447	17.7	0.23
Смоленская	49.8	750	37.4	215	10.7	145	7.21	70	3.49	535	26.7	0.29
Тамбовская	34.3	625	21.4	110	3.78	84	2.89	25	0.89	515	17.6	0.18
Тверская	84.2	737	62.1	222	18.7	162	13.6	60	5.05	515	43.4	0.3
Тульская	25.7	636	16.3	165	4.23	95	2.43	70	1.8	471	12.1	0.26
Ярославская	36.3	733	26.6	225	8.16	185	6.71	40	1.45	508	18.4	0.31
ЦФО*	652	687	448	168	109.7	119	78.0	49	31.7	519	338.3	0.24

Примечание: в ЦФО объединены данные по Центральному и Центрально-Черноземному экономическим районам.

ного гидрологического института, в частности в (Водные..., 2008; Государственный водный..., 2019). При этом суммарный общий сток в ЦФО в табл. 2 не равен сумме общего стока отдельных областей, так как не учитывает речной водообмен между этими областями, а учитывает лишь сток, притекающий к границам ЦФО. Сток в годы 75 и 95% обеспеченности пересчитан нами для периода 1930–1980 гг. на основании данных, приведенных в (Водные..., 1967) для периода с конца XIX в. по 1960 г. Отметим, что сток за второй из указанных периодов практически повсеместно ниже, чем за первый период, в среднем для ЦФО на 6.5%. Возможно, одной из причин этого стало большее антропогенное воздействие во второй период. Интересны оценки водного баланса за другие периоды. Так, согласно (Водные..., 2008), за период 1936–1980 гг. осадки составили 709 мм, сток – 160 мм, испарение – 549 мм, а за 1985–2003 гг. соответственно 756, 173, 593 мм. Водообеспеченность населения рассчитана по его современной численности и среднему многолетнему стоку за 1930–1980 гг. Так называемые экологический и свободный сток, приведенные в табл. 2, рассчитаны нами исходя из величины нормы стока и стока 75 и 95% обеспеченности за этот период.

Имеются разные трактовки экологического и свободного стока и предложены различные методы их оценки (Дубинина и др., 2015; Маркин, 2005; Фащевский..., 1989; Smakhtin et al., 2004). Под экологическим стоком понимается минимальный экологически допустимый объем речного стока, необходимый водным экосистемам для сохранения состояния устойчивого функционирования. Согласно (Владимиров, Имамов, 1994), экологически допустимый сток должен учитывать объем воды, необходимый для нормального развития гидробионтов; выполнение рекой ее природных функций; внутригодовую изменчивость стока; изменчивость стока по годам. Под свободным стоком (допустимыми изъятиями), следовательно, понимается сток, который можно использовать для различных хозяйственных нужд без большого вреда для водных экосистем.

В статье для ориентировочных оценок экологического стока используется метод пропорционального стока, предложенный В.В. Шабановым (Маркин, 2005), в соответствии с которым экологический сток определяется с помощью эмпирических переходных коэффициентов для стока

Таблица 2. Средние многолетние ресурсы речного стока, водообеспеченность населения стоком, экологический и свободный сток

Область	Общий сток, конец XIX в. – 1960 г., км^3/год	Общий сток , 1930–1980 гг., км^3/год			Водообеспеченность населения стоком, тыс. м^3/чел.			Общий экологический сток, 1930–1980 гг., км^3/год			Общий свободный сток, 1930–1980 гг., км^3/год		
		средний	75%	95%	средний	75%	95%	средний	75%	95%	средний	75%	95%
Белгородская	3.0	2.7	2.0	1.4	1.7	1.3	0.9	1.9	1.6	1.2	0.8	0.4	0.2
Брянская	7.7	7.3	5.9	4.4	6.1	4.9	3.7	5.1	4.7	4.0	2.2	1.2	0.4
Владимирская	37.7	35.2	29.3	22.9	26.8	21.6	16.8	24.6	23.5	20.6	10.6	5.8	2.3
Воронежская	14.0	13.7	11.3	7.0	5.8	4.8	3.0	9.6	9.0	6.3	4.1	2.3	0.7
Ивановская	58.5	57.3	47.2	36.5	57.3	47.2	36.5	40.1	37.8	32.9	17.2	9.4	3.6
Калужская	11.8	11.3	9.3	7.1	11.3	9.3	7.1	7.9	7.4	6.4	3.4	1.9	0.7
Костромская	53.8	53.4	45.5	34.9	84.7	72.2	55.5	37.4	36.4	31.4	16	9.1	3.5
Курская	4.3	3.9	3.0	2.1	3.4	2.7	1.9	2.7	2.4	1.9	1.2	0.6	0.2
Липецкая	6.4	6.3	4.6	3.7	5.5	4.0	3.2	4.4	3.7	3.3	1.9	0.9	0.4
Московская	20.3	18	14.6	11.1	0.9	0.7	0.5	12.6	11.7	10.0	5.4	2.9	1.1
Орловская	4.3	4.1	3.1	2.2	5.6	4.2	3.0	2.9	2.5	2.0	1.2	0.6	0.2
Рязанская	28.2	25.7	21.5	16.9	2.3	19.4	15.2	18.0	17.2	15.2	7.7	4.3	1.7
Смоленская	15.0	13.7	11.0	8.1	1.5	11.8	8.7	9.6	8.8	7.3	4.1	2.2	0.8
Тамбовская	4.2	4.1	2.9	1.8	4.1	2.9	1.8	2.9	2.3	1.6	1.2	0.6	0.2
Тверская	27.6	21.1	17.1	13.0	21	14.3	10.8	14.8	13.7	11.7	6.3	3.4	1.3
Тульская	11.4	10.6	8.6	6.4	7.2	5.8	4.4	7.4	6.9	5.8	3.2	1.7	0.6
Ярославская	38.8	35.8	29.5	22.9	28	23.6	18.3	25.1	23.6	20.6	10.7	5.9	2.3
ЦФО	134.9	126.1	100.1	73.4	3.2	2.5	1.9	88.3	80.1	66.0	37.8	20	7.4

разной обеспеченности. Для среднегодовых значений стока переходный коэффициент принимался равным 0.7 (Маркин, 2005). Для маловодных лет допускается некоторое снижение величины экологического стока с поправочными коэффициентами 0.8 и 0.9 к среднему многолетнему экологическому стоку соответственно 75 и 95% обеспеченности.

Если исходить из данных о местном водном балансе, то, как видно из табл. 1, количество осадков в ЦФО изменяется от 583 мм в Рязанской области до 750 в Смоленской, составляя в среднем 687 мм. Слой суммарного местного стока изменяется от 72 мм в Воронежской области до 236 в Костромской при среднем значении для ЦФО 168 мм. Наименьший коэффициент стока (0.12) – в Воронежской области, а самый высокий – в Костромской (0.32), средний для ЦФО – 0.24. По слою осадков ЦФО в 1.2 раза превосходит средний показатель по России (571 мм по (Водные..., 1967)), а по слою суммарного стока уступает среднему показателю для России (235 мм) в 1.6 раза. Еще больше разница в коэффициенте стока – в 1.7 не в пользу ЦФО. В то же время величина подземного стока, не требующего регулирования, в ЦФО составляет 49 мм или 31.7 км^3/год, то есть 29% против 20–23% в среднем для России (Водные..., 1967; Водный..., 1969) от величины суммарного стока. Доля поверхностного стока, характеризующего в основном сток половодья и паводков, в ЦФО ниже, чем в России, 71 и 77–80% соответственно. Общие же ресурсы речного стока (с учетом притока с соседних территорий) в ЦФО на четверть выше ресурсов местного стока, формирующегося в его пределах. В (Государственный водный..., 2019) даются запасы подземных вод. Прогнозные их ресурсы оцениваются в 27 км^3/год, а разведанные эксплуатационные запасы в 10.2 км^3/год, однако значительная их часть дренируется реками и учитывается при оценке величин подземного стока.

Обеспеченность населения ЦФО общими ресурсами стока значительно ниже, чем в среднем по России. Если сопоставить норму речного стока за 1930–1980 гг. (см. табл. 2) с современной численностью населения (на начало 2020 г.), то оказывается, что в ЦФО обеспеченность населения ресурсами общего стока (3.2 тыс. м^3/чел.) ниже общероссийской (28.6 тыс. м^3/чел.) почти в 9 раз. Особенно она низка в Московской области (0.9 тыс. м^3/чел.). Вместе с тем она выше общероссийской в Костромской и Ивановской областях за счет притока волжских вод.

При принятой системе расчета общий экологический сток пропорционален величине суммарного стока, он составляет в среднем 88.3 км^3/год. Он несколько ниже стока 75% обеспеченности и выше стока 95% обеспеченности, представленных в табл. 2. Экологический сток 75% обеспеченности также ниже стока той же обеспеченности, а вот экологический сток 95% обеспеченности оказывается во многих случаях выше общего стока этой обеспеченности, то есть ресурсы свободного стока в год 95% обеспеченности отсутствуют.

На рис. 1 показано изменение общего речного стока в ЦФО с 2003 г. (времени образования федеральных округов) по 2018 г. Отчетливо видны два периода трехлетнего повышения водности (2004–2006 и 2011–2013 гг.), а также один трехлетний период пониженной водности (2014–2016 гг.). Сток десятилетия 2009–2018 гг. (133.6 км^3/год) был выше нормы и близок по среднему его значению к норме с конца XIX в. по 1960 г., а сток последнего пятилетия (113.4 км^3/год) существенно ниже средних многолетних значений. В целом близкая картина колебаний стока за 2003–2018 гг. наблюдается и в отдельных областях, что видно из рис. 2, на котором показаны эти колебания для пяти областей (Брянской, Тверской, Рязанской, Воронежской и Тульской), расположенных соответственно в западной, северной, восточной, южной и центральной частях ЦФО. При колебаниях общего стока следует отметить довольно устойчивую тенденцию изменения его структуры на значительной части южного склона Русской равнины – снижение его поверхностной и увеличение подземной составляющей, что показано в целом ряде работ, в частности в (Джамалов и др., 2017; Дмитриева, 2015). В целом это благоприятный фактор для решения водных проблем ЦФО, хотя имеются и негативные последствия, среди которых уменьшение обводненности нерестилищ.

В табл. 3 представлены средние многолетние ресурсы суммарного, экологического и свободного стока ряда речных бассейнов в пределах ЦФО. Изменение их гидрологических характеристик во времени в целом соответствует тому, что имеет место в административных областях, в пределах которых они находятся.

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СТОКА

Особенно заметны антропогенные гидрологические изменения, в первую очередь сезонные, обусловленные созданием водохранилищ. Из анализа данных[1] следует, что созданные к настоящему времени водохранилища объемом свыше 0.1 км^3 каждое позволяют за счет использования

[1] Использованы: Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2018 году”. М.: НИА-Природа, 2019. 290 с.; Каталог водохранилища СССР / ред. С.К. Лазарева. М.: Изд-во ОРСИТДММ Ин-та “Союзгипроводхоз”, 1988. 276 с.; Научно-популярная энциклопедия “Вода России” (https://water-rf.ru/).

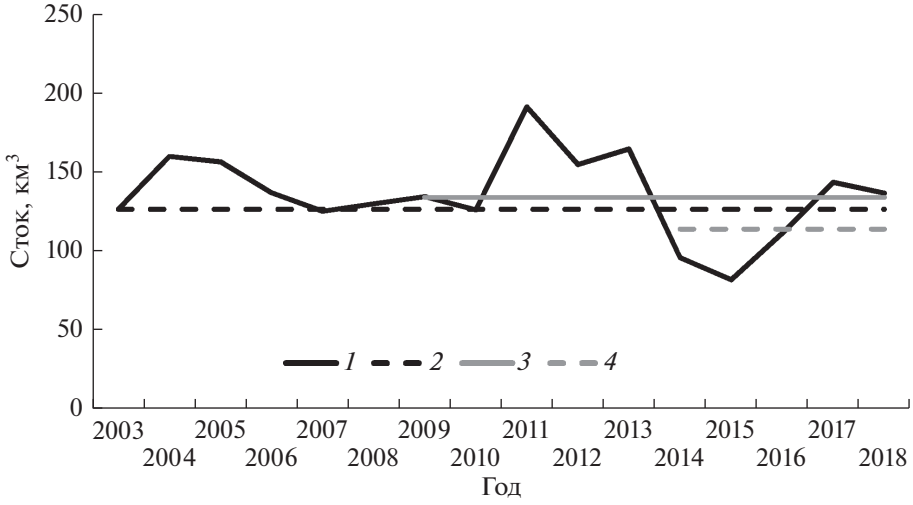

Рис. 1. Динамика общего стока в ЦФО: (*1*) – годовой сток; (*2*) – средний многолетний; (*3*) – средний за 2009–2018 гг.; (*4*) – средний за 2014–2018 гг.

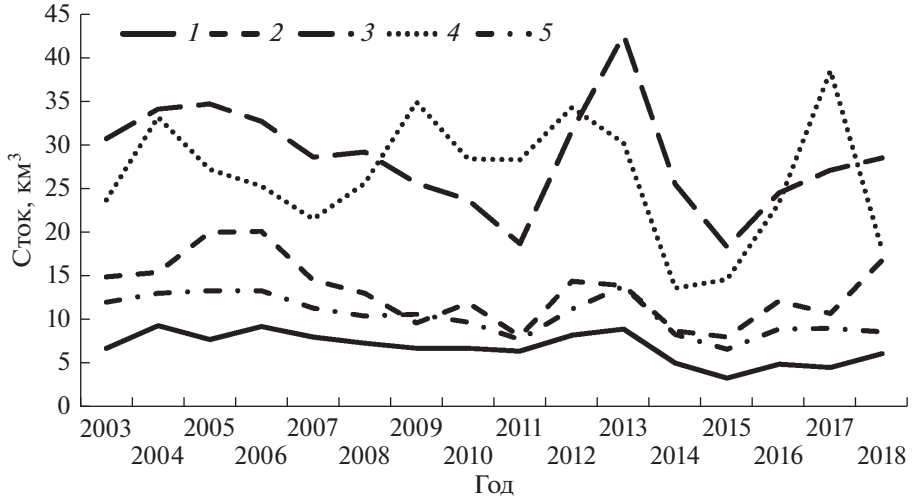

Рис. 2. Динамика общего стока по областям: (*1*) – Брянская, (*2*) – Воронежская, (*3*) – Рязанская, (*4*) – Тверская, (*5*) – Тульская.

их полезного объема увеличить ресурсы местного устойчивого стока этого региона почти в 1.7 раза и регулировать 14–17% среднего многолетнего общего речного стока, который приведен в табл. 2 и 3. Наиболее существенную роль при этом играет Рыбинское водохранилище на Волге, на которое приходится почти 80% общего полезного объема водохранилищ ЦФО. Потери воды на дополнительное испарение с акватории водохранилищ намного меньше возможного увеличения устойчивого во времени стока. Если принять величину среднего годового дефицита испарения с учетом преобладающего распределения площадей водохранилищ в размере 60 мм по (Зубенок, 1976), то, умножив ее на общую площадь водохранилищ, получаем сумму дополнительных потерь воды на испарение 0.36 км^3/год.

Значительная роль в гидротехническом преобразовании стока принадлежит его переброске. Начиная с середины 1930-х годов из Иваньковского водохранилища в р. Москву по каналу им. Москвы перебрасывалось в отдельные годы более 2 км^3 воды. В последнее время объем перебрасываемой воды снизился до 1.5–1.6 км^3/год. Практически не осуществляется в последнее время переброска стока по построенной Вазузской системе.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

В табл. 4 даны величины водозабора, сброса сточных вод по (Водные..., 2010, 2019), а также безвозвратного расхода воды, определенного нами по разнице водозабора и общего объема сточ-

Таблица 3. Общий средний многолетний, экологический и свободный сток в речных бассейнах, км^3

Река – створ	Средний многолетний сток*	Экологический сток	Свободный сток
Днепр – Смоленск	3.0	2.1	0.9
Дон – Лиски	7.8	5.5	2.3
Дон – Казанская	10.1	7.1	3.0
Хопер – Новохоперск	3.4	2.3	1.0
Волга – Ржев	2.9	2.0	0.9
Ока – Калуга	8.8	6.2	2.6
Ока – Муром	26.2	18.3	7.9
Ока – Горбатов	36.3	25.4	10.9
Москва – Звенигород	1.0	0.7	0.3
Клязьма – Владимир	2.6	1.8	0.8

Примечание. * Данные приведены по (Государственный водный..., 2019).

ных вод, в областях ЦФО за 1990 г., когда наблюдался один из наибольших водозаборов, и за 2018 г., характеризующий водопотребление в последнее время. По показателям водопотребления выделяется Московская область[2], на нее приходится 33.6% водозабора в ЦФО, 34.7% общего объема сточных вод, 52.8% загрязненных сточных вод, 30.9% безвозвратного расхода воды в 1990 г. и соответственно 37.5, 34.5, 59.7, 42.1% в 2018 г. То есть налицо заметное увеличение в последние годы доли загрязненных сточных вод и безвозвратного расхода воды. Наименьшее водопотребление имеет место в Орловской области.

Водозабор в ЦФО составил в 2018 г. 15.9% от водозабора в России. По сравнению с 1990 г. он к 2018 г. снизился повсеместно, в целом по ЦФО в 1.8 раза, объем сточных вод в 2.1 раза, объем загрязненных сточных вод в 1.9 раза, безвозвратный расход в 1.3 раза. Из общего объема водозабора в 2018 г. 78% приходилось на поверхностные водные объекты и 22% – на подземные источники. Динамика изменения водопотребления в ЦФО приведена на рис. 3.

По сравнению с 1985 г. снижение водопотребления в настоящее время еще больше, чем в сравнении с 1990 г.

Аналогичная картина в целом имеет место и в рассматриваемых речных бассейнах (табл. 5). Вместе с тем, в ряде створов отмечается безвозвратный расход со знаком минус, то есть увеличение стока, особенно заметное в створах Оки после впадения р. Москвы. В случае с Окой это объясняется в основном переброской стока в приток Оки р. Москву части волжских вод. Забор воды при этом фиксируется из Волги, а сброс сточных вод – в бассейнах рр. Москвы и Оки. Кроме того, в бассейне р. Москвы большую роль в увеличении стока играют урбанизированные территории, часть стока с которых включается в состав сточных вод, а также отбор воды из не дренируемых реками запасов подземных вод (Коронкевич и др., 2020). Видимо, гидрологическим влиянием урбанизированных площадей и отбором подземных вод в районе Воронежа объясняется и увеличение стока Дона в створе ст. Казанская в 2018 г. В других районах и речных бассейнах эти факторы также отчасти компенсируют уменьшение стока в результате безвозвратных изъятий воды в процессе ее использования. Оценка гидрологической роли этих факторов, как и роли лесного хозяйства, агролесомелиорации в ЦФО требуют специального исследования. Возвращаясь к увеличению стока Дона в створе ст. Казанская в 2018 г., заметим, что в этом году главное влияние на его увеличение оказали климатические факторы. В итоге сток Дона в 2018 г. был значительно выше среднего многолетнего.

ВОДНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ НАПРЯЖЕННОСТЬ

Под водно-экологической (гидроэкологической) напряженностью мы понимаем степень использования водных ресурсов и их загрязнения. Водно-экологическая напряженность в ЦФО представлена в табл. 6–8 и на рис. 4–6. К настоящему времени водно-экологическая напряженность снизилась по сравнению с 1990 г. практически по всем показателям. Отношение водозабора к среднему многолетнему общему стоку в целом для ЦФО снизилось более чем в 1.7 раза. Наибольшее снижение произошло в Ивановской области (более 4 раз), а из рассматриваемых речных бассейнов – в бассейне Хопра и Волги у Ржева (в 5 раз). В бассейне Клязьмы водозабор несколько повысился. Наибольшее отношение водозабора к общему речному стоку в последнее время от-

[2] Здесь и далее имеется в виду Московская область вместе с Москвой.

Таблица 4. Использование воды по областям ЦФО, млн м^3/год

Область	Год	Водозабор	Сброшено сточных вод в поверхностные природные водоемы		Безвозвратный расход
			всего	загрязненных	
Белгородская	1990	520.9	202.8	117.5	318.1
	2018	321.5	132.2	70.5	189.3
Брянская	1990	283.3	165.6	125.9	117.7
	2018	101.2	59.8	53.8	41.4
Владимирская	1990	424.4	351.8	252.8	72.6
	2018	154.0	101.5	98.6	52.5
Воронежская	1990	1202.8	881.8	142.6	321.1
	2018	405.5	233.4	118.8	172.1
Ивановская	1990	501.4	400.0	304.6	101.4
	2018	124.8	86.8	60.5	38.0
Калужская	1990	224.5	157.3	127.9	67.2
	2018	129.7	80.2	71.5	49.4
Костромская	1990	2686.2	2629.8	81.0	56.4
	2018	1820.4	1818.8	33.9	1.6
Курская	1990	437.0	204.6	55.5	232.4
	2018	225.2	93.6	11.6	131.6
Липецкая	1990	514.3	233.8	140.4	280.5
	2018	193.0	80.7	69.3	112.3
Московская*	1990	6590.0	4868.5	3092.8	1721.4
	2018	4056.6	2274.3	1810.8	1782.4
Орловская	1990	174.4	110.9	72.8	63.5
	2018	82.4	56.9	56.6	25.4
Рязанская	1990	314.6	211.1	67.8	103.5
	2018	173.1	121.9	74.5	51.2
Смоленская	1990	516.5	229.2	135.1	287.3
	2018	145.1	62.2	54.4	82.9
Тамбовская	1990	315.9	140.7	111.4	175.2
	2018	110.2	52.4	44.7	57.9
Тверская	1990	3524.5	2197.3	168.3	1327.3
	2018	2283.2	1007.9	73.6	1275.4
Тульская	1990	881.3	614.0	455.3	267.3
	2018	293.6	161.4	156.0	132.2
Ярославская	1990	482.7	418.0	406.3	64.6
	2018	210.0	175.0	173.6	35.0
ЦФО	1990	19594.5	14017.1	5858.0	5577.4
	2018	10829.4	6598.9	3032.6	4230.5

Примечание. * Включая Москву.

мечается в Московской области, оно в 2.6 раза превышает этот показатель в ЦФО в целом. Из речных бассейнов выделяется бассейн Клязьмы, где это отношение несколько превышает показатель для Московской области.

Очень важно, что современное отношение водозабора к величине свободного стока, предлагаемого в (Маркин, 2005) в качестве индекса стресса для водных ресурсов, практически повсеместно ниже 100%, составляя в среднем для ЦФО менее 30%. Однако эту величину нужно охарактеризовать как высоко стрессовую. Еще более напряженная ситуация в Белгородской области и особенно в Московской, а из речных бассейнов – в бассейне р. Клязьмы (см. рис. 4, табл. 6). Так обстоит дело со средним многолетним стоком. Если

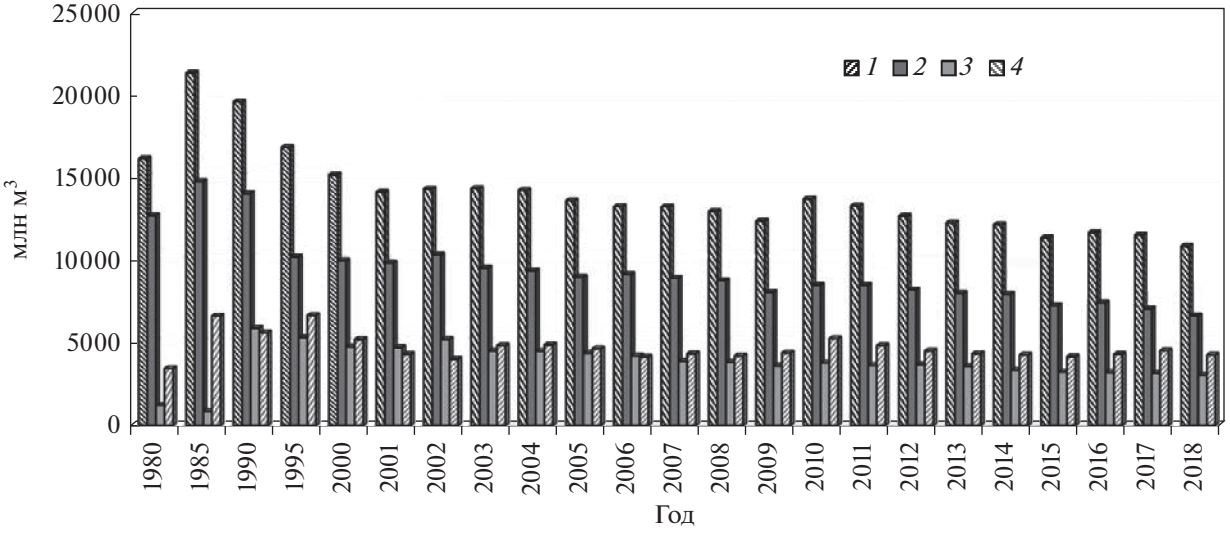

Рис. 3. Динамика показателей использования воды в ЦФО: (*1*) – водозабор, (*2*) – сточные воды, (*3*) – загрязненные сточные воды, (*4*) – безвозвратный расход.

же брать маловодные годы и отнести водозабор к среднему многолетнему экологическому и свободному стоку, то индекс стресса возрастает для ЦФО в среднем более чем в 1.2 раза в год 75% обеспеченности и в 1.6 раза в год 95% обеспеченности. При сравнении водозабора с экологическим и свободным стоком в маловодные годы ситуация выглядит гораздо более напряженной. В табл. 6 дано такое сопоставление для лет 75% обеспеченности. В ней не представлено такое со-

Таблица 5. Использование воды по речным бассейнам, км^3/год

Река – створ	Год	Водозабор	Сброшено сточных вод		Безвозвратный расход
			всего	без очистки	
Днепр – Смоленск	1990	0.234	0.232		0.002
	2018	0.066	0.022	0.001	0.044
Дон – Лиски	1990	1.755	1.193		0.562
	2018	0.594	0.352	0.005	0.242
Дон – Казанская	1990	1.96	1.233		0.727
	2018	0.652	0.731	0.01	–0.079
Хопер – Новохоперск	1990	0.199	0.055		0.144
	2018	0.042	0.026	0.001	0.016
Волга – Ржев	1990	0.014	0.014		0
	2018	0.004	0.002	0	0.002
Ока – Калуга	1990	0.824	0.73		0.094
	2018	0.314	0.217	0.008	0.097
Ока – Муром	1990	5.504	6.472		–0.968
	2018	2.444	3.369	0.112	–0.925
Ока – Горбатов	1990	6.518	7.557		–1.039
	2018	3.345	6.977	0.228	–3.632
Москва – Звенигород	1990	0.045	0.027		0.018
	2018	0.012	0.007	0	0.005
Клязьма – Владимир	1990	0.608	0.431		0.177
	2018	0.656	0.261	0.007	0.395

Таблица 6. Отношение показателей использования воды к общему речному, экологическому и свободному стоку за 1930–1980 гг. в областях ЦФО

Область	Год	Отношение водозабора к среднему многолетнему стоку, %	Отношение водозабора к экологическому стоку, %			Отношение водозабора к свободному стоку, %			Отношение безвозвратного расхода к стоку, %		
			среднему	75%	95%	среднему	75%	95%	среднему	75%	95%
Белгородская	1990	19.3	27.6	32.8	42.9	64.3	131.3	260.5	11.8	16.0	23.6
	2018	11.9	17.0	20.2	26.4	39.6	80.9	160.5	7.0	9.5	14.0
Брянская	1990	3.9	5.5	6.0	7.1	12.9	24.1	64.1	1.6	2.0	2.7
	2018	1.4	2.0	2.1	2.5	4.6	8.6	22.8	0.6	0.7	0.9
Владимирская	1990	1.2	1.7	1.8	2.1	4.0	7.3	18.6	0.2	0.2	0.3
	2018	0.4	0.6	0.7	0.7	1.5	2.7	6.7	0.1	0.2	0.2
Воронежская	1990	8.8	12.5	13.4	19.2	29.3	53.4	172.6	2.3	2.9	4.6
	2018	3.0	4.2	4.5	6.5	9.9	18.0	58.1	1.3	1.5	2.5
Ивановская	1990	0.9	1.3	1.3	1.5	2.9	5.3	13.9	0.2	0.2	0.3
	2018	0.2	0.3	0.3	0.4	0.7	1.3	3.5	0.1	0.1	0.1
Калужская	1990	2.0	2.8	3.0	3.5	6.6	12.1	31.5	0.6	0.7	0.9
	2018	1.2	1.6	1.8	2.0	3.8	7.0	18.3	0.4	0.5	0.7
Костромская	1990	5.0	7.2	7.4	8.5	16.8	29.5	76.9	0.1	0.1	0.2
	2018	3.4	4.9	5.0	5.8	11.4	20.0	52.1	0.0	0.0	0.0
Курская	1990	11.2	16.0	18.3	22.9	37.4	73.1	206.0	6.0	7.8	11.0
	2018	5.8	8.2	9.4	11.8	19.2	37.6	106.1	3.4	4.4	6.2
Липецкая	1990	8.2	11.7	14.0	15.4	27.2	56.2	139.0	4.5	6.1	7.6
	2018	3.1	4.4	5.3	5.8	10.2	21.1	52.2	1.8	2.5	3.0
Московская*	1990	36.6	52.3	56.3	66.1	122.0	225.2	594.6	9.6	11.8	15.5
	2018	22.5	32.2	34.7	40.7	75.1	138.6	366.0	9.6	11.8	15.6
Орловская	1990	4.3	6.1	7.0	8.9	14.2	28.1	80.4	1.5	2.0	2.9
	2018	2.0	2.9	3.3	4.2	6.7	13.2	37.8	0.6	0.8	1.2
Рязанская	1990	1.2	1.7	1.8	2.1	4.1	7.3	18.7	0.4	0.5	0.6
	2018	0.7	1.0	1.0	1.1	2.2	4.0	10.3	0.2	0.2	0.3
Смоленская	1990	3.8	5.4	5.9	7.1	12.6	23.6	63.7	2.1	2.6	3.5
	2018	1.1	1.5	1.7	2.0	3.5	6.6	17.9	0.6	0.8	1.0
Тамбовская	1990	7.7	11.0	13.8	19.3	25.7	55.2	173.7	4.3	6.1	9.6
	2018	2.7	3.8	4.8	6.7	8.9	19.2	60.5	1.4	2.0	3.2
Тверская	1990	16.7	23.9	25.7	30.1	55.7	102.9	271.2	6.3	7.8	10.2
	2018	10.8	15.5	16.7	19.5	36.1	66.7	175.7	6.0	7.4	9.8
Тульская	1990	8.3	11.9	12.9	15.2	27.7	51.5	136.8	2.5	3.1	4.1
	2018	2.8	4.0	4.3	5.1	9.2	17.2	45.6	1.2	1.5	2.1
Ярославская	1990	1.3	1.9	2.0	2.3	4.5	8.2	21.1	0.2	0.2	0.3
	2018	0.6	0.8	0.9	1.0	2.0	3.6	9.2	0.1	0.1	0.2
ЦФО	1990	15.5	22.2	24.5	29.7	51.8	97.9	264.8	4.4	5.6	7.6
	2018	8.6	12.3	13.5	16.4	28.6	54.1	146.3	3.4	4.2	5.8

Примечание. * Включая Москву.

Таблица 7. Кратность разбавления сточных вод в ЦФО

Область	Год	Кратность разбавления					
		всех сточных вод			загрязненных сточных вод		
		средним многолетним стоком	стоком 75% обеспеченности	стоком 95% обеспеченности	средним многолетним стоком	стоком 75% обеспеченности	стоком 95% обеспеченности
Белгородская	1990	13	10	7	23	17	11
	2018	20	15	10	38	28	19
Брянская	1990	44	36	27	58	47	35
	2018	122	98	74	136	110	82
Владимирская	1990	100	83	65	139	116	90
	2018	347	289	225	357	297	232
Воронежская	1990	16	13	8	96	79	49
	2018	59	48	30	115	95	59
Ивановская	1990	143	118	91	188	155	120
	2018	660	544	421	947	780	604
Калужская	1990	72	59	45	88	72	56
	2018	141	116	89	158	130	100
Костромская	1990	20	17	13	660	562	432
	2018	29	25	19	1575	1341	1030
Курская	1990	19	15	10	70	54	38
	2018	42	32	23	337	258	183
Липецкая	1990	27	20	16	45	33	26
	2018	78	57	46	91	66	53
Московская*	1990	4	3	2	6	5	4
	2018	8	6	5	10	8	6
Орловская	1990	37	28	20	56	43	30
	2018	72	54	38	72	55	38
Рязанская	1990	122	102	80	379	317	249
	2018	211	176	138	345	289	226
Смоленская	1990	60	48	35	101	81	60
	2018	220	176	130	252	201	149
Тамбовская	1990	29	20	13	37	26	16
	2018	78	55	35	92	64	41
Тверская	1990	10	8	6	125	102	77
	2018	21	17	13	287	233	177
Тульская	1990	17	14	10	23	19	14
	2018	66	53	40	68	55	41
Ярославская	1990	86	71	55	88	73	56
	2018	205	169	131	206	170	132
ЦФО	1990	9	7	5	22	17	13
	2018	19	15	11	42	33	24

Примечание. * Включая Москву.

Таблица 8. Характеристика водно-экологической напряженности в речных бассейнах ЦФО

Река – створ	Год	Отношение водозабора к среднему многолетнему стоку, %	Отношение водозабора к экологическому стоку, %	Отношение водозабора к свободному стоку, %	Отношение безвозвратного расхода к среднему многолетнему стоку*, %	Кратность разбавления сточных вод, раз	
						всех сточных вод	загрязненных сточных вод
Днепр – Смоленск	1990	7.8	11.1	26.0	0.07	13	н.д.
	2018	2.2	3.1	7.3	1.47	136	3000
Дон – Лиски	1990	22.5	31.9	76.3	7.21	7	н.д.
	2018	7.6	10.8	25.8	3.10	22	1560
Дон – Казанская	1990	19.4	27.6	65.3	7.20	8	н.д.
	2018	6.5	9.2	21.7	–0.78	14	2020
Хопер – Новохоперск	1990	5.9	8.7	19.9	4.24	62	н.д.
	2018	1.2	1.8	4.2	0.47	131	3400
Волга – Ржев	1990	0.5	0.7	1.6	0.00	207	н.д.
	2018	0.1	0.2	0.4	0.07	1450	н.д.
Ока – Калуга	1990	9.4	13.3	31.7	1.07	12	н.д.
	2018	3.6	5.1	12.1	1.10	41	1760
Ока – Муром	1990	21.0	30.1	69.7	–3.69	4	н.д.
	2018	9.3	13.4	30.9	–3.53	8	252
Ока – Горбатов	1990	18.0	25.7	59.8	–2.86	5	н.д.
	2018	9.2	13.2	30.7	–10.01	5	313
Москва – Звенигород	1990	4.5	6.4	15.0	1.80	37	н.д.
	2018	1.2	1.7	4.0	0.50	143	н.д.
Клязьма – Владимир	1990	23.4	33.8	76.0	6.81	6	н.д.
	2018	25.2	36.4	82.0	15.19	10	371

Примечание. * Знак “минус” означает увеличение стока.

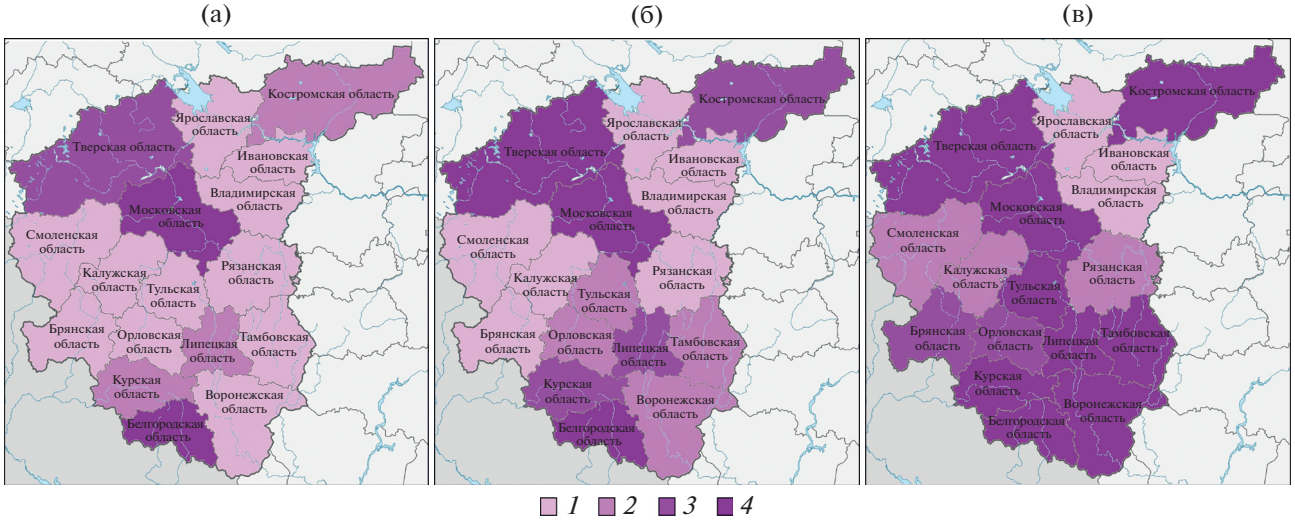

Рис. 4. Водно-экологический стресс. Отношение водозабора к свободному стоку: к общему среднему многолетнему (а), к стоку 75% (б) и 95% (в) обеспеченности. Индекс стресса, %: *1* – низкий (<10), *2* – средний (10–20), *3* – высокий (20–40), *4* – очень высокий (40–80).

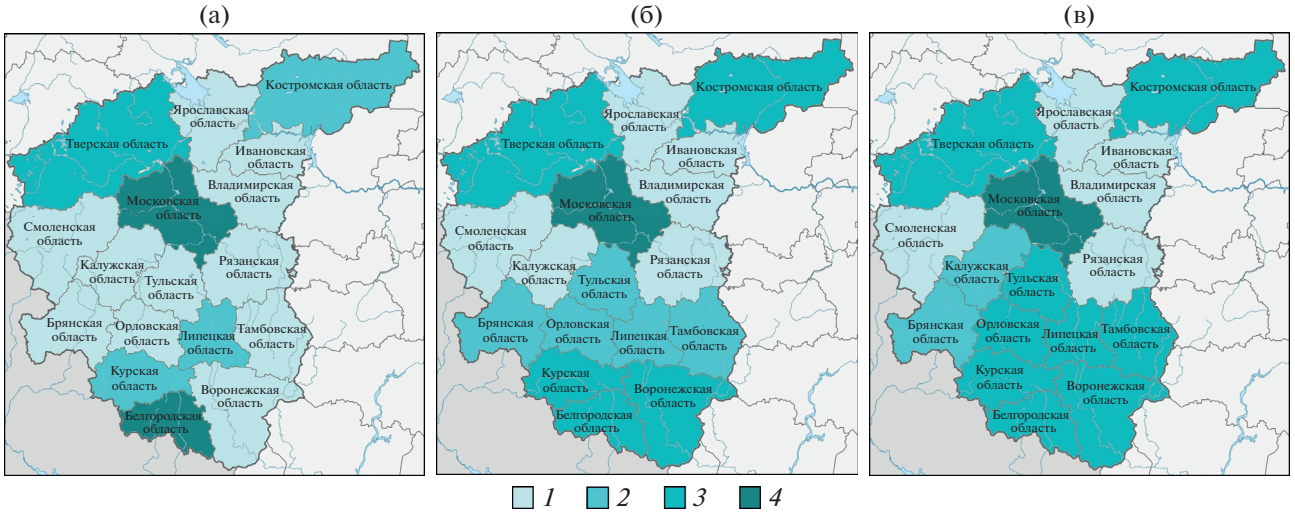

Рис. 5. Кратность разбавления сточных вод, раз: (а) средним многолетним стоком за 1930–1980 гг.; (б) стоком 75% обеспеченности; (в) стоком 95% обеспеченности. *1* – высокая (>100), *2* – средняя (100–50), *3* – низкая (50–10), *4* – очень низкая (<10).

поставление для лет 95% обеспеченности, поскольку свободный сток, как указано выше, в большинстве случаев отсутствует. Для отдельных областей и речных бассейнов ситуация еще более напряженная.

Как видно из табл. 6 и 8, сравнительно невелико безвозвратное изъятие водных ресурсов, следовательно, и уменьшение стока, оно составляет в среднем для ЦФО немногим более 3% общего стока, а с учетом указанной выше величины дополнительного испарения с акватории водохранилищ – около 4%. Для отдельных же речных бассейнов отмечается даже увеличение стока, обусловленное указанными выше причинами. По-видимому, представленные величины изменения стока могут несколько трансформироваться под влиянием климатических факторов и воздействия других видов хозяйственной деятельности, но это, как сказано выше, требует дальнейших исследований.

Выше рассматривалась гидроэкологическая ситуация в количественном аспекте. Конечно, она не может быть полной без учета качества вод. Один из косвенных показателей качества водных ресурсов – кратность разбавления сточных вод, особенно загрязненных. Как видно из табл. 7,

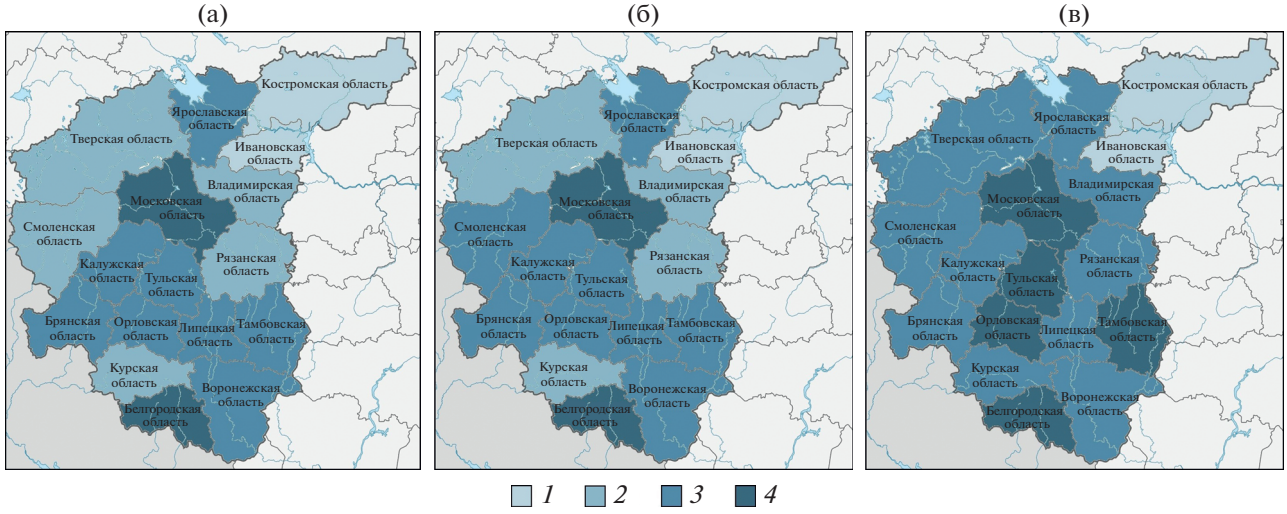

Рис. 6. Кратность разбавления загрязненных сточных вод, раз: (а) средним многолетним стоком за 1930–1980 гг.; (б) стоком 75% обеспеченности; (в) стоком 95% обеспеченности. *1* – очень высокая (>500); *2* – высокая (250–500); *3* – средняя (50–250); *4* – низкая (<50).

кратность разбавления тех и других возросла в ЦФО к 2018 г. в среднем примерно вдвое по сравнению с 1990 г. Тем не менее она остается явно недостаточной, особенно в Московской области, в низовьях Оки. Ситуация резко ухудшается в маловодные годы. К районам со средней и низкой кратностью разбавления загрязненных сточных вод можно отнести большую часть ЦФО (рис. 5, 6; см. табл. 7, 8). Следует отметить, что кратность разбавления сточных вод – это весьма приблизительный показатель качества воды. Даже большая кратность их разбавления не гарантирует высокое качество воды в водных объектах, в том числе и потому, что при этом не учитываются загрязнения, поступающие с диффузным стоком с водосборов, которые могут превосходить объем загрязнений, поступающих со сточными водами. То есть в действительности ситуация более острая, чем дает оценка по разбавлению сточных вод. Более точно качество речных вод можно определить по результатам непосредственного его определения.

Данные Росгидромета[3] по состоянию и загрязнению окружающей среды в Российской Федерации показывают, что, если оперировать классами качества воды, то большинство субъектов РФ в пределах ЦФО укладывается в последние годы в диапазон II–III классов (“слабо загрязненная” и “загрязненная”). Лишь Московская область выделяется в негативную сторону – большинство ее вод относится к IV классу (“грязная”). По данным (Государственный доклад..., 2019), ситуация с отдельными речными бассейнами следующая. Вода в Верхневолжских водохранилищах в последние годы оценивалась как “загрязненная”, а качество воды их притоков варьирует от “загрязненной” до “грязной”. Как “грязные” характеризуются воды бассейнов рек на территории Московской области – Ламы, Дубны, Сестры, Куньи. Вода верхней Оки от г. Орла до г. Алексина оценивается как “загрязненная”. Ниже по течению реки класс качества воды меняется от “загрязненной” до “грязной”. В притоках Оки преобладают “грязные” воды. Наиболее загрязненными притоками верхнего течения Оки являются водные объекты Тульской области – рр. Упа, Воронья, Мышега. Качество воды р. Москвы изменяется от “загрязненной” в верхнем течении до “грязной” в черте г. Москвы ниже Бабьегородской плотины и от Бесединского моста МКАД в черте г. Москвы до устья. Как “грязные”, а местами как “экстремально грязные” оцениваются воды р. Клязьма. Качество воды р. Дон в пределах ЦФО в течение ряда лет колеблется от “слабо загрязненной” до “грязной”.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Центральный федеральный округ – регион высокой антропогенной нагрузки на водные ресурсы, которые сравнительно невелики даже с учетом притока речных вод с соседних территорий. Округ располагает 3% общероссийского стока при том, что на него приходится в настоящее время около 16% водозабора России на различные хозяйственные нужды. Вследствие этого наблюдается большая водно-экологическая напряженность, несмотря на то, что по сравнению с

[3] Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации. М.: Росгидромет (ежегодное издание).

1990 г. водозабор снизился почти в 2 раза. Отношение водозабора к свободному стоку (индекс стресса) на уровне 2018 г. составило в средний по водности год около 30%, в маловодный год 75% обеспеченности превысило 50%, а в год 95% обеспеченности свободного стока практически не оставалось. В большей части областей в пределах округа вода в реках и водоемах в последние годы относится ко II и III классу загрязненности ("слабо загрязненная" и "загрязненная"). Особенно напряженная гидроэкологическая ситуация складывается в Московской области. Индекс стресса здесь в 2018 г. превысил 75% для средних по водности лет, а в маловодные годы 75 и 95% обеспеченности в 2.2 и почти в 6 раз превысил величину свободного стока, что в несколько раз больше соответствующего значения для ЦФО в целом. Кратность разбавления загрязненных сточных вод в Московской области в 7 раз ниже, чем в ЦФО в целом. По качеству большинство вод Московской области характеризуется IV классом ("грязные"). Из отдельных рек особенно загрязненной является р. Клязьма, воды которой характеризуются как "грязные", а местами как "экстремально грязные". Некоторая тенденция снижения гидроэкологической напряженности в последние годы все же наблюдается, во всяком случае, в сравнении с тем, что имело место почти 30 лет назад.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена по результатам исследований, выполненных по проекту РНФ № 20-17-00209. Оценка водных ресурсов региона получена в рамках государственного задания № 0148-2019-0007/АААА-А19-119021990093-8.

FUNDING

The work is based on the materials of studies supported by the Russian Science Foundation, project no. 20-17-00209. The region's water resources estimates were carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS no. 0148-2019-0007/AAAA-A19-119021990093-8.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Болгов М.В., Мишон Н.И., Сенцова Н.И. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечения / отв. ред. А.Е. Асарин. М.: Наука, 2005. 318 с.

Владимиров А.М., Имамов Ф.А. Принцип оценки экологического стока рек // Вопросы экологии и гидрологические расчеты: Сб. науч. тр. (межведомственный). СПб.: Изд. РГГМИ, 1994. Вып. 116. С. 4–7.

Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2009 году: Стат. сб. / под ред. Н.Г. Рыбальского и А.Д. Думнова. М.: НИА-Природа, 2010. 372 с.

Водные ресурсы и водное хозяйство России в 2018 году: Стат. сб. / под ред. Н.Г. Рыбальского, В.А. Омельяненко. М.: НИА-Природа, 2019. 274 с.

Водные ресурсы и водный баланс территории Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1967. 199 с.

Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: Гос. гидрол. ин-т, 2008. 600 с.

Водный баланс СССР и его преобразование / под ред. М.И. Львовича. М.: Наука, 1969. 338 с.

Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 548 с.

Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России. Ч. 2. Бассейны рек Волги и Дона. М.: МАКС Пресс, 2014. 214 с.

Государственный водный кадастр. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. 2018 год. СПб.: 2019. 153 с.

Джамалов Р.Г., Киреева М.Б., Косолапов А.Е., Фролова Н.Л. Водные ресурсы бассейна Дона и их экологическое состояние. М.: ГЕОС, 2017. 205 с.

Дмитриева В.А. Водные ресурсы Воронежской области в условиях меняющихся климата и хозяйственной деятельности. Воронеж: Изд. дом ВГУ, 2015. 192 с.

Дубинина В.Г., Никитина О.И., Марков М.Л. Методические подходы к определению объемов допустимого безвозвратного изъятия стока из слабоизученных малых рек // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 4. С. 80–97.

Зубенок Л.И. Испарение на континентах. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 264 с.

Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Мельник К.С., Лукьянов К.В. Современные гидрологические изменения в бассейне реки Москва // Метеорология и гидрология. 2020. № 8. С. 22–28.

Коронкевич Н.И., Мельник К.С. Антропогенные воздействия на сток реки Москвы. М.: Макс Пресс, 2015. 168 с.

Маркин В.Н. Определение экологически допустимого воздействия на малые реки // Мелиорация и водное хозяйство. 2005. № 4. С. 8–11.

Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики (за 1970–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 10. Верхне-Волжский район. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 480 с.

Фащевский Б.В. Экологическое обоснование допустимой степени регулирования речного стока. Минск: БелНИИНТИ, 1989. 52 с.

Smakhtin V., Revenga C., Döll P. Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments // Comprehensive Assessment Res. Rep. 2. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat. 2004.

Water Resources and Water-Ecological Stress in the Central Federal District of Russia

A. G. Georgiadi[1, *], N. I. Koronkevich[1], E. A. Barabanova[1], and K. S. Melnik[1]

[1]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: georgiadi@igras.ru*

The water balance, water resources, and the hydroecological state of the territory of federal subjects (oblasts) and river basins in the Central Federal District of Russia, a region with one of the highest anthropogenic loads on the water element of the environment, are considered. Both local and total (including transboundary water flow) water resources taking into account the runoff coming from neighboring territories, were assessed. The ecological and available for use (total minus ecological) runoff, which can be used without significant damage to aquatic ecosystems, were assessed too. The amount of runoff was determined both in the average long-term aspect and in the low-water years, 75 and 95% probabilities of exceeding. It is shown that the annual normal flow for the period of the end of the 19th century–1960 is much lower than that for 1930–1980. The influence of hydrotechnical transformations and water intake for various economic needs on the amount of runoff is estimated. A significant decrease in water withdrawal after 1985 was revealed. The water-ecological stress in the region was estimated by such indicators as the water stress index, the frequency rate of wastewater dilution, irretrievable water consumption, and water quality. It is shown that the utmost hydroecological stress is observed in the Moscow Oblast, in the basins of Klyazma and Moskva rivers, especially in the Moskva River below Moscow.

Keywords: oblasts, river basins, water balance, average long-term runoff, ecological and available for use runoff, low-water years runoff, anthropogenic changes, water resources quantity and quality, water-ecological stress

REFERENCES

Bolgov M.V., Mishon N.I., Sentsova N.I. *Sovremennye problemy otsenki vodnykh resursov i vodoobespecheniya* [Modern Problems of Assessing Water Resources and Water Supply]. Asarin A.E., Ed. Moscow: Nauka Publ., 2005. 318 p.

Dzhamalov R.G., Kireeva M.B., Kosolapov A.E., Frolova N.L. *Vodnye resursy basseina Dona i ikh ekologicheskoe sostoyanie* [Water Resources of the Don Basin and Their Ecological State]. Moscow: GEOS Publ., 2017. 205 p.

Dmitrieva V.A. *Vodnye resursy Voronezhskoi oblasti v usloviyakh menyayushchikhsya klimata i khozyaistvennoi deyatel'nosti* [Water Resources of the Voronezh Region under Changing Climate and Economic Activity]. Voronezh: Voronezh. Gos. Univ., 2015. 192 p.

Dubinina V.G., Nikitina O.I., Markov M.L. Methodological approaches to determining the amounts of permissible irrevocable removal of runoff from poorly studied small rivers. *Vodnoe Khozyaistvo Rossii: Problemy, Tekhnologii, Upravlenie*, 2015, no. 4, pp. 80–97. (In Russ.).

Fashchevskii B.V. *Ekologicheskoe obosnovanie dopustimoi stepeni regulirovaniya rechnogo stoka* [Ecological Rationale for the Acceptable Degree of the River Flow Regulation]. Minsk: BelNIINTI, 1989. 52 p.

Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Milyukova I.P., Kashutina E.A., Barabanova E.A. *Sovremennye i stsenarnye izmeneniya rechnogo stoka v basseinakh krupneishikh rek Rossii* [Modern and Scenario Changes in the River Flow in the Basins of the Largest Rivers in Russia]. Vol. 2: *Basseiny rek Volgi i Dona* [Basins of the Volga and Don Rivers]. Moscow: MAKS Press Publ., 2014. 214 p.

Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Mel'nik K.S., Luk'yanov K.V. Modern hydrological changes in the Moskva river basin. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, no. 8, pp. 533–537. doi 10.3103/S1068373920080026

Koronkevich N.I., Mel'nik K.S. *Antropogennye vozdeistviya na stok reki Moskvy* [Anthropogenic Impact on the Flow of the Moscow River]. Moscow: Maks Press Publ., 2015. 168 p.

Markin V.N. Determination of environmentally acceptable impact on small rivers. *Melioratsiya i Vodnoe Khozyaistvo*, 2005, no. 4, pp. 8–11. (In Russ.).

Resursy povekrhnostnykh vod. Osnovnye gidrologicheskie kharakteristiki (za 1970-1975 gg. i ves' period nablyudenii) [Surface Water Resources. Main Hydrological Characteristics (for 1970–1975 and the Entire Observation Period]. Vol. 10: *Verkhne-Volzhskii raion* [Upper-Volga Region]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 480 p.

Smakhtin V., Revenga C., Döll P. *Taking Into Account Environmental Water Requirements in Global-scale Water Resources Assessments*. Comprehensive Assessment Research Report 2. Colombo, Sri Lanka: Comprehensive Assessment Secretariat, 2004. 24 p.

State Water Cadaster. Surface and Groundwater Resources, Their Use and Quality, 2018. St. Petersburg: Rosgidromet, 2019. 153 p. (In Russ.).

Vladimirov A.M., Imamov F.A. The principle of assessing the ecological flow of rivers. In *Voprosy ekologii i gidrologicheskie raschety. Sb. nauchn. tr. (mezhvedomstvennyi)* [Problems of Ecology and Hydrological Calculations. Collection of Sci. Papers (Interdepartmental)]. St. Petersburg: RGGMI Publ, 1994. vol. 116, pp. 4–7. (In Russ.).

Vodnye resursy i vodnoe khozyaistvo Rossii v 2009 godu (Statisticheskii sbornik) [Water Resources and Water

Management of Russia in 2009 (Data Book)]. Rybal'skii N.G., Dumnov A.D., Eds. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2010. 372 p.

Vodnye resursy i vodnoe khozyaistvo Rossii v 2018 godu (Statisticheskii sbornik) [Water Resources and Water Management of Russia in 2018 (Data Book)]. Rybal'skii N.G., Omel'yanenko V.A., Eds. Moscow: NIA-Priroda Publ., 2019. 274 p.

Vodnye resursy i vodnyi balans territorii Sovetskogo Soyuza [Water Resources and Water Balance on the Territory of the Soviet Union]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1967. 199 p.

Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie [Water Resources of Russia and Their Use]. Shiklomanov I.A., Ed. St. Petersburg: GGI Publ., 2008. 600 p.

Vodnyi balans SSSR i ego preobrazovanie [Water Balance of the USSR and Its Transformation]. L'vovich M.I., Ed. Moscow: Nauka Publ., 1969. 338 p.

Voskresenskii K.P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuza* [Rate and Variability of the Annual Flow of Rivers in the Soviet Union]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1962. 548 p.

Zubenok L.I. *Isparenie na kontinentakh* [Evaporation on Continents]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 264 p.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 341–354

ТЕРРИТОРИАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЩЕСТВА

УДК 911.3+338.48

ПРИГРАНИЧНЫЙ ТУРИЗМ НА РОССИЙСКО-КИТАЙСКОЙ ГРАНИЦЕ В 2014–2019 гг.

© 2021 г. Е. В. Михайлова*

Женевский университет, Женева, Швейцария

**e-mail: mikhaylovaev@yandex.ru*

Поступила в редакцию 03.06.2019 г.
После доработки 26.02.2021 г.
Принята к публикации 03.03.2021 г.

Статья посвящена приграничному туризму и изменениям в туристской отрасли, произошедшим в российско-китайском трансграничье за период после 2014 г. На примере двух пар приграничных городов (Благовещенска и Хэйхэ, Хабаровска и Фуюаня) показано, что ввиду изменения структуры туристских потоков после девальвации рубля в 2014 г. российские и китайские приграничные города кастомизировали свою сферу услуг под китайских туристов. Картосхемы открытости сферы услуг приграничных городов, составленные на основе данных полевых выездов и материалов СМИ, демонстрируют, что сегмент бизнеса, ориентированный на привлечение клиентов из сопредельного государства, локализован в центральных районах приграничных городов, которые быстрее других частей урбанизированного пространства реагируют на колебания валютных курсов и туристских потоков. На основе оценки влияния пандемии COVID-19 на трансграничные потоки и туристскую отрасль в российско-китайском приграничье сделан вывод, что более ранняя переориентация на внутренних туристов (после 2014 г.) позволила Хэйхэ и Фуюаню быть более подготовленными к очередному внешнему шоку. Туристская отрасль Благовещенска и Хабаровска понесла существенные потери и оказалась в ситуации высокой неопределенности, когда невозможно спрогнозировать сроки возобновления прибытий китайских туристов.

Ключевые слова: приграничный туризм, российско-китайская граница, кастомизация сферы услуг, Дальний Восток РФ, Северо-Восток КНР, приграничные города, девальвация рубля, китайские туристы

DOI: 10.31857/S2587556621030109

ВВЕДЕНИЕ

Колебания валютных курсов принято рассматривать как один из макроэкономических показателей, влияющих на привлекательность территорий как туристских дестинаций. Укрепление валюты страны-дестинации может привести как к сокращению срока пребывания и объема расходов путешественников, так и к отказу от ее посещения в пользу более доступных рекреационных направлений. Туроператоры, специализирующиеся на сопровождении путешественников из регионов, чья покупательная способность значительно снизилась по отношению к валюте страны-дестинации, сталкиваются с выбором: адаптировать пакет услуг, менять специализацию или уходить с рынка.

Девальвация национальной валюты обычно имеет двоякие последствия для туристской отрасли. Жители государства, валюта которого девальвировала, оказываются ограничены в возможностях зарубежного отдыха и вынуждены пересмотреть привычные ранее модели потребления, что создает необходимость реорганизации бизнеса, специализировавшегося на выездном туризме. Однако вызванное девальвацией удешевление товаров и услуг способствует росту въездных туристских потоков и организации новых рабочих мест по их обслуживанию.

В публикациях, рассматривающих связь обменного курса и международного туристского потока при укреплении валюты страны-дестинации, исследовательская задача обычно состоит в определении стран, наиболее подверженных изменениям. Примером может служить статья К. Чена (Cheng, 2012), в которой на основе анализа международных туристских потоков в Гонконг Япония названа страной, наиболее восприимчивой к укреплению гонконгского доллара. Следовательно, туроператоры, работающие с этим направлением, в первую очередь должны адаптировать пакет предлагаемых услуг в случае очередного повышения курса валюты.

В исследованиях, обращенных к странам, курс национальной валюты которых снижается, оценка изменчивости международных туристских прибытий используется как один из индикаторов

восстановления экономики, поскольку туристская отрасль становится значимым способом привлечения в страну валюты. В ряде статей в центре внимания оказываются стратегии привлечения туристских потоков из конкретного региона. Примером может служить публикация Дж. Хигама (Higham, 2000), в которой названы ключевые методы привлечения туристов из Европы, использованные Таиландом после Азиатского финансового кризиса 1997 г.

Российские реалии в контексте обесценивания рубля в 2014–2018 гг. и роста въездного туристского потока рассматривались в небольшом числе работ. Среди них следует выделить статьи А.Ю. Александровой (Александрова, 2017; Александрова, Майкова, 2017). Девальвация рубля оказала положительное влияние на въездной туризм в Россию. На фоне общего роста международного въездного туристского потока наиболее существенно увеличилось число туристов из Азии. С 1995 по 2015 г. доля туристов из этого макрорегиона во въездном сегменте туристского рынка России возросла примерно в 5 раз с 9.3 до 42% (Александрова, 2017, с. 102). С 2016 г. ведущую роль в формировании въездного потока туристов из дальнего зарубежья в Россию играет Китай. Одним из определяющих факторов увеличения прибытий китайских туристов в Россию стала девальвация рубля 2014 г. (Заклязьминская, 2018, с. 192).

Увеличение доли туристов из Азии в потоке международных въездных туристов – общемировая тенденция, связанная, прежде всего, с ростом международных туристских отбытий из Китая, который, в свою очередь, обусловлен ростом доли среднего класса, продолжающимся повышением доходов населения и расширением потребительского кредитования в Китае (Заклязьминская, 2018, с. 210). За 2009–2017 гг. количество отбытий китайских туристов за рубеж возросло втрое и составило 139.5 млн поездок[1]. По данным туристической ассоциации “Мир без границ”[2], количество туристских прибытий из Китая в Россию за тот же период возросло в 12.8 раз и составило около 1.5 млн поездок в 2017 г. Хотя такое количество поездок соответствует всего 1% от общего количества международных отбытий из КНР в 2017 г., в России на туристов из КНР приходилось 20% туристских прибытий из стран дальнего зарубежья.

Особенности приграничного туризма на российско-китайской границе после 2014 г. рассматривались в ряде работ, обращенных к теме теневого оборота в туристской отрасли (Глазырина, Пешков, 2018; Зуенко, 2018) и перераспределения ролей в трансграничном шопинге (Рыжова, Журавская, 2015). Приграничные города как основные платформы туристской деятельности не выступали в качестве объекта исследования.

В этой статье предпринята попытка анализа приграничного туризма через призму городских исследований. Цель статьи – определить направления адаптации приграничных городов на российско-китайской границе к изменениям структуры туристских потоков под действием колебаний курса валют после 2014 г. В качестве полигона исследования выбраны Благовещенск и Хэйхэ, Хабаровск и Фуюань – две пары соседних приграничных городов с высоким потенциалом сотрудничества (Ларин, 2005; Рыжова, 2009; Сютин, 2020).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В статье использован метод анализа кейсов для изучения Благовещенска и Хэйхэ, Хабаровска и Фуюаня. Выбранные города имеют ряд значимых черт сходства:

1) они расположены в среднем течении Амура, по которому на этом участке проходит российско-китайская граница;

2) транспортное сообщение между ними осуществляется по реке и наиболее интенсивно в сезон летней навигации;

3) города в парах имеют сходный административный статус: Благовещенск и Хабаровск – столицы субъектов РФ, Хэйхэ и Фуюань – административные центры городских округов Китая;

4) обе пары городов сталкиваются со схожими вызовами – асинхронной урбанизацией на российской и китайской стороне границы (китайские города-соседи значительно моложе российских) и разной выгодой от существующих трансграничных потоков (до 2014 г. импульс развития сильнее ощущался в китайских приграничных городах).

Одновременно с перечисленными сходствами рассматриваемые города имеют ряд существенных различий, в том числе в удаленности друг от друга, демографическом потенциале, а также продолжительности, интенсивности и значимости приграничных связей для развития в последние десятилетия. Благовещенск и Хэйхэ, разделенные 600 м водной глади и находящиеся в непосредственном контакте на протяжении последних 30 лет, сформировали прочный каркас профессиональных связей в сфере бизнеса, культуры, образования и здравоохранения. Хабаровск и Фуюань отстоят друг от друга на 65 км. Ввиду удаленности и в условиях сильного рубля до недавнего времени трансграничные контакты строились вокруг посещения российскими гражданами Фуюаня.

[1] Статистика выездных туристских потоков в 2009–2018 гг. https://www.travelchinaguide.com/tourism/ (дата обращения 10.10.2020).

[2] Официальный сайт туристической ассоциации “Мир без границ”. www.visit-russia.ru (дата обращения 10.10.2020).

Согласно отчетам управления международных связей администрации г. Хабаровска за 2014–2016 гг., с 2014 г. произошло расширение сфер взаимодействия, но оно еще не дало конкретных результатов. Для более населенного Хабаровска, выполнявшего функции центра Дальневосточного федерального округа в 2000–2018 гг., приграничное положение не является определяющим в идентичности местного населения[3], в то время как соседство, а точнее непрерывная жилая застройка стала основой самовосприятия и туристского позиционирования Благовещенска и Хэйхэ (Бийе, 2014; Рыжова, 2008; Mikhailova, Wu, 2018).

Исследование опиралось на статистические, социологические и картографические методы. Во время полевых выездов в Благовещенск и Хэйхэ (апрель 2017 г.), Хабаровск и Фуюань (август 2017 г.) производилась фиксация используемых способов привлечения клиентов из сопредельного государства, расположения и отраслевой принадлежности организаций, ориентированных на их обслуживание. В качестве дополнительных источников выявления изменений в сфере услуг использовались иноязычные рекламные материалы, ориентированные на туристов из сопредельного государства. Разовое проведение полевых выездов, бесспорно, ограничило возможности исследования. Для минимизации эффекта одномоментности проведенных городских наблюдений в ходе работы привлекались актуальные материалы СМИ.

Сбор и обработка полевых данных проводились с учетом работ С. Долзблаш, А. Рачик и Ф. Лара-Валенсия (Dołzbłasz, Raczyk, 2012; Lara-Valencia, Dołzbłasz, 2019), в которых проведена оценка открытости предприятий сферы услуг в парах городов, расположенных на германско-польской и американо-мексиканской границах, по отношению к клиентам из стран-соседей. В обеих статьях учреждения считались “открытыми” при 1) наличии вывески; 2) наличии информационных материалов (ценников, раздаточных материалов, визиток, меню) на языке сопредельного государства; 3) возможности оплаты в валюте сопредельного государства; 4) базовом уровне владения языком сопредельного государства персонала торговых точек. В первой статье исследователи на основе наблюдений и опроса персонала классифицировали 836 учреждений сферы услуг в городах на границе Германии и Польши (Dołzbłasz, Raczyk, 2012, p. 353). Результатом полевых исследований С. Долзблаш и А. Рачик стала карта уровня открытости бизнеса в отношении клиентов из соседнего государства. Во второй статье показано, что специализация розничной торговли обусловлена уровнем цен на аналогичные товары и услуги в соседних странах и разницей в доходах населения (Lara-Valencia, Dołzbłasz, 2019, p. 189).

ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ПОТОКИ И МОТИВАЦИИ ПЕРЕСЕЧЕНИЯ РОССИЙСКО-КИТАЙСКОЙ ГРАНИЦЫ: ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОПРОСА

До недавнего времени изучение трансграничных потоков на российско-китайской границе было связано не столько с туристской отраслью, сколько с челночной торговлей и нелегальной трудовой миграцией.

Открытие российско-китайской границы в конце 1980-х годов дало старт бартерной торговле. Как отмечают старожилы, первые контакты жителей приграничных территорий СССР и КНР были продиктованы острым товарным дефицитом, а не любознательностью. Обустройство пунктов пропуска через границу и установление транспортного сообщения положило начало челночной торговле – поездкам граждан России в Китай за товаром, ввозимым под видом товара для личного пользования, но на практике реализуемом на мелкооптовых рынках. Для многих жителей приграничья, задействованных в “сером” импорте, граница стала источником заработка и первичного накопления капитала. Н.П. Рыжова и Н.Л. Симутина (2007) помимо челночества выделяют еще четыре вариации деловых практик, использующих ресурс российско-китайской границы: “кирпичество”, “реализаторство”, “посредничество” и “подставное лицо”. Первая и вторая практики возникли в процессе оптимизации приграничной торговли. Третья и четвертая практики стали ответом на ограничительные действия российских властей. Постепенно конкуренция крупных компаний-импортеров и оптовиков и ограничительные действия властей трансформировали челночный бизнес в отлаженные сети с многозвенной структурой “собственник товара” – “организатор перевозки груза” – “подставные лица, перевозящие товар” (Журавская, 2011). Распространение онлайн-торговли в КНР и развитие ведущих платформ электронной торговли Taobao и AliExpress способствовали возникновению новой деловой практики в российско-китайском приграничье – посредничества в онлайн-торговле, которое заключается в помощи в приобретении интернет-товара и его доставке через границу (Ryzhova, 2018).

Наравне с активизацией торгового обмена, открытие границы создало возможности для китайской трудовой миграции в Россию. Три основных категории китайских мигрантов в России в 1991–2009 гг. составляли 1) торговцы, 2) рабочие, заня-

[3] См. цитаты философа Л.Е. Бляхера и географа А.М. Филонова в статье “Две столицы: почему Хабаровск и Владивосток спорят за звание главного города Дальнего Востока”. https://dv.land/spec/dve-stolitcy (дата обращения 03.01.2018).

тые в сельском хозяйстве, строительстве и на лесозаготовках, и 3) студенты и работники умственного труда (Repnikova, Balzer, 2009). Как показано в работах В. Гельбраса (2001) и Ж. Зайончковской (2005), высказывания о "китайской демографической экспансии", распространившиеся в начале 1990-х годов, голословны. На 1999 г. численность выходцев из КНР, более или менее постоянно проживающих на территории России, составляла от 200 тыс. до 450 тыс. человек. При этом на Дальнем Востоке ключевой формой миграции китайцев выступала маятниковая миграция, подразумевающая периодическое возвращение в место выезда. Более "оседлое" сообщество китайцев формировалось в Москве (Гельбрас, 2001, с. 81–85).

В конце 2000-х годов был озвучен взгляд на китайскую трудовую миграцию как на упущенную возможность развития России (Repnikova, Balzer, 2009). Этот тезис, выдвинутый во время экономического кризиса 2008–2009 гг., частично подтвердился: в связи с осложнением экономического положения страны и девальвацией рубля миграционный прирост китайцев с 2010 г. стал отрицательным (Ларин, 2017, с. 68).

Досуговая мотивация стала выступать в качестве самостоятельного движущего фактора пересечения российско-китайской границы заметно позже экономической мотивации, которая обусловила челночную торговлю россиян китайскими товарами и трудовую миграцию китайцев в Россию (Ильина, Михайлова, 2015). Важным стимулом для развития двустороннего, в том числе приграничного туризма стало подписание в 2000 г. соглашения между правительствами двух стран о безвизовых групповых туристических поездках. В китайском приграничье, в частности в Манчжоули, Суйфеньхэ, Тунцзяне и Хэйхэ, наделенных статусом "открытых торговых городов", постепенно была создана инфраструктура для приема туристов из РФ. Российские приграничные города начали проявлять интерес к повышению своей туристической привлекательности для китайских потребителей в начале 2010-х годов (Mikhailova, 2015, p. 447).

ВЛИЯНИЕ ВАЛЮТНЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ТУРИСТСКИЕ ПОТОКИ НА РОССИЙСКО-КИТАЙСКОЙ ГРАНИЦЕ

Падение цен на нефть в 2014 г. на фоне финансовых санкций США и зарубежной Европы в отношении России привели к долгосрочной девальвации рубля. Максимально продолжительные повышательные тренды колебаний курса юаня к рублю наблюдались с июля 2014 г. по январь 2015 г., когда курс вырос практически в два раза с 5.8 до 11.2 руб. за юань, а затем с апреля 2015 г. по январь 2016 г., когда валюта КНР повторно укрепилась по отношению к рублю.

Среднегодовой курс в 2015–2016 гг. составил 9.9 руб. за юань, что по сравнению с недавним курсом на уровне 4.9–5.2 руб. за юань в 2012–2013 гг. стало существенным потрясением для экономических связей Дальнего Востока РФ и Северо-Востока КНР. Значительные изменения курса валют нарушили паритет их покупательной способности. Вследствие этого граждане КНР стали заметно чаще посещать российские города (в частности, приграничные) ради приобретения импортных товаров.

Согласно статистике безвизовых поездок туристских групп за 2008–2016 гг., в Амурской области въездной поток из КНР стал превышать выездной поток с 2013 г. За последнее десятилетие потоки туристов, направляющихся в Китай из Амурской области и прибывающих из Китая, поменялись местами: если в 2008 г. 88.5% пересечений границы в составе тургрупп между Благовещенском и Хэйхэ приходилось на выездной поток в КНР, то в 2017 г. 88.5% пересечений по безвизовому каналу для туристических групп, наоборот, составляли туристы из Китая (рис. 1). Хотя рост въездного потока из КНР в Благовещенск происходил практически непрерывно с 2008 г. (за исключением незначительного снижения в 2013 г.), в последние годы он ускорился. В 2016 г. число китайских туристов, въехавших в Благовещенск по безвизовому каналу, составило около 80 тыс. человек, что более чем в два раза выше турпотока, зафиксированного в 2012 г. При этом общее число пересечений российско-китайской границы по безвизовому каналу через Благовещенскую таможню за 2008–2016 гг. сократилось практически на 10 тыс. поездок.

По данным туристического портала Хабаровского края, за 2011–2018 гг. въездной поток иностранных туристов в регион вырос в 3.5 раза и в 2018 г. составил 55.4 тыс. человек (рис. 2). Каждый второй иностранный турист региона являлся гражданином КНР. Количество китайских туристов за тот же период возросло в 3.4 раза. Наиболее высокие темпы роста въездного потока из КНР были зафиксированы в 2015 г., когда число китайских туристов достигло 18.7 тыс. человек (178% от уровня 2014 г.). Наиболее значительные изменения в выезде жителей Хабаровского края в КНР произошли в 2015 г.: число выезжающих снизилось более чем в 5 раз по сравнению с уровнем 2011 г. и составило всего 44.5 тыс. человек.

Как показало сопоставление хронологии валютных колебаний и изменений в динамике туристских потоков на российско-китайской границе в 2011–2018 гг., вслед за двукратным укреплением юаня к рублю в 2014 г. произошел резкий спад отбытий российских туристов в КНР: по

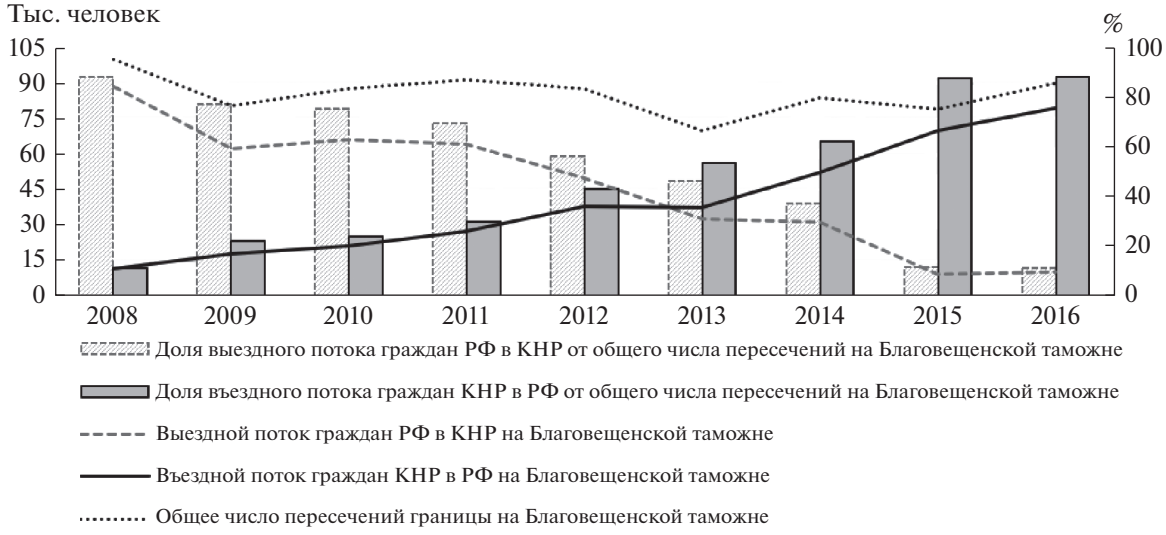

Рис. 1. Динамика въездных и выездных безвизовых туристских потоков, зарегистрированных на Благовещенской таможне за 2008–2016 гг. Составлено по данным, предоставленным Министерством внешнеэкономических связей, туризма и предпринимательства Амурской области.

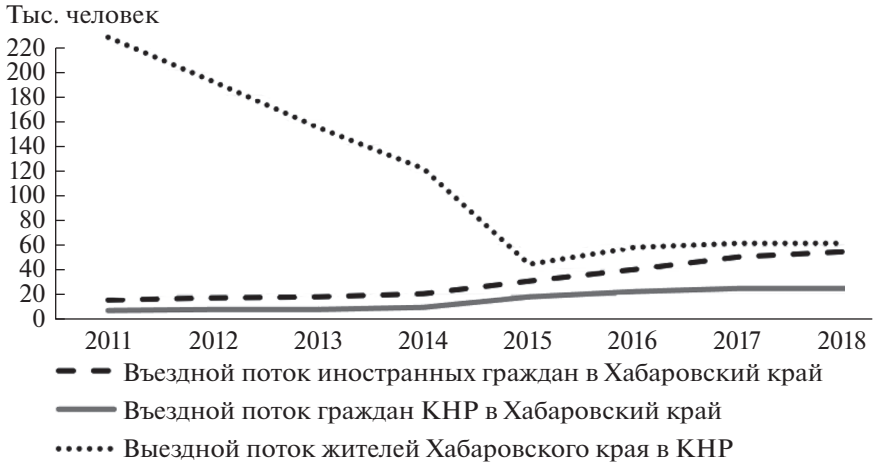

Рис. 2. Динамика туристских потоков в Хабаровском крае за 2011–2018 гг. Составлено по ежегодным итоговым отчетам Управления по туризму Министерства культуры Хабаровского края. http://www.travel.khv.ru/sections/11 (дата обращения 20.10.2020).

сравнению с 2014 г. число россиян, посетивших Китай с туристическими целями, в 2015 г. сократилось на 64% на Хабаровской таможне и на 70% на Благовещенской таможне. Число прибытий китайских туристов продолжило возрастать: после стагнации 2013 г., когда прирост прибытий из КНР составил –1% на Благовещенской таможне и 0.2% на Хабаровской таможне, 2014 и 2015 гг. были отмечены высоким темпом прироста: 40 и 33% на Благовещенской таможне и 28 и 78% на Хабаровской таможне.

ИЗМЕНЕНИЯ В СФЕРЕ УСЛУГ ПРИГРАНИЧНЫХ ГОРОДОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ И СЕВЕРО-ВОСТОКА КНР ПОСЛЕ 2014 г.

Перераспределение ролей покупателей и продавцов между жителями российского и китайского берегов Амура осенью 2014 г. сопровождалось нежеланием дальневосточников принимать новую реальность, в которой “привычно воспринимаемый небогатым, с ограниченными потребностями китайский “младший брат” вдруг стал покупать элитные товары, ставшие малодоступными

для русского “старшего брата” (Рыжова, Журавская, 2015, с. 213). Однако в условиях падения платежеспособности местного населения представители бизнеса быстро отреагировали на рост спроса со стороны китайских туристов.

Ниже на основе материалов СМИ и полевых наблюдений в апреле и августе 2017 г. в Благовещенске и Хэйхэ, Хабаровске и Фуюане проведен анализ направлений и инструментов адаптации этих городов к новым экономическим реалиям (в частности, к новой структуре туристских потоков) после 2014 г.

Адаптация Благовещенска и Хэйхэ

С 2014 г. учреждения сферы услуг Благовещенска высокими темпами начали кастомизацию под китайских клиентов. Если в полевой выезд автора в 2013 г. в Благовещенске было задокументировано четыре вывески на китайском языке, две из которых были установлены предпринимателями, то в 2017 г. ситуация кардинально изменилась. Многие торговые центры (ТЦ), фирменные магазины и предприятия общественного питания, расположенные в центре Благовещенска, установили вывески, обеспечили информацию о ценах, выпустили брошюры на китайском языке.

В гостиницах, торговых центрах и музеях Благовещенска в апреле 2017 г. было собрано восемь рекламных проспектов на китайском языке[4]. На основе их изучения были выявлены следующие маркетинговые приемы для привлечения китайских клиентов и продвижения своих товаров и услуг:

– составление объявлений с позиции гостеприимных соседей (в брошюрах граждане КНР назывались “гостями” и “друзьями из Китая”);

– использование привычных для китайцев каналов информирования (QR-кодов, мессенджера WeChat) и способов привлечения посетителей (скидок и купонов);

– в случае специализации предприятия на продаже товаров из России – акцентирование их качества, пользы для здоровья, долгого срока службы, статусности приобретения;

– использование красных и желтых цветов в оформлении объявлений;

– использование фотографий рекламируемого товара и магазина (как торговой площади, так и входа), применение картосхем, перечисление брендов.

Приведенный перечень успешных маркетинговых приемов предприятий Благовещенска, ориентированных на китайских клиентов, может использоваться предприятиями, заинтересованными в привлечении покупателей из КНР, в других российских городах, в том числе неприграничных.

Среди собранных в 2017 г. китайскоязычных рекламных материалов наиболее продуманными и информативными были: 1) гастрономическая карта Благовещенска, изготовленная в 2015 г. Амурской гильдией кулинаров и рестораторов, и 2) рекламный журнал, напечатанный региональным российским издательским домом, специализирующимся на издании газеты бесплатных объявлений. Гастрономический печатный путеводитель включал объявления ресторанов, кафе и кофеен города с указанием особенностей интерьера, развлекательной программы и продажи сувениров. На страницах журнала были размещены объявления как для привлечения клиентов, так и для поиска китайских и российских партнеров. Наиболее часто в объявлениях фигурировали такие российские товары, как янтарь и ювелирные изделия, золото, вино, обувь, мед, меха, натуральная косметика и лекарства.

Необходимость обслуживания китайских клиентов и создания визуального и маркетингового облика Благовещенска на китайском языке повысила спрос на специалистов, владеющих этим языком. По данным российской компании интернет-рекрутмента HeadHunter, с 2014 г. число вакансий для кандидатов со знанием китайского языка на рынке труда Амурской области выросло в четыре раза[5].

Примечательно, что в связи с увеличением въездного потока китайских туристов после девальвации рубля в Благовещенске были открыты или существенно расширены два торговых центра. Они находятся за пределами центра города, но превосходят другие торговые комплексы Благовещенска по ассортименту и оформлению. Один из этих ТЦ является отделением федеральной сети супермаркетов. Открытый в 2017 г., он изначально был оборудован вывесками на китайском языке по всей площади торгового зала в 7 тыс. м^2. С высокой вероятностью можно предположить, что открытие супермаркета таких размеров в 220-тысячном Благовещенске связано с его соседством с Хэйхэ и ростом въездного потока туристских групп из КНР. Второй торговый центр традиционно выступал местом шопинга китайских туристов. В 2016 г. после открытия в нем третьей очереди площадь ТЦ увеличилась с

[4] Шесть рекламных буклетов и листовок содержали перевод на русский язык. Две китайскоязычные брошюры были переведены на русский язык к.г.н., ст.н.с. Института Дальнего Востока РАН И.Г. Чубаровым, совместно с которым осуществлялся полевой выезд в апреле 2017 г.

[5] В Амурской области стали чаще искать работников, знающих китайский язык // Амур. инфо. 2016. 17 ноября. http://www.amur.info/news/2016/11/17/118057 (дата обращения 08.05.2017).

80 до 110 тыс. м^2. В брошюре на китайском языке новые залы, стилизованные под архитектуру XIX в., описываются как "широкие площади и уютные улицы, сочетающие элементы старого Благовещенска, Венеции, Одессы и Санта-Барбары", т.е. используются в качестве дополнительного стимула посещения отдаленного ТЦ.

В ответ на сильные валютные колебания и изменение структуры туристских потоков Хэйхэ пришлось переориентироваться на обслуживание внутренних туристов. Резкое сокращение потока туристов из России и снижение их покупательной способности принесли значительные убытки компаниям города. Ряд из них обанкротились и закрылись, другие перепрофилировались на продажу русских товаров местным и приезжим китайцам.

Новым источником экономического оживления в Хэйхэ после 2014 г. стала электронная торговля, сконцентрированная в созданном в 2012 г. Парке трансграничной электронной торговли общей площадью 100 тыс. м^2. Парк набрал обороты в 2014–2015 гг., когда падение покупательной способности рубля при фактическом отсутствии ввозных пошлин способствовало быстрому росту розничных интернет-поставок из Китая в Россию (Пиковер, 2020, с. 275). К 2015 г. в Парке трансграничной электронной торговли разместилось 120 компаний электронной коммерции. К 2016 г. было заключено соглашение о стратегическом сотрудничестве Парка с Интернет-корпорацией Alibaba Group, были созданы университеты Taobao и AliExpress. Развивая новую специализацию города, администрация Хэйхэ стимулировала предпринимателей Амурской области присоединяться к новому виду торгово-экономического сотрудничества: проводила экспресс-курсы на русском языке об основах электронной коммерции и ее особенностях в Китае[6] и организовывала визиты в Парк для бизнес-сообщества Приамурья.

Кроме компаний, обслуживающих российских покупателей, в Парке стали возникать компании, занимающиеся поставками экологически чистых продуктов из России в Китай. Флагманом на этом направлении стала компания "Эпиндо" (Epinduo), основанная в Хэйхэ в 2016 г. За четыре года существования компания достигла ежедневного уровня продаж в 4 млн руб., создала сеть розничных магазинов российской продукции в Китае и вышла на крупнейшие электронные торговые площадки Китая – Tmall, JD, 1688, Pinduoduo и др. В 2019 г. компания "Эпиндо" была признана лучшим магазином по продаже импортных продуктов питания на платформе JD.com[7].

Важным результатом в новых экономических и геополитических условиях стало подписание соглашения о строительстве трансграничного моста через Амур в районе Благовещенска, двусторонние переговоры о возведении которого велись с 1988 г. Строительные работы были завершены в конце 2019 г. В мае 2020 г. было получено разрешение Минстроя России на ввод моста в эксплуатацию. Открытие моста планируется после снятия эпидемиологических ограничений.

Адаптация Хабаровска и Фуюаня

По аналогии с Благовещенском некоторые предприятия сферы услуг Хабаровска с 2014 г. стали рассматривать китайских клиентов как свою целевую аудиторию и кастомизировать под нее обслуживание и маркентинг – создали вывески и информационные материалы на китайском языке. Как показал полевой выезд 2017 г., число таких организаций было относительно невелико; в основном они концентрировались в Центральном районе города.

Согласно данным городской администрации, баннеры на китайском языке на центральных улицах Хабаровска были размещены в 2016 г.[8] В 2017 г. был впервые опубликован путеводитель по городу на китайском языке[9]. В 2019 г. запущено мобильное приложение-путеводитель с версией на китайском языке[10].

Шаги по повышению открытости в отношении клиентов из КНР сделали предприятия, предоставляющие услуги пассажирских перевозок. По одному из автобусных маршрутов Хабаровска, охватывающему ключевые улицы города и, следовательно, большинство организаций, оказывающих услуги китайским туристам, в 2017 г. информация была дублирована на китайский язык[11].

[6] Открывать магазины на "Таобао" благовещенцев научат в бизнес-инкубаторе Хэйхэ // Амурская правда. 2016. https://ampravda.ru/2016/10/06/070197.html (дата обращения 13.10.2020).

[7] *Гордиенко О.* ВЭФ: Первый онлайн-магазин российских товаров на Tmall готов продавать амурские продукты // Амурская правда. 2020. https://ampravda.ru/2019/09/04/090752.html (дата обращения 10.11.2020).

[8] Развитие туристских связей Хабаровского края с зарубежными странами в 2016 году // Сайт Управления по туризму Министерства культуры Хабаровского края. http://www.travel.khv.ru/pages/171 (дата обращения 07.05.2017).

[9] В Хабаровске выпустили гид по городу на китайском языке // Хаб.инфо. 2017, 18 июля. https://habinfo.ru/kitajskij-gid-po-habarovsku/ (дата обращения 11.9.2017).

[10] *Васильев А.* Разработан мобильный путеводитель по Хабаровску с легендами и историями // Новости Хабаровска на DVHAB.RU 2019, 11 февраля. https://www.dvnovosti.ru/khab/2019/02/11/95049/ (дата обращения 01.03.2020).

[11] *Мурзина К.* Автобусы в Хабаровске сделали удобными для китайских туристов // Восток Медиа. 2017, 27 июля. https://vostokmedia.com/news/city/27-07-2017/avtobusy-v-habarovske-sdelali-udobnym-dlya-kitayskih-turistov (дата обращения 12.08.2017).

Переориентация Фуюаня на китайский внутренний туристский поток произошла легче, чем в Хэйхэ ввиду меньшего размера города и явной сезонности приема туристов из России. До запуска чартерного авиасообщения между Хабаровском и Фуюанем в 2016 г. использование географической близости и посещение города-соседа было возможно только с мая по октябрь в период речной навигации.

Кроме того, ориентация на туристов из других регионов КНР существовала в Фуюане и раньше. После завершения демаркации на местности восточной секции российско-китайской границы в 2008 г. в КНР стали разрабатывать планы по рекреационному освоению самой восточной точки страны – китайской части о. Б. Уссурийский, входящей в уезд Фуюань. В 2011 г. были сданы в эксплуатацию два первых туристских объекта: площадь Солнца на коренном берегу р. Амур, в центре которой возвышается 49-метровый монумент в виде иероглифа “Восток”, и парк водно-болотных угодий на китайской части о. Б. Уссурийский. В 2014 г. в непосредственной близости к государственной границе была возведена 81-метровая пагода, самая восточная в КНР. На 2015 г. внутренний поток туристов, посещающих этот рекреационный комплекс, составлял 1000 человек в день[12]. По данным комитета Народного правительства провинции Хэйлунцзян по строительству и управлению китайской частью о. Б. Уссурийский, за 2016 г. в самой восточной точке КНР побывали 260 тыс. внутренних туристов. За тот же год управление по туризму Хабаровского края сообщало о том, что 20.65 тыс. туристов из КНР (то есть каждый 12-й) воспользовались возможностью посетить соседний Хабаровск и въехали в город через речной порт[13].

Оценка открытости бизнеса городов на российско-китайской границе в отношении клиентов из соседнего государства

На основе методики С. Долзблаш и А. Рачик были составлены картосхемы уровня открытости бизнеса в отношении клиентов из соседнего государства для каждого из четырех рассматриваемых городов. Рисунок 3 составлен на основе данных сайта http://vheihe.ru/ (ориентированного на сопровождение туристов из России в Хэйхэ), материалов СМИ (по организациям с регулярными активными трансграничными контактами с городом-соседом), а также собранных во время полевого выезда печатных рекламных материалов. Китайская сторона освещена на картосхеме в меньшей степени, чем российская, что обусловлено особенностями организации учреждений сферы услуг Хэйхэ. Бизнес, ориентированный на россиян, в Хэйхэ образует несколько кластеров – крупных торговых центров и длинных торговых улиц, на которых расположены сотни небольших торговых точек и гостиниц; некоторые из них находятся на втором этаже, поэтому анализ и картографирование городского пространства на уровне организаций затруднен.

Рисунок 3 подтверждает вывод С. Долзблаш и А. Рачик (Dołzbłasz, Raczyk, 2012) о том, что учреждения сферы услуг, ориентированные на клиентов из сопредельного государства, сосредоточены в центрах приграничных городов и вдоль основных транспортных путей. В Благовещенске и Хэйхэ местами концентрации таких организаций являются набережные, районы возле пассажирских портов, две магистральные улицы Благовещенска – ул. 50-летия Октября и ул. Ленина. Однако по Благовещенску видно, что предприятия сферы услуг, ориентированные на клиентов из сопредельного государства, постепенно выходят за пределы этих районов. Два из восьми торговых центров, в которых группируется бизнес, ориентированный на китайских клиентов, расположены на значительном отдалении от порта и от центра города.

На рис. 4, посвященном Фуюаню, видно, что в городе значительно меньше предприятий сферы услуг, основными клиентами которых на протяжении последних лет были российские туристы, чем в Хэйхэ. Можно говорить об их компактной локализации в центре города между пешеходной торговой ул. Сянцзянлу и ведущей к автовокзалу ул. Чжэнъянлу. Большинство мини-кластеров по оказанию услуг туристам из России включает торговый центр, гостиницу и ресторан. Четыре гостиницы, на протяжении нескольких выпусков размещавшие рекламу в русскоязычном путеводителе по Фуюаню, находятся на относительном удалении от центра, ориентированного на обслуживание россиян. Можно предположить, что ранее рядом располагались другие предприятия сферы услуг, специализировавшиеся на русскоязычном сервисе, которые либо закрылись, либо сменили профиль деятельности в связи со снижением туристского потока из России.

На рис. 5 показан Центральный район Хабаровска – деловой, досуговый и научный центр города. В этом районе сосредоточены учреждения, специализирующиеся на работе с китайскими клиентами. Основная часть таких предприятий расположена на главных транспортных магистралях – ул. Муравьева-Амурского, ул. Карла Маркса, Амурском бульваре. Турфирмы, специализи-

[12] *Леонкин А.* Фуюань начал развивать туристический брэнд для китайских туристов: поездки в Хабаровск // Город Фуюань. http://fuyuan.ru/6465/ (дата обращения 07.10.2020).

[13] *Андреев И.* Компании из Фуюаня и Хабаровска создали ассоциацию туриндустрии стран АТР // Восток Медиа. 2017, 16 мая. https://vostokmedia.com/news/society/16-05-2017/kompanii-iz-fuyuanya-i-habarovska-sozdali-assotsiatsiyu-turindustrii-stran-atr (дата обращения 09.10.2020).

Рис. 3. Предприятия сферы услуг Благовещенска и Хэйхэ, ориентированные на клиентов из сопредельного государства. Составлено по рекламным брошюрам на китайском языке, распространяемым в Благовещенске в апреле 2017 г., материалам сайта http://vheihe.ru/ и данным, полученными в ходе полевого выезда.

рующиеся на продаже хабаровчанам туров в Фуюань, локализованы у речного порта.

Сопоставление картосхем позволяет сделать следующие выводы:

• наибольшая ориентация на клиентов из сопредельного государства, по данным на 2017 г., прослеживалась в столице Приамурья;

• сегмент бизнеса, ориентированный на привлечение клиентов из сопредельного государства, локализован в центральных районах приграничных городов, которые являются "термометрами" трансграничной динамики (Arreola, Curtis, 1993), а значит, быстрее других частей урбанизированного пространства реагируют на колебания валютных курсов и туристских потоков.

Картографические материалы и выявленные с их помощью закономерности расположения предприятий сферы услуг, специализирующихся на привлечении клиентов из сопредельного государства, могут использоваться органами местного самоуправления приграничных муниципальных образований (как на российско-китайской границе, так и на других участках границы РФ) для выработки мер по содействию трансформации городской среды. Эти меры могут быть направлены как на повышение комфорта районов города, уже освоенных туристами из сопредельного государства, так и на расширение этих районов за счет близлежащих территорий путем дублирования названий улиц, установки информационных стендов о памятниках культуры и указателей объектов туристского показа на ино-

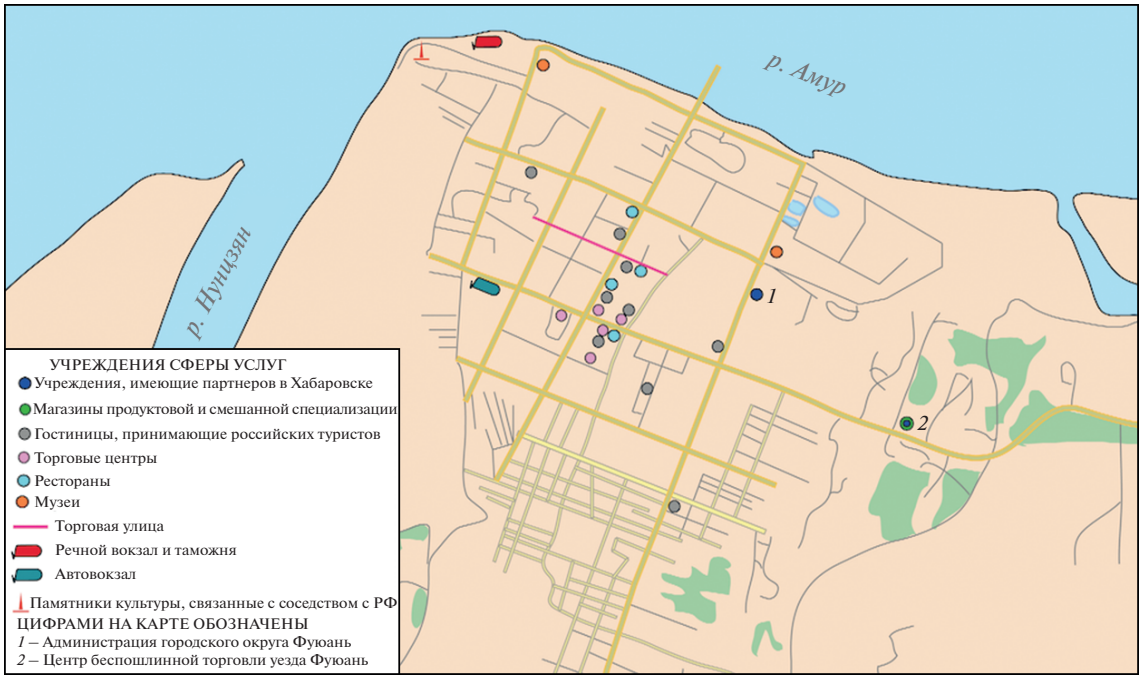

Рис. 4. Предприятия сферы услуг Фуюаня, ориентированные на клиентов из России. Составлено по русскоязычным путеводителям по Фуюаню за 2011–2017 гг. и полевым дневникам.

Рис. 5. Предприятия сферы услуг Хабаровска, ориентированные на клиентов из КНР. Составлено по материалам интервью и полевых заметок.

странных языках. Подготовленные картосхемы также могут быть использованы органами местного самоуправления и предпринимателями приграничных городов в качестве ориентира в процессе подготовки карты собственного города для туристов из сопредельного государства.

ВЛИЯНИЕ ПАНДЕМИИ COVID-19 НА ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ПОТОКИ И ТУРИСТСКУЮ ОТРАСЛЬ НА РОССИЙСКО-КИТАЙСКОЙ ГРАНИЦЕ

Пандемия новой коронавирусной инфекции COVID-19 привела к глобальному кризису системы здравоохранения, возвращению пограничного контроля на ранее прозрачные государственные границы и к рецессии. Одной из значительно пострадавших отраслей в мире и в исследуемом регионе стала туриндустрия.

31 января 2020 г. по распоряжению Правительства РФ было ограничено движение через пункты пропуска на российско-китайской границе[14]. Регулярное пассажирское сообщение через пограничные пункты пропуска в Амурской области и Хабаровском крае было приостановлено накануне на время празднования китайского Нового года. С этого момента и до настоящего времени (февраль 2021 г.) туристский пассажиропоток через российско-китайскую границу не возобновлялся.

По данным Всемирной туристской организации[15], за первые восемь месяцев 2020 г. в мире зарегистрировано на 700 млн (т.е. на 70%) иностранных прибытий меньше, чем за аналогичный период 2019 г. Это привело к убыткам от экспорта туристских услуг в размере свыше 56 трлн руб., что восьмикратно превышает убытки мировой туриндустрии кризисного 2009 г. По оценкам Ростуризма и Российского союза туриндустрии, за 2020 г. отечественная туриндустрия потеряет около 600 млрд руб., т.е. более 70% от экспорта туристских услуг 2019 г., из-за отсутствия иностранных туристов и прежде всего туристов из Китая[16]. По данным Правительства Амурской области[17], за первые пять месяцев 2020 г. выручка компаний, работающих с турпотоками из КНР, снизилась на 90%. В Хабаровске, где поток китайских туристов заметно уступает Благовещенску и главным образом приходится на сезон летней навигации, основные потери понесли турфирмы, отели и рестораны, ориентированные на оказание услуг гражданам КНР, магазины сувенирной продукции и ювелирных изделий.

В условиях пандемии туроператоры по всему миру, включая Россию и Китай, переориентируются на внутренний туризм. Хэйхэ и Фуюань, активизировавшие ориентацию на внутренний рынок после 2014 г., оказались более подготовленными к очередному внешнему вызову. Благовещенск и Хабаровск понесли существенные потери и оказались в ситуации высокой неопределенности, когда невозможно спрогнозировать сроки возобновления прибытий китайских туристов.

Ограничения перемещений граждан, сокращение торговых перевозок, приостановка производства, временное закрытие учреждений сферы услуг привели к падению цены на нефть и новым валютным колебаниям. По данным за девять месяцев 2020 г., среднемесячный курс юаня к рублю составил 10.12 руб. за юань, что превосходит значения 2015–2019 гг. Как показывает проведенное исследование, укрепление юаня к рублю повышает туристскую привлекательность российской части приграничья. После стабилизации эпидемиологической обстановки можно будет оценить роль этого фактора в восстановлении туристских потоков из Китая в Россию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Регионы вдоль российско-китайской границы, значительная часть хозяйства которых с момента открытия границы и либерализации внешней торговли была ориентирована вовне, быстрее других почувствовали изменения курса валют и структуры туристских потоков между Россией и Китаем, произошедшие с 2014 г.

Российские и китайские приграничные города ввиду валютной волатильности, наблюдаемой с 2014 г., постепенно стали переориентироваться на внутренних китайских туристов. При этом китайские приграничные города, ранее ориентированные исключительно на туристов из России, понесли существенные издержки. Учреждениям сферы услуг в российских приграничных городах потребовалось инвестировать в наем китайскоязычных специалистов и изменить маркетинговые стратегии. При этом учреждения сферы услуг Благовещенска осуществляли кастомизацию под китайских туристов быстрее и масштабнее, чем аналогичные учреждения в Хабаровске. Сфера услуг Фуюаня с меньшими потерями перенесла изменения в структуре туристских потоков в силу меньшего размера города, его параллельной ориентации на внутренних китайских туристов, предшествовавшей девальвации рубля в 2014 г., и отчетливо выраженной сезонности приема тури-

[14] Распоряжение Правительства РФ от 30 января 2020 года № 140-р о временном ограничении движения через пункты пропуска на отдельных участках государственной границы Российской Федерации с Китайской Народной Республикой. http://government.ru/docs/38879/ (дата обращения 21.10.2020).

[15] UNWTO 2020. International tourism down 70% as travel restrictions impact all regions. https://www.unwto.org/news/international-tourism-down-70-as-travel-restrictions-impact-all-regions (дата обращения 28.10.2020).

[16] Интерфакс 2020. Российская туротрасль потеряет 600 млрд руб. без иностранных туристов. https://www.interfax.ru/russia/732199 (дата обращения 30.09.2020).

[17] Правительство Амурской области 2020. Правительство региона совместно с бизнесом подготовило предложения по дополнительному пакету мер поддержки туристской отрасли. https://www.amurobl.ru/posts/news/pravitelstvo-regiona-sovmestno-s-biznesom-podgotovilo-predlozheniya-po-dopolnitelnomu-paketu-mer-pod/ (дата обращения 20.09.2020).

стов из России. На примере Благовещенска и Хабаровска показано, что: 1) число предприятий, ориентированных на обслуживание клиентов из КНР, увеличилось, расширился перечень используемых ими маркетинговых приемов; 2) с увеличением числа вывесок на китайском языке произошли изменения в облике городов; 3) с расширением "китайского" сегмента в общем объеме туристского рынка Благовещенска и Хабаровска сформировался новый запрос на рынке труда этих городов.

В теоретических работах, посвященных адаптации сферы услуг к валютным колебаниям, обычно выделяют две параллельные модели адаптации туристской отрасли и связанных с нею видов экономической деятельности: переориентацию страны, чья валюта девальвировала, на внешних туристов и переориентацию страны, чья валюта окрепла, на новые рынки и/или на внутренних туристов. Новая целевая аудитория учреждений сферы услуг в приграничных российских и китайских городах совпала – и те и другие переориентировались на китайских потребителей из других регионов.

Принимая во внимание рост покупательной способности населения КНР и объем этого рынка, можно констатировать, что продажа туристских услуг китайским гражданам становится одной из наиболее востребованных стратегий туроператоров во всем мире. Происходящая в приграничных городах России и КНР переориентация на китайских туристов – новая реальность, в которую необходимо встраиваться жителям российско-китайского трансграничного региона.

Ввиду увеличения потока китайских туристов в российско-китайском приграничье и их нарастающей социально-экономической дифференциации, перспективным направлением исследований представляется изучение вариаций досуговой мотивации китайских туристов, посещающих российские приграничные города.

Проведенное исследование апробировало методику оценки открытости предприятий сферы услуг приграничных городов по отношению к клиентам из страны-соседа, предложенную в работах С. Долзблаш, А. Рачик и Ф. Лара-Валенсия (Dołzbłasz, Raczyk, 2012; Lara-Valencia, Dołzbłasz, 2019), на материалах российско-китайского приграничья. Другой культурный контекст затруднил картографирование учреждений сферы услуг китайских приграничных городов на уровне организаций, поскольку бизнес, ориентированный на россиян, образует кластеры – крупные торговые центры и длинные торговые улицы, на которых расположены сотни небольших торговых точек и гостиниц. С российской стороны границы методика не нуждалась в адаптации.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает благодарность к.г.н., ст.н.с. Института Дальнего Востока РАН И.Г. Чубарову и н.с. кафедры географии мирового хозяйства географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова К.В. Мироненко за помощь в работе с китайскоязычными материалами.

ACKNOWLEDGMENTS

The author is grateful to Dr. I.G. Chubarov, Senior Research Fellow at the Institute of Far Eastern Studies of the Russian Academy of Sciences, and to K.V. Mironenko, Research Fellow at the Department of Geography of World Economy, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, for their help with the Chinese-language materials.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Александрова А.Ю. География туристских потоков в Российской Федерации: статистика, тренды, проблемы // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 1. С. 95–108.

Александрова А.Ю., Майкова В.В. Китайский потребитель на российском туристском рынке // Историко-культурное наследие Великого Шелкового пути и продвижение туристских дестинаций на Северном Кавказе: Материалы III международ. научно-практич. конференции (Ставрополь, 05–07.10.2017 г.) / под ред. В.С. Белозерова, И.В. Крючкова. Изд-во СКФУ Ставрополь, 2017. С. 103–107.

Бийе Ф. Современность в пространственном измерении: открытые рынки, герметичность и вертикальность в двух приграничных городах России и Китая // Экономическая социология. 2014. Т. 15. № 2. С. 76–98.

Гельбрас В.Г. Сколько китайцев в России? // Вестн. Евразии. 2001. № 1. С. 71–87.

Глазырина И.П., Пешков А.Е. Парадоксы приграничного туризма на востоке России. // Изв. Уральского гос. горного ун-та. 2018. № 4 (52). С. 127–134.

Журавская Т.Н. "Серый" импорт на российско-китайской границе: что нового? // Экономическая социология. 2011. 12 (5). С. 54–71.

Зайончковская Ж.А. Перед лицом иммиграции // Pro et Contra. 2005. № 9 (3). С. 72–87.

Заклязьминская Е.О. Экономика туризма Китайской Народной Республики: Дис. ... канд. экон. наук. М.: Институт Дальнего Востока, 2018. http://www.ifes-ras.ru/images/stories/phd/zak/dissertation.pdf (дата обращения 10.04.2020).

Зуенко И. Круговорот юаня в России. Почему доходы от китайских туристов проходят мимо бюджета // Московский центр Карнеги. 2018. http://carnegie.ru/commentary/75598 (дата обращения 21.07.2018).

Ильина И.Н., Михайлова Е.В. Движущие факторы формирования трансграничного сообщества на российско-китайской и российско-финляндской гра-

ницах // Вестн. Тихоокеанского гос. ун-та. 2015. № 1 (36). С. 151–160.

Ларин А.Г. Китайская диаспора в России // Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право. 2017. № 10 (5). С. 65–82.

Ларин В.Л. Российско-китайские отношения в региональных измерениях (80-е годы XX – начало XXI в.). М.: Восток-Запад, 2005. 390 с.

Пиковер А.В. Российско-китайская трансграничная электронная торговля: состояние и перспективы // 40 лет экономических реформ в КНР / сост. П.Б. Каменнов; отв. ред. А.В. Островский. М.: ИДВ РАН, 2020. С. 268–286.

Рыжова Н.П. Роль приграничного сотрудничества в развитии окраинных городов Китая и России // Проблемы Дальнего Востока. 2009. № 4. С. 59–74.

Рыжова Н.П. Феномен городов-близнецов в контексте трансграничных миграционных процессов (на примере Благовещенска и Хэйхэ) // Региональное измерение трансграничной миграции в Россию / науч. ред. С.В. Голунов. М.: Аспект Пресс, 2008. С. 184–203.

Рыжова Н.П., Журавская Т.Н. Трансграничный шопинг на российско-китайской границе: кризис, перформативность и восприятие “себя” // Этнические рынки в России: пространство торга и место встречи / науч. ред. В.И. Дятлов, К.В. Григоричев. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. С. 202–213.

Рыжова Н.П., Симутина Н.Л. Российско-китайская граница: отчужденная – сосуществующая – взаимозависимая? // Полития. Анализ. Хроника. Прогноз. 2007. № 3. С. 100–114.

Сютин Ц. Российско-китайские зоны приграничного сотрудничества: перспективы взаимодействия РФ и КНР // Россия и АТР. 2020. № 3 (109). С. 134–150.

Arreola D.D., Curtis J.R. The Mexican border cities: Landscape anatomy and place personality. Tucson: Univ. of Arizona Press, 1993. 258 p.

Cheng K.M. Tourism demand in Hong Kong: Income, prices, and visa restrictions // Current Issues in Tourism. 2012. № 15 (3). P. 167–181.

Dołzbłasz S., Raczyk A. Tranborder opennes of companies in a divided city: Zgorzelec / Görlitz case study // Tijdschrift voor economische en sociale geografie. 2012. № 103 (3). P. 347–361.

Higham J. Thailand: prospects for a tourism-led economic recovery / C.M. Hall, S. Page (Eds.). Tourism in South and Southeast Asia: issues and cases, 2000. P. 129–143.

Lara-Valencia F., Dołzbłasz S. Border-city Pairs in Europe and North America: Spatial dimensions of integration and separation // Twin Cities: Urban Communities, Borders and Relationships over Time / J. Garrard, E. Mikhailova (Eds.). World Urban Stud. Ser. Abingdon: Routledge, 2019. P. 176–190.

Mikhailova E. Border Tourism on the Russian-Chinese Border // Журн. Сиб. фед. ун-та. Гуманитарные науки. 2015. V. 3 (8). P. 437–451.

Mikhailova E., Wu C.T. Ersatz Twin City Formation? The Case of Blagoveshchensk and Heihe // J. of Borderlands Stud. 2017. V. 32 (4). P. 513–533. https://doi.org/10.1080/08865655.2016.1222878

Repnikova M., Balzer H.D. Chinese migration to Russia: Missed opportunities. Washington DC: Woodrow Wilson Center, 2009.

Ryzhova N. The Emergence of Cross-Border Electronic Commerce // C. Humphrey (Ed.). Trust and Mistrust in the Economies of the China-Russia Borderlands. Amsterdam: Amsterdam Univ. Press, 2018. P. 229–249.

Cross-Border Tourism on the Russian-Chinese Border in 2014–2019

E. V. Mikhailova*

University of Geneva, Geneva, Switzerland

**e-mail: mikhaylovaev@yandex.ru*

The article examines the dynamics of cross-border tourism and developments in the tourism industry in the Russian-Chinese borderland after 2014. Using Blagoveshchensk and Heihe and Khabarovsk and Fuyuan as case studies, the article shows that due to the change in tourist flow structure after the 2014-ruble depreciation, Russian and Chinese border cities have customized their service industry to accommodate Chinese tourists. Mapping of the service sector openness of border cities conducted based on fieldwork data and media materials demonstrates that central districts of border towns concentrate the majority of businesses catering to clients from the neighboring state. This conclusion confirms the role of central districts of border towns as thermometers of cross-border dynamics as they react first to fluctuations in exchange rates and tourist flows. The article provides an overview of the impact of the COVID-19 pandemic on cross-border flows and the tourism industry in the Russian-Chinese borderland and concludes that the earlier reorientation towards domestic tourists allowed Heihe and Fuyuan to be better prepared for a new external shock. The tourism industry in Blagoveshchensk and Khabarovsk, on the contrary, suffered significant losses and found itself in a situation of high uncertainty, where it is hardly possible to predict when Chinese tourists will return.

Keywords: cross-border tourism, Russian-Chinese border, Russian Far East, North-Eastern China, service sector customization, border towns, currency fluctuations, ruble depreciation, Chinese tourists

REFERENCES

Aleksandrova A.Yu. Geography of tourist flows in the Russian Federation: statistics, trends, challenges. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*, 2017, no. 1, pp. 95–108. (In Russ.).

Aleksandrova A.Yu., Maikova V.V. Chinese consumer in the Russian tourist market. In *Istoriko-kul'turnoe nasledie Velikogo Shelkovogo puti i prodvizhenie turistskikh destinatsii na Severnom Kavkaze* [Historical and Cultural Heritage of the Great Silk Road and the Promotion of Tourist Destinations in the North Caucasus]. Belozerov V.S., Kryuchkov I.V., Eds. Stavropol: SKFU, 2017, pp. 103–107. (In Russ.).

Arreola D.D., Curtis J.R. *The Mexican Border Cities: Landscape Anatomy and Place Personality*. Tucson: Univ. of Arizona Press, 1993. 258 p.

Billé F. Surface modernities: Open-air markets, containment and verticality in two border towns of Russia and China. *J. Econ. Sociol.,* 2014, vol. 15, no. 2, pp. 76–98.

Cheng K.M. Tourism demand in Hong Kong: Income, prices, and visa restrictions. *Curr. Issues Tour.*, 2012, vol. 15, no. 3, pp. 167–181.

Dołzbłasz S., Raczyk A. Tranborder opennes of companies in a divided city: Zgorzelec/Görlitz case study. *Tijdschr. Econ. Soc. Geogr.*, 2012, vol. 103, no. 3, pp. 347–361.

Gel'bras V.G. How many Chinese are there in Russia? *Vestn. Evrazii*, 2001, no. 1, pp. 71–87. (In Russ.).

Glazyrina I.P., Peshkov A.E. Discrepancies of border tourism in the east of Russia. *Izv. Ural. Gos. Gorn. Univ.*, 2018, no. 4, pp. 128–134. (In Russ.).

Higham J. Thailand: prospects for a tourism-led economic recovery. In *Tourism in South and Southeast Asia: Issues and Cases*. Hall C.M., Page S., Eds. Butterworth-Heinemann, 2000, pp. 129–143.

Ilyina I.N., Mikhailova E.V. Driving factors of the formation of a cross-border community on the Russian-Chinese and Russian-Finnish borders. *Vestn. Tikhookeanskogo Gos. Univ.,* 2015, vol. 36, no. 1, pp. 151–160. (In Russ.).

Lara-Valencia F., Dołzbłasz S. Border-city pairs in Europe and North America: Spatial dimensions of integration and separation. In *Twin Cities: Urban Communities, Borders and Relationships over Time*. Garrard J., Mikhailova E., Eds. Abingdon: Routledge, 2019, pp. 176–190.

Larin A.G. Chinese diaspora in Russia. *Kontury global'nykh transformatsii: politika, ekonomika, pravo*, 2017, vol. 10, no. 5, pp. 65–82. (In Russ.).

Larin V.L. *Rossiisko-kitaiskie otnosheniya v regional'nykh izmereniyakh (80-e gody XX – nachalo XXI veka)* [Russian-Chinese Relations in Regional Dimensions (1980s–early 21st Century)]. Moscow: Vostok-Zapad Publ., 2005. 390 p.

Mikhailova E. Border tourism on the Russian-Chinese border. *Zh. Sibir. Fed. Univ. Ser.: Gumanitarnye Nauki*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 437–451.

Mikhailova E., Wu C.T. Ersatz twin city formation? The case of Blagoveshchensk and Heihe. *J. Borderl. Stud.*, 2017, vol. 32, no. 4, pp. 513–533. doi 10.1080/08865655.2016.1222878

Pikover A.V. Russian-Chinese cross-border electronic commerce: State and prospects. In *40 let ekonomicheskikh reform v KNR* [40 Years of Economic Reforms in the China]. Ostrovskii A.V., Ed. Moscow: IDV RAN, 2020, pp. 268–286. (In Russ.).

Repnikova M., Balzer H.D. *Chinese Migration to Russia: Missed Opportunities*. Washington: Woodrow Wilson Center, 2009. 56 p.

Ryzhova N. The emergence of cross-border electronic commerce. In *Trust and Mistrust in the Economies of the China-Russia Borderlands*. Humphrey C., Ed. Amsterdam: Amsterdam Univ. Press, 2018, pp. 229–249.

Ryzhova N.P. The phenomenon of twin cities in the context of cross-border migration processes (example of Blagoveshhenska and Heihe). In *Regional'noe izmerenie transgranichnoi migratsii v Rossiyu* [Regional Dimension of Cross-Border Migration to Russia]. Golunov S., Ed. Moscow: Aspekt Publ., 2008, pp. 184–203. (In Russ.).

Ryzhova N.P. The role of border cooperation in the development of peripheral cities of China and Russia. *Probl. Dal'nego Vostoka*, 2009, no. 4, pp. 59–74. (In Russ.).

Ryzhova N.P., Simutina N.L. Russian-Chinese border: alienated – coexisting – interdependent? *Politiya. Analiz. Khronika. Prognoz*, 2007, no. 3, pp. 100–114. (In Russ.).

Ryzhova N.P., Zhuravskaya T.N. Cross-border shopping on the Russian-Chinese border: Crisis, performativity and perception the "Self". In *Etnicheskie rynki v Rossii: prostranstvo torga i mesto vstrechi* [Ethnic Markets in Russia: Space of Bargaining and Place of Meeting]. Dyatlov V., Grigorichev K., Eds. Irkutsk: Irkutsk Gos. Univ., 2015, pp. 202–213. (In Russ.).

Xiuting Z. Russian-Chinese cross-border economic cooperation zones: Prospects for cooperation between Russia and China. *Rossiya i ATR*, 2020, vol. 109, no. 3, pp. 134–150. (In Russ.).

Zaklyazminskaya E.O. Tourism economics of the People's Republic of China. *Cand. Sci. (Econ.) Dissertation*. Moscow: Institute of Far Eastern Studies RAS, 2018. 310 p.

Zayonchkovskaya Zh.A. In the face of immigration. *Pro et Contra*, 2005, vol. 9, no. 3, pp. 72–87. (In Russ.).

Zhuravskaya T.N. "Gray" imports on the Russian-Chinese border: What's new? *Ekonomicheskaya Sotsiologiya*, 2011, vol. 12, no. 5, pp. 54–71. (In Russ.).

Zuenko I. The circulation of the yuan in Russia. Why the income from Chinese tourists passes the budget. Carnegie Moscow Center, 2018. Available at: http://carnegie.ru/commentary/75598 (accessed: 21.07.2018). (In Russ.).

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 355–367

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 556.532;556.512

ЗАКОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ БАЛАНСА АЗОТА И ФОСФОРА НА РЕЧНЫХ ВОДОСБОРАХ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЛЕСОСТЕПИ РУССКОЙ РАВНИНЫ В 1990–2020 гг.

© 2021 г. С. В. Долгов[a], *, В. О. Швыдкий[b], Е. В. Штамм[c]

[a]Институт географии РАН, Москва, Россия

[b]Институт биохимической физики РАН, Москва, Россия

[c]ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, Москва, Россия

**e-mail: svdolgov1978@yandex.ru*

Поступила в редакцию 12.10.2020 г.
После доработки 21.02.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

На основе географо-гидрологического метода и представления о гидрологической ярусности равнинных речных бассейнов выявлены современные особенности формирования водно-биогенного баланса в лесостепной зоне Русской равнины. Определено влияние основных элементов ландшафтно-гидрологической структуры речных бассейнов на содержание биогенов в поверхностном склоновом стоке. Показано, что увеличения поверхностного склонового стока не произошло, несмотря на рост площади урбанизированных территорий, а также площади выведенных из севооборотов сельскохозяйственных угодий с более высоким коэффициентом стока, чем на полях с зяблевой вспашкой. Климатические изменения привели к противоположной тенденции – сокращению стока, с начала 1980-х годов на 69% на уплотненной почве и на 77% на рыхлой пашне. Роль поверхностной составляющей стока в миграции биогенных веществ значительно снизилась, а подземной составляющей, напротив, выросла. С поверхностным стоком с речных водосборов выносится 41% азота и 48% фосфора от величины годового выноса с полным стоком, с подземным стоком – соответственно 59 и 52%. Приведены результаты расчета внутригодового распределения выноса минерального азота и фосфора с поверхностным и подземным стоком с речных водосборов. Выполнена ориентировочная оценка годового водно-биогенного баланса территории Курской области, сложившегося в последнее десятилетие. Показано, что доля природных факторов в приходной его части (по азоту 24%, по фосфору – 6%) значительно меньше доли антропогенных факторов.

Ключевые слова: речные бассейны, баланс азота и фосфора, антропогенные и природные факторы, поверхностная и подземная составляющие стока, Курская область

DOI: 10.31857/S2587556621030031

ВВЕДЕНИЕ

Отсутствие детальных знаний о генезисе негативной гидроэкологической ситуации, сложившейся в лесостепной зоне Русской равнины, в том числе вследствие неконтролируемого диффузного (рассредоточенного по территории) поступления в реки и водохранилища биогенных элементов – соединений азота и фосфора, существенно осложняет разработку эффективных водоохранных мер.

Оценке выноса биогенных элементов в водные объекты с их водосборов посвящено большое число исследований. Вместе с тем, в них не в полной мере учтены существенные современные изменения климата и хозяйственной деятельности. Кроме того, рассмотрена в основном лишь фаза весеннего половодья (Назаров, 1996; Хрисанов, Осипов, 1993; Чернышев и др., 1992; Шилькрот, Ясинский, 2002; Ясинский, Гуров, 2006 и др.), когда поступление в речную сеть биогенных элементов осуществляется преимущественно с поверхностным склоновым стоком. Другие пути их миграции с водосборов, в том числе с подземным стоком, обычно не анализируются, априори полагается, что их вклад незначительный. Однако неучитываемая часть выноса с подземной составляющей стока в остальные сезоны может составлять значительную величину, особенно в связи с изменением климата (Долгов, Коронкевич, 2019).

В настоящее время остаются недостаточно изученными не только пути миграции биогенных элементов в водные объекты, но и вклад различных природных и антропогенных факторов в их поступление на водосборную площадь и вынос в гидрографическую сеть, а также происходящие за

последние годы (начиная с 1990-х годов) изменения. Кроме того, состояние экосистем водных объектов недостаточно детально увязывается с изменениями ландшафтной структуры их водосборов. Более полные знания о закономерностях вещественного обмена вод в системах “бассейн–река” могут быть получены исходя из представления о гидрологической ярусности речных бассейнов (Долгов, Коронкевич, 2010).

Цель исследования заключается в оценке роли современных изменений климатических и антропогенных факторов в формировании водно-биогенного баланса речных водосборов лесостепной зоны, в том числе в оценке весьма важной в экологическом отношении его составляющей – стока азота и фосфора.

Особенно актуальна такая задача для регионов, испытывающих интенсивную антропогенную нагрузку на водные объекты, в том числе со стороны сельского и водного хозяйства. К их числу относится Курская область, обладающая небольшими ресурсами местного стока, на ее примере выполнен основной объем данного исследования.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Методологической основой исследования служит географо-гидрологический метод, дополненный представлением о гидрологической ярусности речного бассейна, элементы которой (атмосферный приземный слой, растительность, поверхностный слой почвы, зоны аэрации и насыщения) по-разному трансформируют осадки в сток и по-разному изменяют их химический состав. Инструментом изучения вертикального гидрологического устройства территории служит элементная структура водного баланса (Коронкевич, 1990) и тесно связанного с ним водно-биогенного баланса (Долгов, Коронкевич, 2010, 2019).

Непосредственные наблюдения за элементами водно-биогенного баланса речных водосборов до настоящего времени не проводятся. Поэтому использовались опубликованные данные об отдельных источниках поступления биогенных элементов (Закруткин и др., 2004; Обзор..., 2016; Родин, Базилевич, 1965; Родин и др., 1968; Семыкин и др., 2019; Хрисанов, Осипов, 1993), анализировались результаты экспедиционных работ ИГ РАН.

В качестве исходной информации также использовались многолетние ряды наблюдений Росгидромета за водным стоком в 11 створах на реках Курской области. Анализировались как полный речной сток, так и поверхностная и подземная его составляющие. Подземный сток рассчитан путем расчленения гидрографов речного стока по видам питания. Поверхностная составляющая стока (включающая сток верховодки) определена по разности полного речного стока и подземного стока. В расчетах биогенного стока роль этих составляющих оценивалась как в отношении величины их водного стока, так и относительно содержания в них минерального азота и фосфора.

Поскольку наблюдения за содержанием биогенных веществ непосредственно в поверхностной составляющей стока не проводятся, оно определялось по уравнению:

$$C_{\text{поверх.ст.}} = \\ = (C_{\text{реч.ст.}}H_{\text{реч.ст.}} - C_{\text{подз.ст.}}H_{\text{подз.ст.}})/H_{\text{поверх.ст.}}, \quad (1)$$

в котором $C_{\text{поверх.ст.}}$ – концентрация азота (фосфора) в поверхностной составляющей стока $H_{\text{поверх.ст.}}$, $C_{\text{подз.ст.}}$ – концентрация азота (фосфора) в подземной составляющей $H_{\text{подз.ст.}}$, рассчитанная по их содержанию в реках в межень холодного периода, $C_{\text{реч.ст.}}$ – концентрация азота (фосфора) в полном речном стоке $H_{\text{реч.ст.}}$.

Для оценки выноса азота и фосфора с водным стоком обобщены гидрохимические данные Росгидромета за годы разной водности (1991, 1995, 1996 гг.) и результаты экспедиционного обследования рек (без учета р. Сейм). Средняя концентрация общего минерального азота и фосфора в речных водах Курской области в период половодья наибольшая – 1.81 и 0.16 мг/л соответственно. В маловодный сезон теплого периода она значительно снижается – до 0.91 и 0.13 мг/л соответственно, концентрация возрастает затем в маловодный сезон холодного периода до 1.66 и 0.12 мг/л.

Недостающая информация восполнена результатами химического анализа проб атмосферных осадков, речных и грунтовых вод, отобранных в ходе экспедиционных работ ИГ РАН в 1997, 1998, 2017, 2018, 2020 гг. в половодье, летне-осеннюю и зимнюю межень. В связи с недостаточностью режимных наблюдений Росгидромета при экспедиционном обследовании особое внимание уделено малым рекам, находящимся в условиях интенсивного, преимущественно сельскохозяйственного воздействия.

Возможность обогащения биогенными элементами атмосферных осадков в различных ландшафтах оценивалась по водным вытяжкам из образцов растений, почв и грунтов зоны аэрации (при фиксированных параметрах: соотношении их твердой фазы с дистиллированной водой 1 : 100, 30-минутном контакте и температуре 25°С). Полученные в лабораторных условиях данные характеризуют возможную (потенциальную) активность поверхности почвы насыщать биогенными элементами атмосферные осадки. В реальных условиях содержание биогенов в образующихся по-

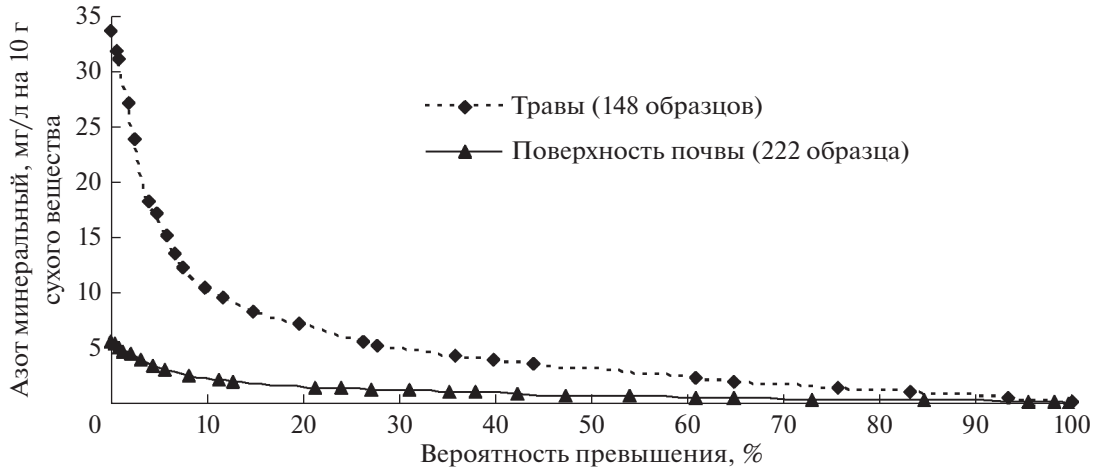

Рис. 1. Содержание минерального азота в водных вытяжках из трав и поверхности почв в бассейне Дона.

верхностно-почвенных водах в значительной мере зависит от сочетания этих параметров.

Химический анализ водных вытяжек, проб поверхностных и подземных вод выполнен с помощью портативного спектрофотометра DR/2010 фирмы "HACH" во время экспедиционных работ и в Институте биохимической физики РАН (ИБХФ РАН).

Содержание биогенных элементов определялось фотометрическим методом в соответствии с ГОСТ 33045–2014: ионов аммония с использованием реактива Несслера, нитритных ионов с использованием реактива Грисса. Концентрация нитратных ионов определялась с предварительным восстановлением кадмием до нитритов по методике, аттестованной ВНИИМС (свидетельство об аттестации № 16-09 от 4 мая 2009 г.). Содержание минерального фосфора оценивалось по методу определения ортофосфатов и полифосфатов с использованием аскорбиновой кислоты (ГОСТ 18309-2014).

Значительный объем исходной информации представлен результатами многолетних наблюдений Росгидромета за температурой воздуха и атмосферными осадками (данные ВНИИГМИ – МЦД), а также материалами наблюдений за поверхностным склоновым стоком на Новосильском стационаре ВНИАЛМИ (Барабанов, 2017; Барабанов и др., 2018). Кроме того, анализировалась данные Росреестра и Росстата об использовании земельного фонда Курской области.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Формирование водно-биогенного баланса речных водосборов тесным образом связано с их ландшафтной неоднородностью не только в плане, но и в вертикальном направлении, не менее важном для изучения источников поступления и путей миграции биогенных элементов в речную сеть.

Особенности гидрохимического функционирования элементов гидрологической ярусности речных бассейнов. Расчеты показали, что уже с *атмосферными осадками* на речные водосборы привносится весьма существенное количество биогенов. Если судить по репрезентативным наблюдениям метеостанции им. Небольсина (31 км к юго-западу от центра Москвы) за 1958–1966 гг., то величина среднегодовой концентрации минерального азота в осадках составляет 1.05 мг/л (Ресурсы..., 1973). Тогда величина поступления биогенов с годовыми осадками оказывается достаточно высокой (азота минерального – 641 кг/км^2).

Ежегодно возобновляемым источником поступления биогенов на речные водосборы является также *растительность*, в водных вытяжках из которой минерального азота и фосфора содержится значительно больше, чем из поверхностного слоя почв (рис. 1). Существенное влияние на миграцию биогенных элементов растительность оказывает даже в вегетационный период, в который осадки насыщаются минеральным азотом и фосфором при вымывании их не только из мертвых тканей растений (опада, подстилки), но и живых. В дождевом смыве из крон деревьев биогенов содержится нередко в разы больше, чем в самих осадках (табл. 1).

Важную роль в миграции биогенных веществ в реки с их водосборов играет *поверхностный слой почв*. В нем формируются поверхностный склоновый сток и инфильтрация атмосферных осадков, аккумулируются биогенные элементы, поступающие в результате их вымывания осадками из растений и минерализации остатков надземной и подземной частей растительности, почвенных водорослей, а также за счет фиксации азота из атмосферы почвенными микроорганизмами.

Таблица 1. Минерализация и содержание биогенных веществ в элементах водного баланса в бассейне р. Бузулук (г. Новоаннинский, Волгоградская область, 01.09.2017 г.), мг/л

Элемент водного баланса	Минерализация	Аммонийный азот ($N\text{-}NH_4^+$)	Нитраты ($N\text{-}NO_3^-$)	Нитриты ($N\text{-}NO_2^-$)	Азот минеральный	Фосфаты ($P\text{-}PO_4^{3-}$)
Дождевой сток с шиферной кровли	27	1.28	0.1	0.04	1.42	0.02
Дождевой смыв с кроны яблони	57	1.19	2.0	0.03	3.22	0.14
Поверхностный сток по грунтовой дороге	74	1.29	7.2	0.36	8.85	1.20
Сток грунтовых вод (колодец, глубина 12 м)	1363	0.13	15.5	0.77	16.4	0.22
Речной сток (р. Бузулук – г. Новоаннинский)	1720	0.28	1.4	0.01	1.69	0.43

Кроме того, в этом слое накапливаются биогены антропогенного происхождения, поступающие из производственных и бытовых отходов, мусорных свалок, минеральных удобрений и т.д.

Часть биогенных элементов вымывается из поверхностного слоя почвы с поверхностным склоновым стоком, другая часть мигрирует с фильтрующейся влагой в почвогрунты *зоны аэрации*. Достигая водоносных горизонтов в *зоне насыщения*, биогены могут накапливаться вследствие низкой скорости водообмена. По этой причине в грунтовых водах нередко обнаруживается более высокое содержание биогенных веществ, чем в речных водах – в среднем на 35–40% (рис. 2). В летне-осеннюю межень такой ситуации также способствует активное потребление биогенных элементов прибрежной водной растительностью и речным фитопланктоном.

Миграция биогенных элементов, особенно нитратов, в грунтовые воды возможна даже при большой мощности зоны аэрации (более 3–5 м). Это связано с тем, что, просачиваясь ниже 3–5 м от поверхности земли, осадки уже практически не испаряются и могут достигать грунтовых вод (Долгов, Коронкевич, 1999). О возможности миграции нитратов на значительную глубину свидетельствуют результаты полевых исследований в степной зоне (Агроценозы..., 1984; Закруткин и др., 2004). Вероятна также миграция фосфора минерального, на это указывает, например, его наличие в водных вытяжках из суглинистых почво-

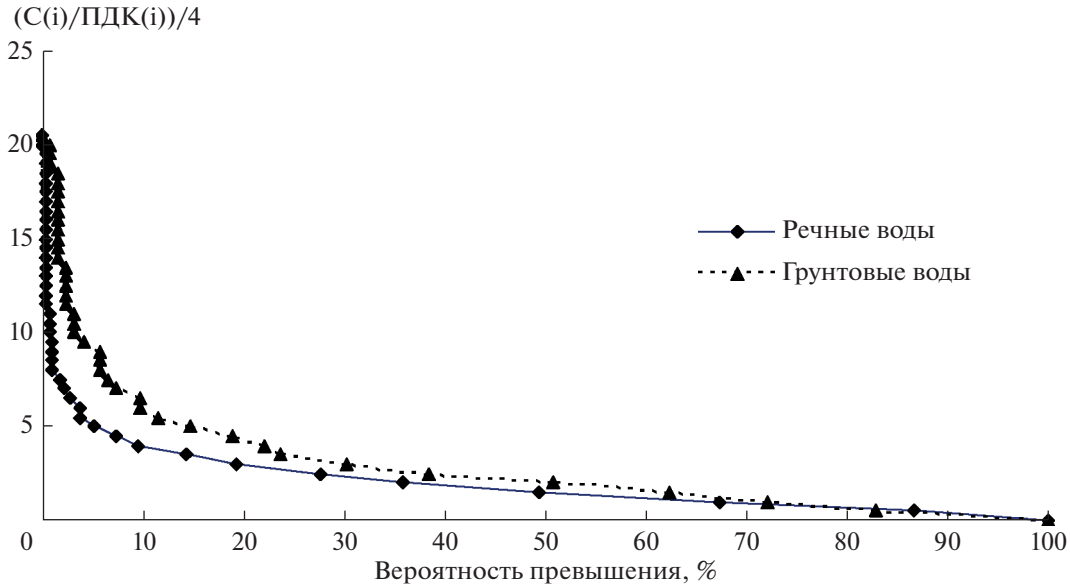

Рис. 2. Содержание биогенов в речных и грунтовых водах Донского бассейна в летнюю межень 1993–2004 гг.
Примечание: (C(i)/ПДК(i))/4 – среднее отношение концентрации нитратов, нитритов, аммония и фосфатов к их предельно допустимой концентрации.

грунтов зоны аэрации на водосборе р. Бузулук в слое от 0 до 5 м (рис. 3).

Таким образом, каждый из вышеперечисленных слоев вертикальной гидрологической структуры речного бассейна обладает специфическими особенностями гидрохимического функционирования. Кроме того, свои коррективы вносит ландшафтная структура речного водосбора, обуславливающая пространственную неоднородность миграции биогенов с водным стоком, прежде всего, с поверхностной его составляющей.

Роль ландшафтной структуры территории в миграции биогенов с поверхностным склоновым стоком. На рассматриваемой территории преобладают сельскохозяйственные угодья. Полями с рыхлой к началу половодья почвой (зябью и черным паром) занято 45% площади Курской области. Доля угодий с уплотненной почвой (озимые, многолетние травы, пастбища, залежи) – 26.7%. На земли лесного фонда и лесные насаждения, не входящие в лесной фонд, приходится 9.6%, на урбанизированные территории с высоким коэффициентом стока (земли застройки, промышленности, под дорогами) – 5.9%, на гидрографическую сеть – 12.8% территории.

Ландшафтная неоднородность территории начинает сказываться на содержании биогенных элементов в поверхностном склоновом стоке и инфильтрации уже в начальной стадии их формирования. Существенное влияние оказывает территориальная дифференциация растительности. В лесных массивах поверхностный склоновый сток небольшой, нередко даже отсутствует, вынос биогенов осуществляется главным образом в процессе инфильтрации и далее со стоком верховодки и с подземным стоком (Долгов, Коронкевич, 2019).

В лесу снег к началу весеннего половодья обогащен биогенами нередко больше, чем на открытых полевых участках. Так, результаты химического анализа 19 образцов снега, отобранных в Курской области 26–29 января 2018 г., показали, что более высокое содержание минерального азота и фосфора наблюдается в снежном покрове на участках с лесной растительностью (соответственно 1.47 и 0.021 мг/л), чем на открытых полевых и луговых участках (1.35 и 0.020 мг/л).

К наиболее важному региональному фактору антропогенного преобразования ландшафтов относится растениеводство. Площадь посевов в Курской области к 1980 г. достигла 1957 тыс. га (пашня – 2044.7 тыс. га). Затем она уменьшилась в 1990 г. до 1855.4 тыс. га (пашня – 1970.8 тыс. га). В связи с экономическим спадом к 2010 г. посевная площадь значительно сократилась – на 31% по отношению к уровню 1980 г. (пашня – на 23%). Впоследствии она постепенно восстанавливалась и составила в 2018 г., как и пашня, 83% от уровня 1980 г. Структура посевной площади с 1980 г.

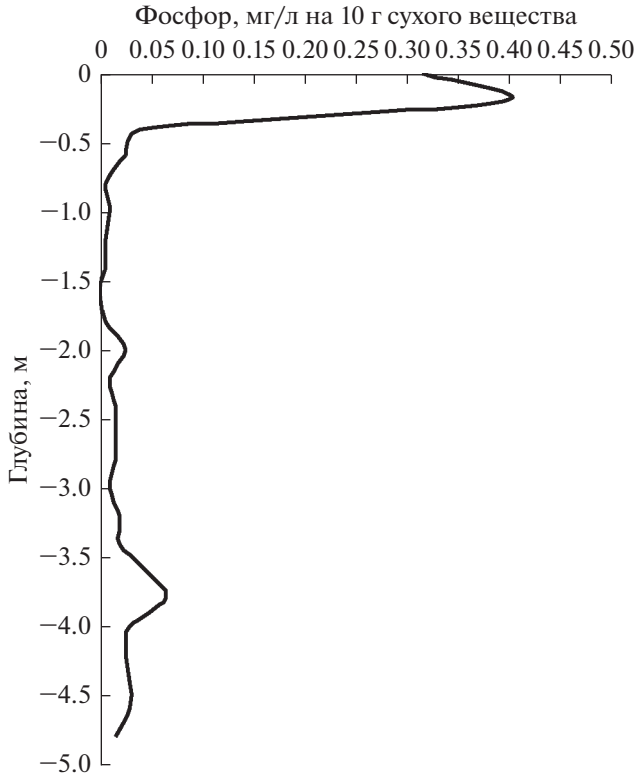

Рис. 3. Содержание фосфора фосфатов в водных вытяжках из почвогрунтов зоны аэрации (плакор, залежь, г. Новоаннинский, Волгоградская область, июнь 2017 г.).

практически не изменилась. Доля уплотненной пашни к началу весеннего половодья почвы попрежнему составляет 31–32%.

Сокращение площади пашни (при практически не изменившейся ее структуре) способствовало снижению формирующегося на ней объема поверхностного склонового стока – на 18–24% относительно уровня 1980 г. (рис. 4). Однако выводимые из севооборотов площади представляют собой уплотненную почву, с более высоким коэффициентом стока, чем поля с осенней вспашкой. Приняв посевную площадь 1980 г. за основу, можно для большей части территории Курской области (69%) оценить динамику совокупного влияния на объем поверхностного стока сохранившейся структуры посевов и выведенных из севооборота площадей.

Расчеты показали, что в результате уменьшения площади пашни объем весеннего поверхностного склонового стока (с ее площади 1980 г.) должен был увеличиться в последнее десятилетие на 9–12%. Однако изменения сельского хозяйства и климата на современном этапе действуют на весенний поверхностный склоновый сток разнонаправленно. Причем вклад климатической составляющей в изменения склонового стока

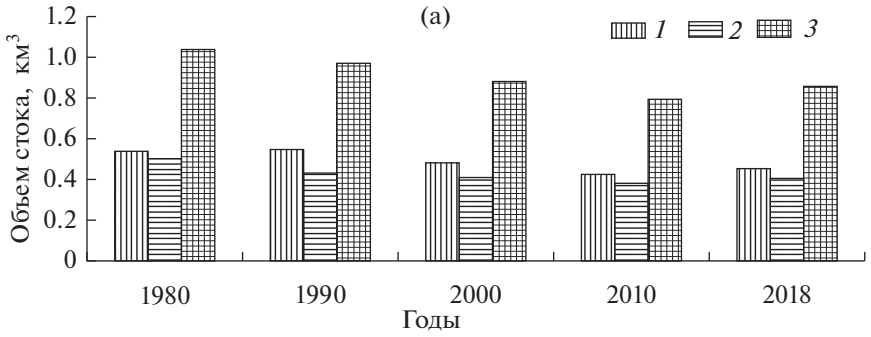

Рис. 4. Динамика весеннего поверхностного склонового стока в Курской области с фактической пашни (посевной площади и чистого пара) при климатических условиях и норме стока по состоянию на 1980 г. *1* – зябь, *2* – уплотненная пашня, *3* – вся площадь пашни.

преобладает и составляет около 85% (Барабанов и др., 2018). В результате климатические изменения привели к противоположной тенденции – значительному сокращению поверхностного склонового стока и выноса с ним биогенов.

На посевной площади такой тенденции способствовало также снижение уровня использования удобрений. Особенно значительно сократилось применение минеральных удобрений в конце 1990-х годов – до 10% от уровня 1990 г. Если судить по водным вытяжкам, то в эти годы минеральным азотом обогащались талые и дождевые воды, прежде всего, на залежах (в среднем на 20% больше, чем на пашне) (Закруткин и др., 2004). В самые последние годы использование удобрений существенно возросло (в Курской области достигло 84% от уровня 1990 г.), но по-прежнему с единицы площади залежей в поверхностно-почвенные воды биогенов поступает больше, чем с единицы площади пашни (на 8% по минеральному азоту и 33% по фосфору) (табл. 2).

Из результатов гидрохимического обследования почв, выполненного ИГ РАН и ИБХФ РАН 18–25 июля 2020 г., следует, что в наибольшей степени насыщаются атмосферные осадки в широколиственных лесах, а в наименьшей – в сосняках (см. табл. 2).

Вынос биогенов с поверхностным стоком обусловлен не только ландшафтной структурой речного водосбора, но и влиянием климатических факторов, роль которых в последние десятилетия значительно возросла.

Влияние климатических факторов на вынос биогенов с водным стоком двоякое. С одной стороны этими факторами обусловлена концентрация биогенных веществ в водном стоке, а с другой – его величина. Для изучения гидрохимической роли отдельных климатических факторов особый интерес представляют лабораторные экспериментальные исследования, позволяющие исключить влияние других факторов.

К числу основных климатических факторов относится температура воздуха и соответствующая ей температура образующихся поверхностно-почвенных вод. Из лабораторного эксперимента следует, что с ростом *температуры* от 1 до 35°С при одной и той же величине осадков минерализация (вероятно, и содержание нитратов) в

Таблица 2. Содержание биогенов в водных вытяжках из поверхностного слоя почв Курской, Воронежской и Волгоградской областей, мг/л на 10 г сухого вещества

Элемент ландшафтной структуры	Число почвенных образцов	Азот минеральный	Фосфор минеральный
Залежь	8	0.294	0.041
Широколиственный лес	6	0.402	0.044
Сосновый лес	3	0.196	0.026
Сельскохозяйственные угодья (пашня), в том числе поля:	19	0.269	0.027
занятые пшеницей	6	0.241	0.026
занятые подсолнечником	6	0.160	0.027
занятые кукурузой	3	0.242	0.032
под чистым паром	4	0.356	0.022

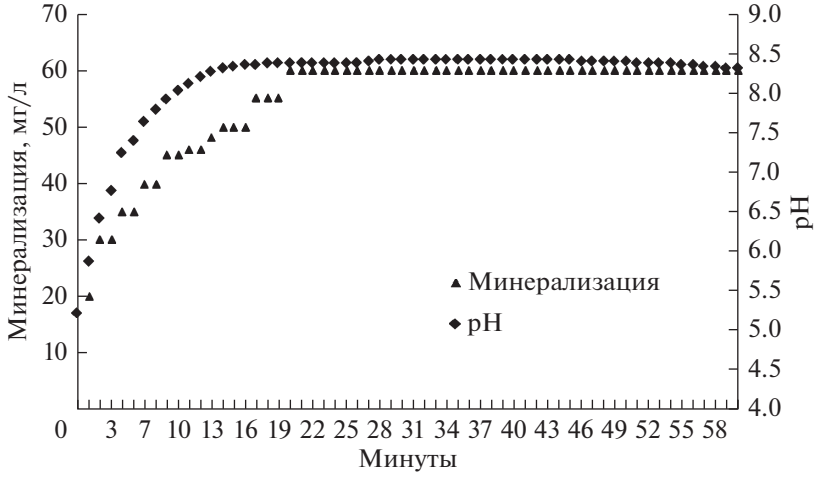

Рис. 5. Динамика минерализации и pH поверхностно-почвенных вод в течение часа от начала контакта почвы с атмосферными осадками (южный чернозем, типчаково-ковыльная степь, бассейн р. Бузулук).

поверхностном склоновом стоке и просачивающейся в зону аэрации влаги может увеличиваться почти в 2 раза.

Концентрация биогенных веществ в поверхностно-почвенных водах обусловлена и *продолжительностью контакта* осадков с почвой. Особенно быстрое насыщение осадков солями и биогенами наблюдается в течение 30 мин от начала контакта (рис. 5), а не столь резко выраженное может продолжаться до 3–4 сут. Затем наступает равновесное состояние между жидкой и твердой фазами, и концентрация стабилизируется. Такая же ситуация отмечается по отношению к показателю pH (отсюда следует, например, вывод, что черноземная почва может достаточно быстро нейтрализовать кислотные осадки).

Помимо этих параметров содержание биогенов в образующихся растворах поверхностно-почвенных вод существенно зависит от *величины осадков*. Из полученной в лабораторных условиях зависимости (рис. 6) следует, что в годы с низкой увлажненностью осадками концентрация биогенов в поверхностном стоке с водосборной площади может возрастать в разы по сравнению с многоводными годами и значительно изменяться внутри года, достигая максимальной величины при небольших осадках.

Оценка регионального эффекта *изменения климата* за 2008–2016 гг. показала, что в многолетней динамике годовых осадков, осадков за холодный (ноябрь–март) и теплый (апрель–октябрь) периоды отчетливо выраженные тренды отсутствуют. Отмечается небольшой рост осадков холодного периода (на 11% относительно нормы по состоянию на 1980 г.), а осадки теплого периода, напротив, уменьшились (на 4%).

Наиболее важным фактором стало увеличение температуры воздуха, изменение которой сказывается не только на содержании биогенов в образующихся поверхностно-почвенных водах, но и на степени участия поверхностной и подземной составляющих стока в миграции биогенов. С 1981 по 2017 г. рост температуры за холодный период составил 1.7°C, за теплый период – 1°C. Причем в ближайшей перспективе выявленные тенденции в многолетнем ходе температуры воздуха, скорее всего, сохранятся, поскольку в десятилетие 2008–2017 гг. рост температуры не только не замедлился, но даже ускорился. Относительно нормы по состоянию на 1980 г. температура возросла в холодный период на 2.5°C, в теплый период – на 1.9°C.

Увеличение температуры в холодный период привело к уменьшению глубины промерзания почвогрунтов и к участившимся оттепелям, во время которых значительная доля талых вод стала расходоваться не на образование поверхностного стока, а на инфильтрацию в зону аэрации. Характерной тенденцией с начала 1980-х годов стало увеличение величины инфильтрации (на 13–16% за весь холодный период года, включая половодье) и резкое снижение величины весеннего поверхностного склонового стока (69% на уплотненной почве и 77% на рыхлой пашне) (Барабанов и др., 2018а) и речного стока в период весеннего половодья.

По этой причине, а также вследствие увеличения испарения в теплый период, годовой речной сток в Курской области за 2008–2016 годы существенно сократился – на 30–40% (средневзвешенный по площадям водосбора 8 рек по отношению к норме, по К.П. Воскресенскому) (Воскресенский, 1962). При этом поверхностная составляющая значительно уменьшилась и составляет в среднем 29 мм (35% от величины годо-

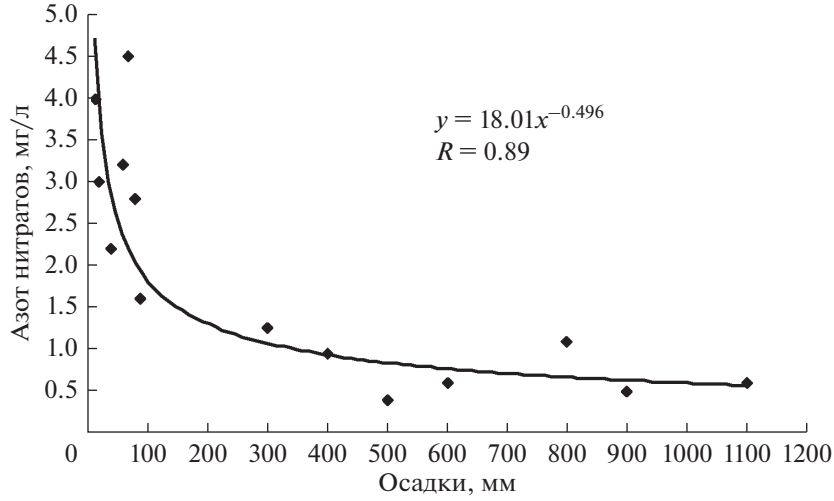

Рис. 6. Содержание нитратов в поверхностно-почвенных водах в зависимости от количества атмосферных осадков (чернозем, типчаково-ковыльная степь, залежь, водосбор р. Бузулук, лабораторный эксперимент, 14 образцов почвы).

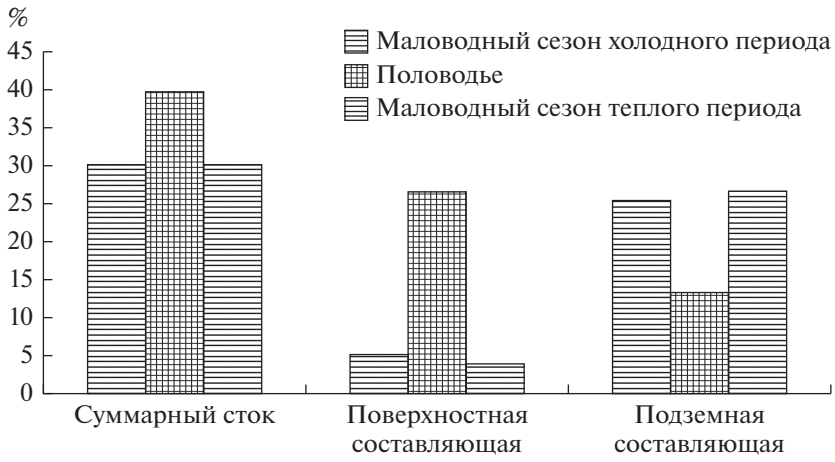

Рис. 7. Внутригодовое распределение речного стока Курской области и его составляющих в среднем за 2008–2016 гг. (в % от величины годового суммарного стока).

вого стока), а подземная, напротив, возросла до 54 мм (65%). Соответственно, снизилась роль поверхностной составляющей в миграции биогенных веществ, а подземной, напротив, выросла. Вклад в этот процесс поверхностного стока (в основном стока верховодки) с речных водосборов остается наибольшим в период весеннего половодья (27% от величины годового стока) (рис. 7). Миграция биогенов с подземным стоком происходит главным образом в межень теплого периода (27%) и холодного периода (25%).

Водно-биогенный баланс территории Курской области

Природные составляющие поступления биогенов. Результаты ориентировочной оценки годового водно-биогенного баланса территории Курской области, сложившегося в последнее десятилетие, показали, что доля природной составляющей (табл. 3) в суммарной его приходной части значительно меньше доли антропогенного поступления. Она составляет по азоту лишь 24%, еще меньше по фосфору – 6%. Однако по отношению к выносу с речным стоком природное поступление биогенов остается достаточно высоким и превышает их вынос со стоком в 16 раз по азоту и 4.5 раза по фосфору. В основном азот и фосфор поступают с опадом лесной растительности и травянистой на лугах, пастбищах, залежах. Существенным источником поступления биогенов являются атмосферные осадки. Поступление азота с осадками в 3 раза превышает вынос с водным

Таблица 3. Природные составляющие баланса биогенов

Биогенные вещества	Природное поступление							
	атмосферные осадки	вымывание из крон деревьев дождями в лесах*	лесной растительный опад**	биофиксация азота на сельскохозяйственных угодьях***	опад на заболоченных землях****	опад на лугах, пастбищах и заброшенных сельскохозяйственных полях****	с пылью из атмосферы***	в сумме от всех видов природного поступления
	кг/км^2 (относительно площади области)							
Азот общий	641	53	443	1788	27	243	40	3235
Фосфор общий	13	3.2	67	–	1.8	27	4.4[1)]	116

Примечание. * Родин, Базилевич, 1965; ** Хрисанов, Осипов, 1993; *** Агроценозы..., 1984; **** Родин и др., 1968; [1)] – рассчитано ориентировочно, исходя из соотношения между фосфором и азотом в водных вытяжках из почв, установленного по результатам полевых работ ИГ РАН в июле 2020 г.

стоком (без учета сточных вод), а поступление фосфора, напротив, в 2 раза меньше выноса.

Антропогенные составляющие. Современная суммарная антропогенная биогенная нагрузка значительно превышает поступление биогенов с осадками (климатический фон) – по азоту в 16 раз и особенно по фосфору – в 143 раза (табл. 4). Доля антропогенной составляющей в суммарной приходной части баланса составляет по азоту 76% и фосфору 94%. Наибольшая биогенная нагрузка обусловлена применением минеральных удобрений. Вместе с тем из приведенных в работе (Семыкин и др., 2019) данных следует, что наблюдаемое в последние годы увеличение количества вносимых минеральных удобрений не может рассматриваться в качестве основного негативного гидроэкологического фактора. Оно компенсировано еще большей величиной выноса биогенов с урожаем (азота в среднем на 16%, фосфора – на 8% за 2015–2017 гг.). Кроме того, весенний поверхностный склоновый сток значительно сократился, соответственно снизился вынос с пашни привнесенных с удобрениями биогенных элементов.

Существенную негативную роль, с тенденцией к усилению, играет дорожно-транспортная нагрузка, обеспечивая поступление биогенов даже больше, чем со сточными водами при водопотреблении. Плотность одних лишь автомобильных дорог с твердым покрытием (0.36 км/км^2) превысила густоту речной сети (0.25 км/км^2). В результате экспедиционных работ установлено, что в среднем по территории Курской области концентрация азота минерального в придорожном стоке выше его концентрации в речном стоке в 1.8 раза, а фосфора – в 4.4 раза.

Особенно высокая биогенная нагрузка на речные воды оказывается населенными пунктами (включая их дорожную сеть), особенно вследствие сброса сточных вод. По данным Росгидромета, для года с максимальной антропогенной нагрузкой (1991 г.) оценено влияние 8 крупных населенных пунктов (с численностью населения от 3500 до 450000 чел.) на содержание в реках минерального азота и фосфора. Наибольшее его увеличение (по отношению к верхнему створу) наблюдается на р. Сейм ниже г. Курска (на 85–90%) и ниже г. Курчатова (лишь по фосфору – более 100%), а также на р. Псел ниже г. Обоянь (55% по азоту и 30% по фосфору). Негативное влияние остальных 5 населенных пунктов меньше (6–7%).

Внутригодовое распределение стока биогенных веществ. Годовой вынос минерального азота с речным стоком в 2008–2016 гг. составляет в среднем для территории Курской области 124 кг/км^2, минерального фосфора – 13 кг/км^2. С поверхностным стоком с речных водосборов выносится 41% азота и 48% фосфора от величины годового выноса с полным стоком, с подземным стоком – больше, соответственно 59 и 52% (табл. 5).

Вынос биогенов с поверхностной составляющей стока максимален в период половодья и составляет 34% по минеральному азоту и 32% по минеральному фосфору (см. табл. 5). В маловодные сезоны холодного и теплого периодов года поверхностный вынос биогенных веществ снижается до 2–5%. Иная ситуация наблюдается в отношении выноса биогенов с дренируемым реками подземным стоком. Небольшая его величина (15% по азоту и 11% по фосфору) отмечается в половодье, а в маловодный сезон холодного периода она существенно возрастает (соответственно до 28 и 20%).

Как было отмечено выше, поверхностная составляющая речного стока в Курской области за 2008–2016 годы значительно сократилась (на 65% относительно нормы по К.П. Воскресенскому),

Таблица 4. Составляющие антропогенной приходной и расходной частей баланса азота и фосфора, относительно площади Курской области, кг/км^2

Составляющие баланса		Азот общий	Фосфор общий
Поступление (антропогенное)	Население без доступа к канализации*	38.4	7.8
	Животноводство*	1300	530
	Минеральные удобрения**	7261	1043
	Пожнивные остатки**	1383	249
	Семена***	221	29.5[1)]
	Сумма	10203	1859
Вынос	Урожай сельскохозяйственных культур**	8394	1125
	Газообразные потери из минеральных удобрений***	1089	–
	Эмиссия аммиака из навоза КРС и свиней до его использования****	339	–
	Денитрификация на пашне***	476	–
	Улетучивание и денитрификация на залежах и пастбищах*****	1232	–
	Газообразные потери из органических удобрений после внесения их в почву******	173	–
	Речной сток, в том числе	248	31.5
	сточные воды при водопотреблении	17	0.8
	Сумма	11951	1156

Примечание. * Ясинский и др., 2020; ** Семыкин и др., 2019; *** Агроценозы..., 1984; **** Гриднев, Гриднева, 2017; ***** принято, что на залежах и пастбищах потери азота от денитрификации и улетучивания уравновешиваются его поступлением в результате биологической фиксации и с выпадения атмосферных осадков; ****** величина потерь (18%) принята такой же, как и для эмиссии аммиака из навоза до его использования; [1)] – рассчитано по соотношению азота и фосфора в урожае.

Таблица 5. Внутригодовое распределение выноса минерального азота и фосфора с речных водосборов Курской области

Показатель водного стока	Год		Маловодный сезон холодного периода		Период половодья		Маловодный сезон теплого периода	
	кг/км^2	%	кг/км^2	%	кг/км^2	%	кг/км^2	%
Азот								
Речной сток, в том числе	124.0	100	41.5	33.4	59.9	48.3	22.7	18.3
подземный сток	73.0	58.9	34.8	28.1	18.2	14.7	20.0	16.1
поверхностный сток	51.0	41.1	6.6	5.3	41.6	33.6	2.7	2.2
Фосфор								
Речной сток, в том числе	12.6	100	4.0	32.0	5.3	42.2	3.3	25.8
подземный сток	6.6	52.3	2.6	20.4	1.3	10.7	2.7	21.3
поверхностный сток	6.0	47.7	1.4	11.1	4.0	31.5	0.6	4.5

что не компенсировано небольшим увеличением подземной составляющей стока (на 20%). В итоге сток биогенных элементов с суммарным стоком существенно снизился, но их концентрация в речных водах остается достаточно высокой и нередко превышает ПДК. Вероятно, это обусловлено увеличением в последние годы температуры речных вод, что требует специального рассмотрения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на благоприятное в гидроэкологическом отношении географическое положение Курской области и сокращение объема сточных вод, состояние водных ресурсов в последние годы остается далеким от экологического благополучия, в том числе в отношении содержания биогенов. Негативной гидроэкологической ситуации способствовало усиление с начала 2000-х годов антропогенной нагрузки – роста урбанизированных территорий, дорожно-транспортной сети и др.

Вместе с тем увеличение в последние годы количества вносимых минеральных удобрений не может рассматриваться в качестве основного негативного гидроэкологического фактора, поскольку оно компенсировано еще большей величиной выноса биогенов с урожаем. Кроме того, весенний поверхностный склоновый сток значительно сократился, соответственно снизился вынос с ним биогенных веществ.

В последние десятилетия вследствие потепления климата наблюдаются кардинальные изменения в формировании водного и водно-биогенного баланса в лесостепной зоне. Они не имеют аналогов за весь период инструментальных наблюдений. Особенно это касается значительно возросшей роли инфильтрации и подземного стока в миграции с водосборов биогенных и других химических элементов. Доля подземной составляющей стока в суммарном годовом выносе азота с речных водосборов стала преобладать над поверхностной составляющей. Однако такие климатические изменения в структуре диффузного стока биогенных элементов не привели к улучшению гидроэкологической ситуации, поскольку дренируемые реками подземные воды нередко содержат эти элементы в большей концентрации, чем поверхностные.

Существенное негативное влияние на состояние речных вод оказывает недостаточно эффективная работа природо- и водоохранных органов, особенно по предотвращению загрязнений прибрежных участков многих рек (в том числе в пределах водоохранных зон) производственными и бытовыми отходами, мусором и т.д. Практически отсутствует экологический контроль над сельскохозяйственной деятельностью в многочисленных личных подсобных хозяйствах, находящихся вблизи от рек. Остается неконтролируемым диффузное поступление загрязняющих веществ в реки с их водосборов, которое значительно преобладает над их поступлением со сточными водами.

Полученные результаты носят ориентировочный характер. Более детальный анализ элементов водно-биогенного баланса речных бассейнов, как расходной его части, так и приходной – предмет дальнейших исследований.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Статья подготовлена при финансовой поддержке проекта РНФ № 20-17-00209 (разработка методики, расчет водно-биогенного баланса). Анализ роли климатических и антропогенных факторов проведен в рамках темы Госзадания ИГ РАН № 0148-2019-0007.

FUNDING

The research was funded by the Russian Science Foundation according to the project no. 20-17-00209 (methodology development, the water-biogenic balance calculation). The role of climatic and anthropogenic factors was analyzed within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography RAS no. 0148-2019-0007.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Е.А. Кашутиной, Е.П. Матафонову, Ю.Ю. Алентьеву за участие в экспедиционных работах, результаты которых использовались при подготовке данной статьи.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to E.A. Kashutina, E.P. Matafonov, Yu. Alent'ev for participation in the field works, the results of which were used in the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агроценозы степной зоны / ред. А.А. Титлянова, В.И. Кирюшин, И.П. Охинько и др. Новосибирск: Наука, 1984. 246 с.

Барабанов А.Т. Эрозионно-гидрологическая оценка взаимодействия природных и антропогенных факторов формирования поверхностного стока талых вод и адаптивно-ландшафтное земледелие. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 188 с.

Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Влияние современных изменений климата и сельскохозяйственной деятельности на весенний поверхностный склоновый сток в лесостепных и степных районах Русской равнины // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 4. С. 332–340.

Барабанов А.Т., Долгов С.В., Коронкевич Н.И., Панов В.И., Петелько А.И. Поверхностный сток и инфильтрация в почву талых вод на пашне в лесостепной и степной зонах Восточно-Европейской равнины // Почвоведение. 2018. № 1. С. 74–81.

Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 548 с.

Гриднев П.И., Гриднева Т.Т. Эмиссия парниковых газов и аммиака из навоза в процессе уборки и подготовки его к использованию // Вестн. ВНИИМЖ. 2017. № 1 (25). С. 25–33.

Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Географо-гидрологическое изучение зоны аэрации // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1999. № 2. С. 17–30.

Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Гидрологическая ярусность равнинной территории // Изв. РАН. Сер. геогр. 2010. № 1. С. 7–25.

Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Современные изменения выноса биогенных веществ в реки бассейна Волги на юге лесной зоны // Изв. РАН. Сер. геогр. 2019. № 5. С. 43–55.

Закруткин В.Е., Коронкевич Н.И., Шишкина Д.Ю., Долгов С.В. Закономерности антропогенного преобразования малых водосборов степной зоны Юга России (в пределах Ростовской области). Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 2004. 252 с.

Коронкевич Н.И. Водный баланс Русской равнины и его антропогенные изменения. М.: Наука, 1990. 205 с.

Назаров Н.А. Оценки эрозионного смыва почв и выноса биогенных элементов с поверхностным стоком талых и дождевых вод в речном бассейне // Водные ресурсы. 1996. Т 23. № 6. С. 645–652.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2015 год / отв. ред. Г.М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2016. 223 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 10. Верхне-Волжский район. Кн. 1. М.: Моск. отд. гидрометеоиздата, 1973.

Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. М.–Л.: Наука, 1965. 254 с.

Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 145 с.

Семыкин В.А., Пигорев И.Я., Никитина О.В. Баланс элементов питания и гумуса в землях сельскохозяйственного назначения Курской области // Вестн. Курской гос. сельскохоз. академии. 2019. № 3. С. 6–11.

Хрисанов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 279 с.

Чернышев Е.П., Барымова Н.А., Иванова Н.Б., Китаев Л.М. Пространственно-временная дифференциация гидрологических процессов и связанного с ними вещественного обмена в системе “водосбор–река” / Географо-гидрологические исследования. М.: ИГ РАН, МЦ ГО РФ, 1992. С. 4–26.

Шилькрот Г.С., Ясинский С.В. Пространственно-временная изменчивость потока биогенных элементов и качества воды малой реки // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 3. С. 343–349.

Ясинский С.В., Гуров Ф.Н. Метод оценки характеристик диффузного загрязнения малых рек на основе ландшафтно-гидрологического подхода (на примере р. Истры) // Водное хозяйство России. 2006. № 2. С. 41–71.

Ясинский С.В., Кашутина Е.А., Сидорова М.В., Нарыков А.Н. Антропогенная нагрузка и влияние водосбора на диффузный сток биогенных элементов в крупный водный объект (на примере водосбора Чебоксарского водохранилища) // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 5. С. 630–648.

Regularities of the Nitrogen and Phosphorus Balance Formation in River Catchments in the Central Forest-Steppe of the Russian Plain in 1990–2020

S. V. Dolgov[1], *, V. O. Shvydkii[2], and E. V. Shtamm[3]

[1]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[2]*Institute of Biochemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[3]*Semenov Federal Research Center for Chemical Physics, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: svdolgov1978@yandex.ru*

On the geographic-hydrological basis and the idea of the plain river basins hydrological stratification modern features of the water-biogenic balance in the forest-steppe zone of the Russian Plain are revealed. The influence of the main elements of river basins' landscape-hydrological structure on the nutrients content in the surface slope runoff has been determined. It is shown that there was no increase in surface slope runoff in spite of the fact that the urbanized territories' area as well as the area of agricultural lands removed from crop rotations with a higher runoff coefficient than on fields with autumn plowing increased. Climate change has led to the opposite situation—the surface slope runoff since the early 1980s was declining by 69% on the compacted soil and by 77% on loose arable land. The role of the river runoff surface component in the nutrient's migration has significantly decreased, while, on the contrary, the underground component role increased. Annually surface runoff removes 41% of nitrogen and 48% of phosphorus, and underground runoff 59 and 52%, respectively. The results of calculating the intra-annual distribution of the mineral nitrogen and phosphorus removal with surface and underground runoff from river catchments are presented. An approximate assessment of the annual water-biogenic balance of the Kursk Oblast territory, formed in the last decade, has been carried out. It is shown that the share of natural factors in its incoming part (nitrogen 17%, phosphorus 6%) is significantly less than that of anthropogenic.

Keywords: river basins, nitrogen and phosphorus balance, anthropogenic and natural factors, surface and underground runoff components, changes

REFERENCES

Agrotsenozy stepnoi zony [Agrocenoses of the Steppe Zone]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1984. 246 p.

Barabanov A.T. *Erozionno-gidrologicheskaya otsenka vzaimodeistviya prirodnykh i antropogennykh faktorov formirovaniya poverkhnostnogo stoka talykh vod i adaptivno-landshaftnoe zemledelie* [Erosion-Hydrological Assessment of the Interaction of Natural and Anthropogenic Factors in the Formation of Surface Melt Water Runoff and Adaptive Landscape Agriculture]. Volgograd: Fed. Nauchn. Tsentr Agroekol. RAN, 2017. 188 p.

Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I. The influence of modern climate changes and agricultural activities on the spring surface slope runoff in the forest-steppe and steppe regions of the Russian Plain. *Vodn. Resur.*, 2018, vol. 45, no. 4, pp. 332–340. (In Russ.).

Barabanov A.T., Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Panov V.I., Petel'ko A.I. Surface runoff and snowmelt infiltration into the soil on plowlands in the forest-steppe and steppe zones of the East European plain. *Eurasian Soil Sci.*, 2018, vol. 51, pp. 66–72. doi 10.1134/S1064229318010039

Chernyshev E.P., Barymova N.A., Ivanova N.B., Kitaev L.M. Spatio-temporal differentiation of hydrological processes and the associated material exchange in the system "Catchment–River". In *Geografogidrologicheskie issledovaniya* [Geo-Hydrological Studies]. Moscow: Inst. Geogr. RAN, MTs GO RF, 1992, pp. 4–26. (In Russ.).

Dolgov S.V., Koronkevich N.I. Geographic and hydrological study of the aeration zone. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 1999, no. 2, pp. 17–30. (In Russ.).

Dolgov S.V., Koronkevich N.I. Hydrological stratification of the plain territory. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2010, no. 1, pp. 7–25. (In Russ.).

Dolgov S.V., Koronkevich N.I. Modern changes of nutrients' removal into the southern forest zone rivers of Volga basin. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2019, no. 5, pp. 43–55. (In Russ.).

Gridnev P.I., Gridneva T.T. Greenhouse gas and ammonia emissions from manure during harvesting and preparation for use. *Vestn. VNIIMZh*, 2017, vol. 25, no. 1, pp. 25–33. (In Russ.).

Khrisanov N.I., Osipov G.K. *Upravlenie evtrofirovaniem vodoemov* [Management of Water Bodies Eutrophication]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1993. 279 p.

Koronkevich N.I. *Vodnyi balans Russkoi ravniny i ego antropogennye izmeneniya* [Water Balance of the Russian Plain and its Anthropogenic Changes]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 205 p.

Nazarov N.A. Estimations of soil erosion washout and removal of nutrients with surface runoff of thawed and rainwater in the river basin. *Vodn. Resur.*, 1996, vol. 23, no. 6, pp. 645–652. (In Russ.).

Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2015 god [Overview of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2015]. Chernogaeva G.M., Ed. Moscow: Rosgidromet Publ., 2016. 223 p.

Resursy poverhnostnykh vod SSSR [Surface Water Resources of the USSR]. Vol. 10: *Verkhne-Volzhskii raion* [Upper-Volga Region]. Yablokov E.Yu., Ed. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1973, part 1. 239 p.

Rodin L.E., Bazilevich N.I. *Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskii krugovorot v osnovnykh tipakh rastitel'nosti zemnogo shara* [Dynamics of Organic Matter and Biological Circulation in the Main Types of Vegetation in the World]. Moscow: Nauka Publ., 1965. 254 p.

Rodin L.E., Remezov N.P., Bazilevich N.I. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Methodological Guidelines for Studying the Dynamics and Biological Cycle in Phytocenoses]. Leningrad: Nauka Publ., 1968. 145 p.

Semykin V.A., Pigorev I.Ya., Nikitina O.V. Balance of nutrients and humus in agricultural lands of the Kursk region. *Vestn. Kursk. Gos. S-kh. Akad.,* 2019, no. 3, pp. 6–11. (In Russ.).

Shilkrot G.S., Yasinskii S.V. Spatio-temporal variability of the nutrients flow and water quality of a small river. *Vodn. Resur.*, 2002, vol. 29, no. 3, pp. 343–349. (In Russ.).

Voskresenskii K.P. *Norma i izmenchivost' godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuza* [Rate and Variability of the Annual Flow of Rivers in the Soviet Union]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1962. 548 p.

Yasinskii S.V., Gurov F.N. Method for assessing the characteristics of diffuse pollution of small rivers based on the landscape-hydrological approach (on the example of the Istra river). *Vodn. Khozyaistvo Rossii*, 2006, no. 2, pp. 41–71. (In Russ.).

Yasinskii S.V., Kashutina E.A., Sidorova M.V., Narykov A.N. Anthropogenic load and the effect of drainage area on the diffuse runoff of nutrients into a large water body: Case study of the Cheboksary reservoir. *Water. Resour.,* 2020, vol. 47, pp. 810–827. doi 10.1134/S009780782005022X

Zakrutkin V.Ye., Koronkevich N.I., Shishkina D.Yu., Dolgov S.V. *Zakonomernosti antropogennogo preobrazovaniya malykh vodosborov stepnoi zony Yuga Rossii (v predelakh Rostovskoi oblasti)* [Patterns of Anthropogenic Transformation of Small Catchments of the Steppe Zone of the South of Russia (within the Rostov Region)]. Rostov-on-Don: Rostov. Univ. Publ., 2004. 252 p.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 368–379

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.345;557.79

РЕГИОНАЛЬНЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ГОРНОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ

© 2021 г. В. Г. Коновалов*

Институт географии РАН, Москва, Россия

**e-mail: vladgeo@gmail.com*

Поступила в редакцию 23.06.2020 г.
После доработки 06.02.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

Для бассейнов рек снегово-ледникового типа формирования стока разработана научно-информационная основа расчета составляющих уравнения годового водного баланса (сток, осадки, испарение, динамические запасы воды), которая включает: а) определение средних и средневзвешенных параметров квазиоднородных групп ледников путем структурирования либо классификации исходного множества N_{gl} ледников выше замыкающего гидрологического створа, б) рекомендации для расчета слоев осадков, испарения и средних значений температуры воздуха и упругости водяного пара в воздухе как функции высоты местности, в) состав типов поверхности ледников в период абляции для расчета водного баланса, г) определение объемов абляции, осадков и испарения для N_{gl} ледников, д) результаты расчета средних за 30-летний интервал составляющих водного баланса для 26 речных бассейнов Евразии с площадью оледенения от 102 до 14113 км^2. Отклонение измеренного годового стока от рассчитанного по уравнению водного баланса составило от −1.8 до 9.4%.

Ключевые слова: водный баланс, ледниковый сток, Евразия, моделирование, классификация ледников, абляция, осадки, испарение

DOI: 10.31857/S2587556621030080

ВВЕДЕНИЕ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Для рек снегово-ледникового типа формирования стока связь между составляющими годового гидрологического цикла (сток, осадки, испарение) выражает уравнение водного баланса речного бассейна в виде:

$$R = K_R\left(P - E + W_{gl}\right) + \Delta W, \qquad (1)$$

где R – измеренный сток, км^3; P – сумма жидких осадков и разности аккумуляции Ac_{snow} и абляции Ab_{snow} сезонного снега; W_{gl} – таяние многолетних запасов льда и фирна возрастом более одного года; E – испарение с деятельной поверхности водосбора; ΔW – динамические запасы воды в бассейне; K_R – коэффициент трансформации в сток объема воды, поступившей на поверхность бассейна. В соответствии с уравнением (1) годовые объемы испарения и осадков относятся ко всей площади речного бассейна F_{bas}, включая площадь оледенения F_{gl}.

Общим выражением для расчета объемов P, E на площади F_{bas} в уравнении (1) служит формула:

$$V_i = Y_i F_{bas}, \quad i = 1, 2, \qquad (2)$$

где V_1 – объем осадков и V_2 – испарения; Y_1, Y_2 – средние слои соответствующих переменных. Объем стока W_{gl} в речном бассейне равен сумме индивидуальных объемов w_{gl} в дискретном множестве N_{gl} ледников, а объем w_{gl} равен произведению среднего слоя абляции многолетнего льда и старого фирна ab_{if} на площадь ледника f_{gl}:

$$w_{gl} = \overline{ab}_{if} f_{gl} \ . \qquad (3)$$

Здесь и далее прописная буква перед нижним индексом служит признаком соответствующего множества данных, строчная буква в аналогичных случаях обозначает характеристику индивидуальных ледников.

Одна из задач настоящего исследования состоит в оценке возможностей и результатов определения W_{gl} на основе физико-статистического моделирования процесса формирования стока реки снегово-ледникового типа питания. Методы определения абляции снега и льда в моделях W_{gl} можно разделить на два класса: а) применение уравнения теплового баланса (ТБ) деятельной поверхности ледника; б) параметризация ТБ в виде уравнений регрессии.

Для оптимизации расчета W_{gl} на основе пространственно-временной экстраполяции регулярных сетевых метеоданных и других источников климатической информации, необходимо ре-

шить задачу синтезирования совокупности N_{gl} ледников в виде набора квазиоднородных подгрупп с характерными высотными и площадными параметрами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ УРАВНЕНИЯ ГОДОВОГО ВОДНОГО БАЛАНСА

Если принять высоту z как аргумент для описания пространственного распределения среднего слоя абляции ab_{if} и площади ледника f_{gl}, тогда общее выражение для расчета объема ледникового стока w_{gl} будет иметь вид:

$$w_{gl} = \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} ab_{if}(z)\, f_{gl}(z)\, dz, \qquad (4)$$

здесь $z_{\min}$, $z_{\max}$ – предельные значения высоты z. С целью численного нахождения w_{gl} воспользуемся теоремой о среднем значении произведения двух произвольных положительных функций в интегральном исчислении, согласно которой вместо (4) запишем

$$w_{gl} = ab_{if}(\tilde{z}) \int_{z_{\min}}^{z_{\max}} f_{gl}(z)\, dz, \qquad (5)$$

где $ab_{if}(\tilde{z})$ – абляция на некоторой высоте $\tilde{z}$ в интервале $z_{\max}$–$z_{\min}$, а определенный интеграл соответствует площади ледника f_{gl} в этом интервале. В работе (Боровикова и др., 1972) показано, что $\tilde{z}$ равно средней взвешенной высоте в интервале $z_{\max}$–$z_{\min}$, если распределение $ab_{if}(z)$ может быть описано линейной функцией. Тогда в формулу (3) для расчета w_{gl} вносим изменение:

$$\overline{ab}_{if} = ab_{if}(\overline{z}) = ab_{if}(\tilde{z}), \qquad (6)$$

В случаях нелинейности $ab_{if}(z)$ в правой части равенства (6) появляется дополнительный член, определяемый по методике (Боровикова и др., 1972).

Заменив в правой части уравнения (4) $ab_{if}(z)$ слоем осадков либо испарения как функций высоты, а в левой w_{gl} – объемами P, E, получим выражения, аналогичные (5). Таким образом, формула (5) – теоретическое обоснование расчета объемов ледникового стока W_{gl}, осадков P и испарения E как составляющих уравнения (1) в интервале $z_{\max}$–$z_{\min}$.

Многочисленные примеры применения формулы (5) с целью упрощенного и *неподтвержденного независимым контролем* расчета средних значений ледникового стока в бассейнах рек Евразии содержатся в работах (Кренке, 1982; Вилесов, 2016). Упрощение состоит в том, что расчет W_{gl} и w_{gl} как функции средней летней температуры воздуха на высоте границы питания или средней взвешенной высоте ледника не учитывает различия типов тающей поверхности ледников и, соответственно, условий формирования стока.

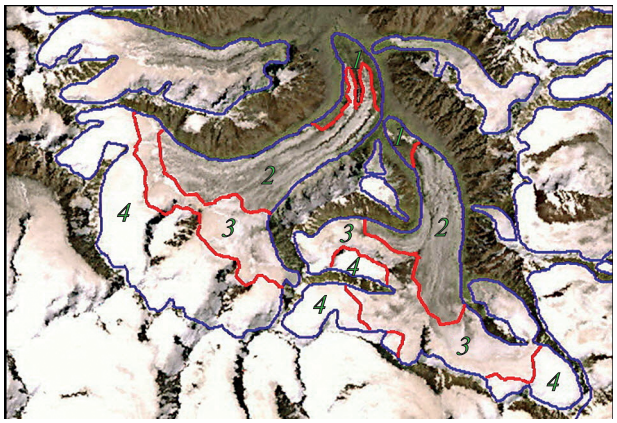

Рис. 1. Типы поверхности ледника: *1* – лед под сплошной мореной, *im*; *2* – открытый лед, *i*; *3* – старый фирн, *f*; *4* – сезонный снег, *ss*. Синяя линия – граница ледника.

Расчет интенсивности и объема абляции. Особенность гидрологического режима ледников состоит в том, что в течение года поверхностное таяние происходит на площади пяти характерных областей: лед под мореной *im* различной толщины и сплошности, открытый лед *i*, фирн возрастом более одного года *f* (“старый фирн”), зимний снег *ws*, летний снег *ss*. Размеры и число активных областей, где образуется ледниковый сток ($m = 1...5$), изменяются как внутри года в зависимости от высоты сезонной снеговой границы Z_{ssb}, так и в многолетнем разрезе в связи с динамикой ледников, обусловленной колебаниями климата. При ежегодном “гляциологическом” расчете W_{gl} отдельно для площади оледенения F_{gl} возможны следующие варианты расположения Z_{ssb}: а) $Z_{ssb} = Z_{end}$, $m = 1$; б$_1$) $Z_{hlm} \le Z_{ssb} \le Z_{fb}$, $m = 3$ либо 2 при отсутствии морены, б$_2$) $Z_{end} \le Z_{ssb} \le Z_{fb}$; в) $Z_{fb} < Z_{ssb} \le Z_{beg}$, $m = 4$ либо 3 при отсутствии морены. Здесь Z_{end} и Z_{beg} – соответственно высоты конца и начала ледника, Z_{hlm} и Z_{fb} – высоты сплошного моренного покрова на леднике и фирновой границы. Число типов поверхности в вариантах (б–в) может быть увеличено на единицу в зависимости от взаимного расположения высот зимнего и летнего снега. Пример типов поверхности на ледниках в бассейне р. Баляндкиик (Памир) иллюстрирует рис. 1. Для применения в региональном масштабе гляциологического варианта расчета W_{gl} требуются ежегодные данные о размерах оледенения и высота Z_{ssb}.

В случае “гидрологического” расчета W_{gl} по осредненным данным $\overline{Z}_{end}$, $\overline{Z}_{hlm}$, $\overline{Z}_{fb}$, $\overline{Z}_{beg}$ к ледниковому стоку относятся объемы таяния льда под мореной и открытого льда, а объем таяния на

площади области аккумуляции в интервале $\bar{Z}_{beg} - \bar{Z}_{fb}$ составляет часть годового баланса массы твердых осадков на площади F_{bas}.

Составной частью расчета объема w_{gl} по формуле (3) является площадь ледника, которая для элемента физической поверхности dF в интервалах высоты z и $z + dz$, уклона α и $\alpha + d\alpha$, азимута $\varphi + d\varphi$ равна (Денисов, 1965; Боровикова и др., 1972):

$$dF_1 = \frac{\partial^3 F}{\partial z \partial \alpha \partial \varphi} dz d\alpha d\varphi \quad (7)$$

а в интервале только высоты z и $z + dz$:

$$dF_2 = \frac{\partial F}{\partial z} dz. \quad (8)$$

Вместо использования формулы (7) для аналитического описания распределения площади как функции z, α, φ в работе (Боровикова и др., 1972) предложено относить $ab(m, t)$, т.е. абляцию в момент времени t к центрам регулярной сетки, построенной с постоянным шагом по декартовым или географическим координатам. В этом случае общее выражение $w_{gl}(m, t)$ для определения ледникового стока с поверхности m-го типа выглядит так:

$$w_{gl}(m,t) = \sum_i \sum_j \sum_k ab(m,t)\,\Delta f(z_i, \alpha_j, \varphi_k). \quad (9)$$

После исключения из (9) уклона и азимута, получаем упрощенный для массовой реализации вариант расчета $w_{gl}(m, t)$.

Абляция и тепловой баланс ледника. Физически обоснованный вариант определения интенсивности абляции льда и старого фирна $ab_{if}(m, t)$ следующий:

$$ab_{if}(m,t) = f[\mu(t), m], \quad (10)$$

где μ – тепловой баланс (ТБ) тающей поверхности ледника, включающий: балансы коротковолновой и длинноволновой солнечной радиации, поток тепла к леднику из атмосферы и тепловой эквивалент влагообмена в приледниковом слое воздуха, теплоотдачу жидких осадков, выпавших на ледник, расход тепла на таяние льда и снега и прогревание деятельного слоя. Способы определения в общем виде составляющих полного уравнения ТБ и детальное математическое описание внутрисуточного хода составляющих радиационного баланса и приземной температуры воздуха как аргументов для расчета абляции снега и льда подробно описаны в работах (Кузьмин, 1961; Денисов, 1965; Боровикова и др., 1972; Денисов и др., 1982; Anderson, 1976) и многих более поздних исследованиях. Для расчета $\overline{ab}_{if}$ в формуле (3) на основе метода ТБ, помимо топографии m-го типа поверхности, требуется распределенная в пространстве информация об альбедо снега и льда, осадках, температуре воздуха, облачности, прозрачности атмосферы, упругости водяного пара в воздухе, скорости ветра, продолжительности освещения солнцем площади f_{gl}, толщине сплошного моренного покрова, при его наличии на леднике.

С целью проведения расчетов $w_{gl}(m, t)$ по формуле (9) был разработан комплекс компьютерных программ, подготовлено руководство по их применению (Hock, 1999) и получены экспериментальные результаты (Hock, Holmgren, 2005) на примере ледника Стур (Швеция) и ряда других. При этом обязательным условием применения метода теплового баланса считается использование метеорологических характеристик, измеренных в одном или нескольких пунктах непосредственно на леднике. А это неприемлемо для расчетов $w_{gl}(m, t)$ на десятках дискретных ледников в речных бассейнах.

Опыт экспериментальной реализации метода теплового баланса для расчета абляции снега и льда выявил принятие авторами (Рец и др., 2011; Рыбак и др., 2015, 2019; Торопов и др., 2018; Hock, 1999; Hock, Holmgren, 2005) различных субъективных упрощений в задаче пространственно-временной экстраполяции входной климатической информации и при получении промежуточных результатов. К наиболее существенным относятся:

а) определение значений осадков $p_{\Delta f}$, температуры воздуха $t_{\Delta f}$ и упругости водяного пара в воздухе $u_{\Delta f}$ для элементарных площадок Δf на всей площади ледника выполняется на основе декларирования эмпирических линейных функций $y = f(z)$ с постоянным высотным градиентом ($\beta = \Delta y/\Delta z$). Хотя внутригодовой ход градиента β под влиянием не только высоты z описан, например, в работах (Кузьмин, 1961; Барри, 1984). Здесь y – обобщенный символ климатических характеристик $p_{\Delta f}$, $t_{\Delta f}$ и $u_{\Delta f}$. Аналитическое выражение для вертикального профиля температуры воздуха с учетом внутригодового хода градиента температуры воздуха γ предложено в работах (Боровикова и др., 1972; Денисов и др., 1982).

Значительные колебания результатов расчета баланса массы ледника, вследствие использования различных градиентов γ температуры воздуха, иллюстрирует рис. 2 (Gardner and Sharp, 2009). Сложная картина пространственного распределения осадков и снежного покрова, установленная в бассейнах ледников Абрамова (Памиро-Алай) и Марух (Северный Кавказ), под влиянием микро и мезорельефа, ветра, облачности, лавинного питания, метелевого переноса вызывает наибольшие сомнения в обоснованности применения в данном случае эмпирических функций $y = f(z)$ с постоянным вертикальным градиентом $\beta = \Delta y/\Delta z$, полученных по данным двух пунктов. Этот вывод подтверждает картина (рис. 3) пространственного и временного распределения гра-

диента осадков и снегозапасов, измеренных на ледниках Абрамова и Марух (Ледник Абрамова, 1980; Ледник Марух, 1988);

б) характеристики прозрачности атмосферы, турбулентных потоков тепла H и влаги LE в приледниковом слое воздуха рассчитываются в течение периода абляции по эмпирическим формулам с постоянными коэффициентами. Величины облачности $C_{\Delta f}$ и скорости ветра $u_{\Delta f}$, измеренные в одном пункте, распространяются на всю площадь ледника;

в) используется упрощенная схема расчета альбедо типов поверхности “снег и лед” (Рец и др., 2011; Рыбак и др., 2015, 2019; Торопов и др., 2018; Hock, 1999) как экспоненциально убывающей функции толщины снега. В отсутствие летних снегопадов, альбедо старого снега/фирна и льда считается неизменным в течение любого интервала времени;

г) корректировка рассчитанного стока с индивидуального ледника выполняется путем апостериорной калибровки/оптимизации всех сомнительных параметров модели по измеренным величинам стока либо абляции (Рыбак и др., 2015; Hock, 1999). Авторы (Рец и др., 2011; Рыбак и др., 2015, 2019; Торопов и др., 2018; Hock, 1999) не используют независимый контроль и метод водного баланса для оценки качества расчетов ледникового стока.

Параметризация составляющих уравнения водного баланса. Хронологически наиболее ранний вариант параметризации расчета суточной интенсивности таяния M по эмпирической формуле:

$$M = 1.8\overline{T} + 0.088(1 - A_к)R_{in}, \quad \text{мм/сутки} \qquad (11)$$

был предложен Ю.М. Денисовым (1965). Здесь: $\overline{T}$ – средняя суточная температура воздуха, $A_к$ – альбедо, R_{in} – суточная величина суммарной радиации на наклонную поверхность с учетом общей и нижней облачности. В 14 случаях сравнения измеренной и рассчитанной интенсивности таяния снега среднее абсолютное отклонение составило 4(3) мм/сут или 27(16)%. В скобках даны аналогичные оценки при расчете M по уравнению теплового баланса.

Позднее, для лучшего приближения к условиям формирования ледникового стока, были получены варианты параметризации μ как функции средних значений температуры воздуха T и поглощенной коротковолновой солнечной радиации R_{abs} на горизонтальной поверхности ледника (Коновалов, 1979, 1985; Hock, 1999), либо только T за декадный, месячный и сезонный интервалы времени. В первом случае $\mu_1 = f(R_{abs}, T)$, а во втором $\mu_2 = f(T)$. Тогда вместо (10) запишем:

$$ab_{if}(m,t) = f\left[\mu_{1/2}(t), m(z, z_{ssb})\right]. \qquad (12)$$

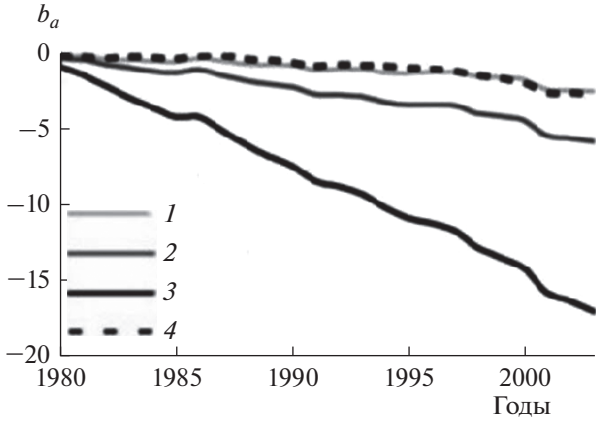

Рис. 2. Измерение и моделирование кумулятивного баланса массы b_a ледника Девон, в м водного эквивалента год$^{-1}$, источник (Gardner, Sharp, 2009): *4* – измеренный b_a; *3* – моделирование b_a с использованием влажноадиабатического градиента температуры воздуха $\gamma = -6.58$°C км$^{-1}$; *2* – моделирование b_a по данным измерений градиента $\gamma = -4.98$°C км$^{-1}$; *1* – в модели b_a использован расчет γ в зависимости от температуры воздуха в опорном пункте.

В формуле (12) z_{ssb} – высота сезонной снеговой границы, от которой зависят число и размеры m типов поверхности, изменяющихся в течение периода абляции, косая черта – знак дизъюнкции. Методика реконструкции максимальной высоты z_{ssb} как функции индекса баланса осадков и температуры воздуха описана в (Коновалов, 1979, 1985; Konovalov, 1997).

Для достаточно обоснованного определения средней интенсивности таяния снега и льда за десятидневные интервалы времени следует применять двухфакторные $\mu_{10} = f(R_{abs}, T)$ региональную (*reg*) и аналогичные по структуре локальные эмпирические формулы (Коновалов, 1979, 1985):

$$\mu_{10}(reg) = \varepsilon_1\overline{R}_{abs} + \varepsilon_2\overline{T} + \text{const}, \qquad (13)$$

где ε_1, ε_1 и const – эмпирические коэффициенты, $\overline{R}_{abs}$ и $\overline{T}$ – соответственно средние за декаду значения поглощенной коротковолновой солнечной радиации на горизонтальной поверхности и температуры воздуха.

В процессе расчета поглощенной радиации R_{abs} в течение периода абляции используются изложенные ниже способы определения: интегрального коэффициента прозрачности атмосферы λ, альбедо поверхности ледника и облачности.

Анализ средних месячных значений коэффициента λ для 21 пункта измерений в интервале высот 76–4170 м над ур. м. показал, что внутригодовой ход λ вполне удовлетворительно аппроксимируется косинусоидой

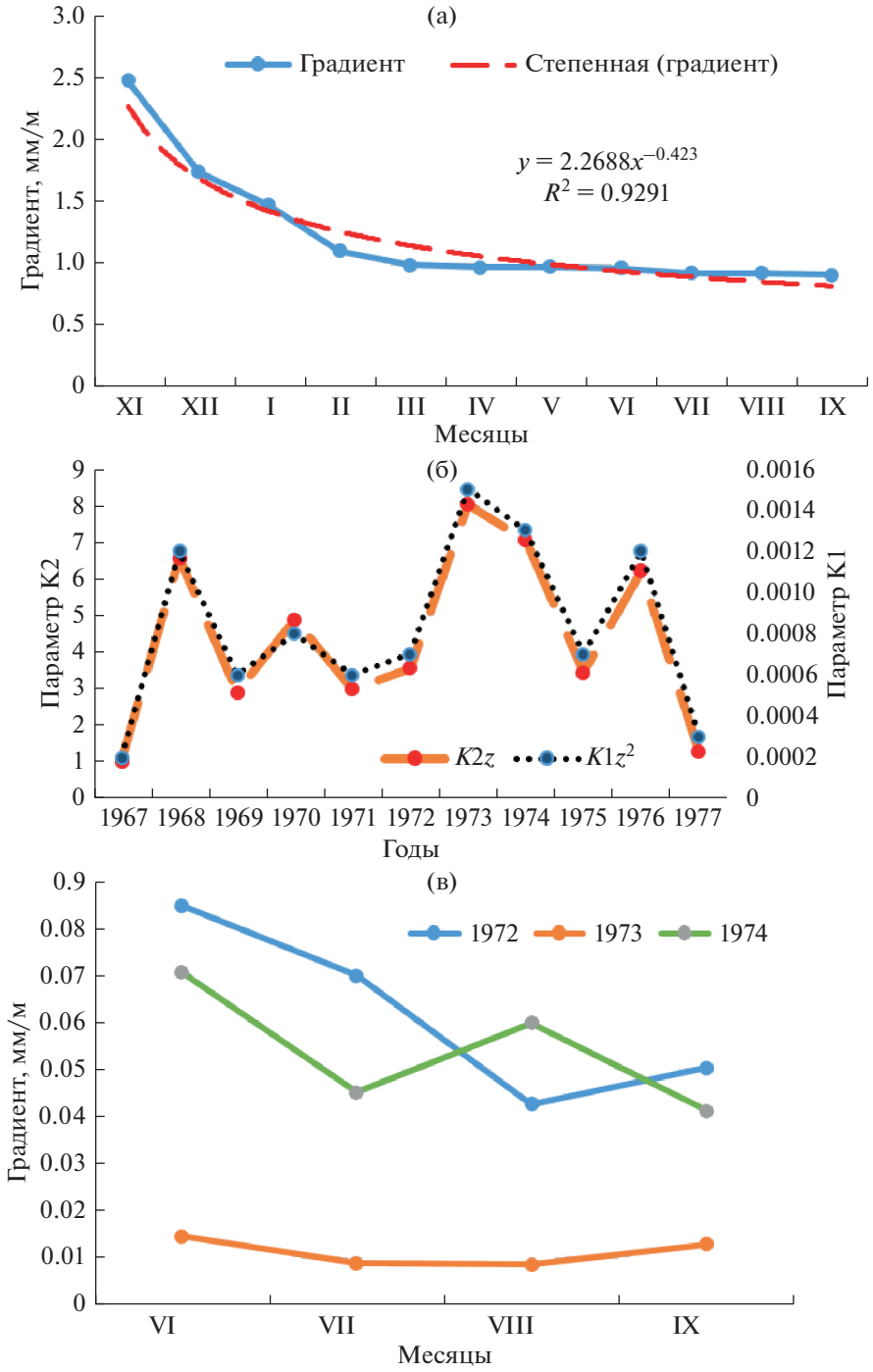

Рис. 3. Характеристики многолетнего режима снегозапасов и осадков: (а) внутригодовой вертикальный градиент снегозапасов на леднике Абрамова: (б) многолетний ход на леднике Марух параметров зависимости снегозапасов snow от высоты z: snow = $K1z^2 + K2z$ + const; (в) внутригодовой вертикальный градиент осадков на леднике Абрамова в интервале 3626–4410 м над ур. м.
Составлено по: (Ледник Абрамова, 1980; Ледник Марух, 1988).

$$\lambda(t) = \lambda_0 + \alpha\cos\left[\frac{2\pi}{T_2}(t - t_0)\right], \qquad (14)$$

где λ_0 – среднее годовое значение λ, α – полуамплитуда изменения λ внутри года, $T_2 = 365$ дней, t – время (номер дня внутри года), t_0 – дата максимума $\lambda(t)$. Далее для расчета $\lambda_0(z)$, $\alpha(z)$ и $t_0(z)$ получены (Коновалов, 1985) методом наименьших квадратов соответствующие эмпирические функции высоты z в км над ур. м. После подстановки

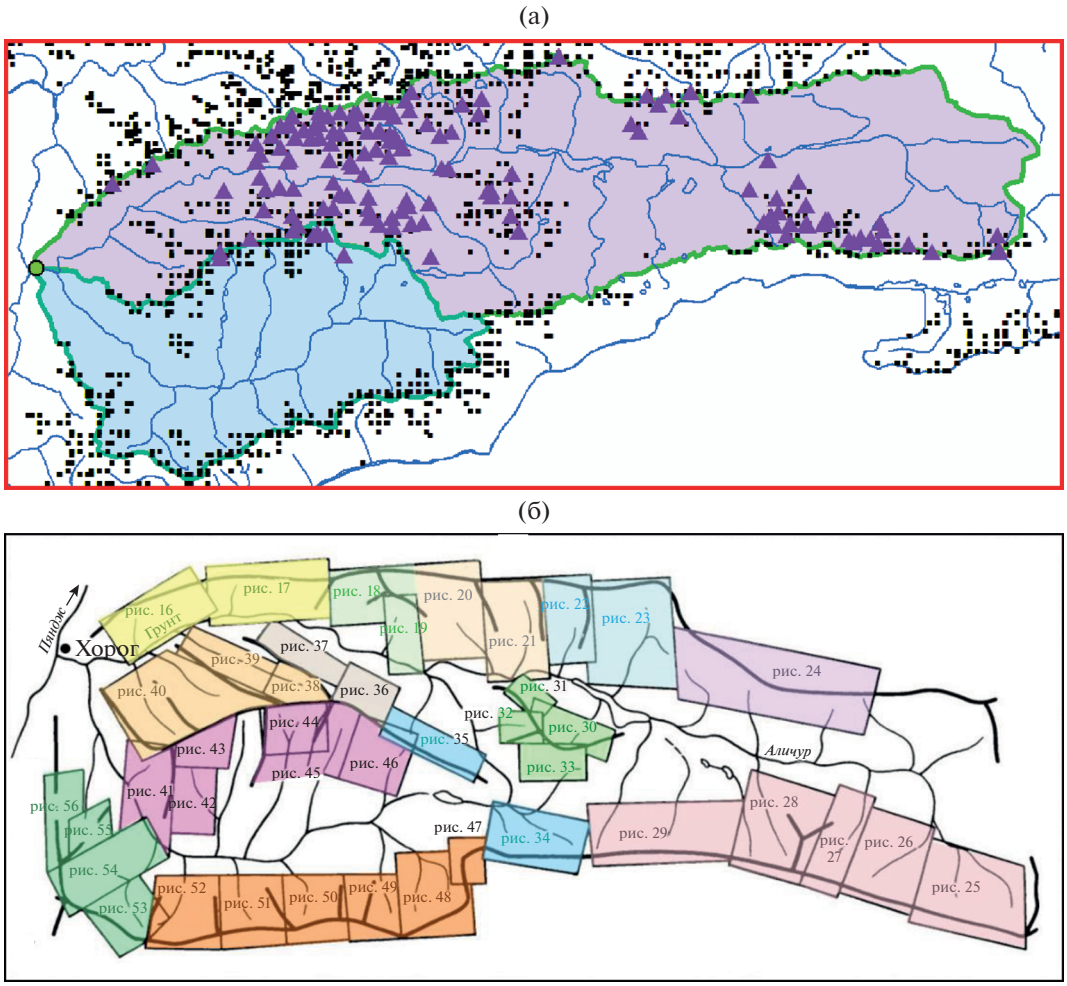

Рис. 4. (а) Классификация совокупности 639 ледников в бассейне р. Гунт на 142 группы (отдельные ледники обозначены квадратами, группы – треугольниками). (б) Структурирование ледников в бассейнах рр. Гунт, Шахдара (Памир) на 13 групп (выделены различным цветом) для расчета ледникового стока по модели РЕГМОД (Коновалов, 1985).

Примечание: Расположение ледников в группах иллюстрируют рисунки из Каталога (Каталог ..., 1979). Номера рисунков указаны на схеме.

этих формул в (14), найдена для расчета коэффициента прозрачности λ окончательная формула:

$$\lambda(z,t) = 0.383 - 0.068z + \\ + (0.036 + 0.031z - 0.0084z^2)\times \\ \times \cos[2\pi/T_2(373 - 59.5z + 11.7z^2)]. \quad (15)$$

Численные коэффициенты в этом выражении определены при условии, что год начинается 1 октября.

В результате обработки обширного массива измерений альбедо (Коновалов, 1979) получены характерные значения отражательной способности *Ак* основных типов поверхности горных ледников, которые приведены в табл. 1. Установлено, что эти значения подвержены изменениям в течение мая–октября (Коновалов, 1979, 1985). Соответствующие эмпирические уравнения $Ак = f(N)$ для каждого из типов поверхности ледника в виде функций номеров календарных месяцев N ($N = 5, 6, ..., 10$) приведены в табл. 2. На основании измерений альбедо однородной поверхности ледников в мае–октябре оказалось, что при отсутствии летних снегопадов альбедо слабо изменяется в течение 15–20 дней. Эта особенность *Ак* использована в программе расчета абляции совокупностей ледников за декадные интервалы времени – РЕГМОД (Коновалов, 1979, 1985).

Составной частью расчета поглощенной радиации R_{abs} является определение поступления суммарной радиации Q при фактической облачности C по общей формуле $Q = Q_0 f(C)$, где Q_0 – суммарная радиация при безоблачном небе, а для оценки функции влияния общей облачности $f(C)$ используются выражение:

$$f(C) = 1 - 0.0065C - 0.0046C^2. \quad (16)$$

Таблица 1. Альбедо основных типов поверхности ледников, %

Параметр	Тип поверхности							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Пределы	10–14	15–20	21–25	26–33	34–42	43–51	52–67	71–85
Среднее	12	17	23	30	38	47	58	76
*C*v	0.08	0.10	0.20	0.15	0.10	0.10	0.08	0.05

Обозначения: *C*v – коэффициент вариации. I – лед под мореной, II – лед грязный, III – лед загрязненный, IV – лед слабозагрязненный, V – лед чистый, VI – старый снег, слабо загрязненный фирн, VII – чистый фирн, влажный снег, VIII – чистый сухой снег.

Таблица 2. Среднее месячное альбедо *Ак* типов поверхности ледника

Тип	$Ак = f(N)$	R^2	Месяц, *N*					
			5	6	7	8	9	10
IV	$Ак = 0.0024N^3 - 0.047N^2 + 0.285N - 0.204$	0.99	0.35	0.33	0.31	0.30	0.30	0.35
VI	$Ак = 0.0018N^3 - 0.037N^2 + 0.226N + 0.055$	0.97	0.50	0.49	0.46	0.45	0.44	0.46
VII	$Ак = 0.0021N^3 - 0.043N^2 + 0.260N + 0.099$	0.99	0.59	0.58	0.55	0.52	0.51	0.53
VIII	$Ак = 0.0007N^3 - 0.009N^2 - 0.002N + 0.891$	0.94	0.76	0.72	0.70	0.69	0.69	0.72

Обозначения: IV, VI, VII, VIII – типы поверхности из табл. 1; *N* – номера месяцев с мая по октябрь (5–10); R^2 – коэффициент детерминации зависимости $Ак = f(N)$.

Проверка формулы (16) по независимым наблюдениям на ряде ледников Заилийского Алатау, Тянь-Шаня и Памира показала (Коновалов, 1979, 1985) ее приемлемость в разнообразных условиях.

РАСЧЕТ ОСАДКОВ, ИСПАРЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА

Общий вид распространенных однофакторных линейных формул для определения и интерполяции средних значений температуры воздуха *T*, осадков *P* и упругости водяного пара в воздухе *U* следующий:

$$\overline{y} = f(z). \qquad (17)$$

А для экстраполяции временны́х рядов переменных *T*, *U*:

$$y_{T/U}(z,t) = y_{T/U}(z_0,t) - \gamma_{T/U}(z - z_0)(18) \qquad (18)$$

и осадков:

$$P(z) = P(z_0)[1 - k_2(z - z_0)]. \qquad (19)$$

В (17)–(18) *y* – обобщенный символ климатических переменных *T*, *P*, *U*; косая черта – знак дизъюнкции; *z* – высота; $y_{T/U}(z_0,t)$ – измеренное значение *T*/*U* на высоте z_0, выбираемой по отдельности для *T*/*U*; $\gamma_{T/U}$ – вертикальный градиент *T*/*U*, который с достаточной точностью аппроксимируется косинусоидой (Боровикова и др., 1982):

$$\gamma(t) = \gamma_0 + \alpha\cos\left[\frac{2\pi}{T_2}(t - t_0)\right], \qquad (20)$$

где γ_0 – среднее годовое значение γ, α – полуамплитуда изменения γ внутри года, $T_2 = 365$ дней, *t* – время (номер дня внутри года), t_0 – дата максимума $\gamma(t)$. В формуле (19) $P(z_0)$ – измеренные осадки на высоте z_0, k_2 – эмпирический коэффициент, зависящий от z_0 (Боровикова и др., 1982).

В результате исследования линейной и нелинейной аппроксимаций средних месячных значений *T*, *P*, *U по данным 660 метеостанций на территории стран Центральной Азии* в интервалах: высоты 600–4200 м над ур. м. и географических координат 35°–45° с.ш. и 66°–81° в.д. установлено (Коновалов, 2003), что коэффициенты корреляции линейных уравнений $T = T(z)$, $U = U(z)$ в феврале–ноябре, находящиеся в интервале от 0.80 до 0.95, значимо возрастают при аппроксимациях вида $T = T(z, long, lat)$ и $U = U(z, long, lat)$. Коэффициенты корреляции уравнений для расчета осадков достигают более 0.70 в январе–декабре только для нелинейных уравнений $P = P(z–z^4, long, lat)$.

Наряду с измерениями *T*, *P*, на метеостанциях, для оценки параметров уравнения (17) следует использовать климатические базы данных (Коновалов, 2003; Fick and Hijmans, 2017; Harris et al., 2014), содержащие многолетние месячные нормы осадков, температуры приземного воздуха и упругости водяного пара в узлах регулярной сетки

Таблица 3. Интервалы площади для выделения однородных групп ледников восьми ориентаций

Номер	Интервал площади, км^2							
1–8	>0...≤0.1	>0.1...≤0.2	>0.2...≤0.3	>0.3...≤0.4	>0.4...≤0.5	>0.5...≤0.6	>0.6...≤0.7	>0.7...≤0.8
9–16	>0.8...≤0.9	>0.9...≤1.0	>1.0...≤1.5	>1.5...≤2.0	>2.0...≤2.5	>2.5...≤3.0	>3.0...≤4.0	>4.0...≤5.0
17–23	>5.0...≤6.0	>6.0...≤8.0	>8.0...≤10.0	>10.0...≤40.0	>40.0...≤70	>70.0...≤100	>100	

с различными интервалами по географическим координатам. Например, для бассейна р. Вахш (Памир) из базы *WorldClim* (Harris et al., 2014) были извлечены средние месячные температуры воздуха в июне–августе и получены одно- и трех факторные формулы (21), (22) для расчета средней летней температуры *Ts*:

$$Ts = f(Z) = 31.2 - 0.0059Z, \quad (21)$$

$$Ts = f(Z, long, lat) = -34.654 - 0.007Z + \\ + 1.095long - 0.242lat. \quad (22)$$

В (21)–(22) размерность *Ts* – °С, *Z* – в м над ур. м., *long, lat* – десятичные градусы. Коэффициент детерминации для (21) и (22) соответственно 0.89 и 0.98, среднеквадратичная ошибка расчета 1.27 и 0.57°С.

Условием использования уравнения типа (6) для расчетов климатических норм или многолетних рядов составляющих водного баланса P и E служит определение удельных величин испарения и осадков на средней взвешенной высоте $\tilde{z}$ речного бассейна или интервала z_{max}–z_{min}. При этом слой осадков может быть найден по выражению типа (17), а для определения месячного слоя испарения E наиболее подходящими оказались известные формулы Ольдекопа (23) и Романенко (24) (Xu and Singh, 1998):

$$E(\tilde{z}) = PE(\tilde{z})\, th\left[P(\tilde{z})/PE(\tilde{z})\right], \quad (23)$$

$$PE(\tilde{z}) = 0.0018\left(25+T\right)^2\left(100-H_R\right), \text{ мм/месяц}. \quad (24)$$

В (23)–(24): $P(\tilde{z})$ – осадки на высоте z, PE – потенциальное испарение, T – температура воздуха, H_R – относительная влажность воздуха в %. Репрезентативность упрощенного расчета $E(\tilde{z})$ по формуле (23) основана на том, что одним из источников испарения служит избыточно увлажненная поверхность ледников в период абляции, другим – достаточно однородные высокогорные почвы, альпийские луга и кустарники на средних взвешенных высотах водосборов (см. табл. 4). Исследование и контроль методов расчета испарения показали (Xu and Singh, 1998), что формула (24) позволяет получать результаты, близкие к данным испарителя.

СТРУКТУРИРОВАНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ СОВОКУПНОСТИ ЛЕДНИКОВ

В связи с дискретностью оледенения возникает вопрос о применении формулы (13) для всего множества N_{gl} ледников в пределах речного бассейна. Процесс структурирования параметров совокупности N_{gl} ледников состоит из двух основных этапов: 1. Экспертная идентификация приблизительно однородных групп ледников по площади и расположению в бассейне основной реки. 2. Расчет для групп средних значений F_{gl}, F_{mor}, распределения $F_{gl}(Z)$, средних взвешенных высот Z_{beg}, Z_{fb}, Z_{hlm}, Z_{end}, географических координат (*Long* – долгота, *Lat* – широта), толщины морены на конце ледника. Информационной основой для экспертного структурирования совокупностей пронумерованных ледников в речных бассейнах служат обзорные и частные гидрографические схемы (рис 2а, 2б) в отдельных выпусках Каталога ледников СССР (Каталог ..., 1979; 1967–1976). Поскольку однократные определения морфометрических характеристик ледников в каталогах (Каталог ..., 1979; 1967–1976; RGI Consortium, 2017; World ..., 2012) охватывают диапазон 5–20 лет, для расчета W_{gl} за климатические интервалы времени приходится принимать гипотезу устойчивости высотно-площадных параметров, либо их линейного изменения между двумя временны́ми срезами. Оценки изменений за 1946–2005 гг. площади и высотных параметров оледенения в бассейнах рек Северного Кавказа, Памира (Гунт) и Алтая (Катунь) по данным Каталогов (Каталог ..., 1979; 1967–1976; RGI Consortium, 2017) содержатся в работе (Коновалов, 2020).

Помимо экспертной идентификации групп ледников рекомендуется статистически и генетически обоснованная компьютерная классификация N_{gl} на интервальный ряд подгрупп в зависимости от ориентации и площади индивидуальных ледников. В итоге совокупность N_{gl} ледников в речном бассейне или в пределах заданной горной области оказывается классифицированной максимально на 184 квазиоднородные группы, если в каждом из восьми подмножеств по ориентациям *N*, *NE*, *E*, *SE*, *S*, *SW*, *W*, *NW* заполнены все 23 заданных интервала по площади (табл. 3). Классификацию и структурирование совокупности ледников в бассейне р. Гунт (Памир) иллюстрирует рис. 2а, 2б. Если сравнивать рассмотренные мето-

дики синтеза данных о параметрах отдельных ледников, то предпочтения заслуживает классификация – как более количественно обоснованная (Коновалов, 2010).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе изложены два варианта решения в общем виде задачи расчета в масштабе речных бассейнов годовых величин осадков – P, испарения – E, ледникового стока – W_{gl}, ΔW – динамических запасов воды. В обоих вариантах для определения P и E используются региональные связи осадков и упругости водяного пара в воздухе с пространственными географическими координатами. Варианты отличаются тем, что в одном из них интенсивность абляции снега и льда выражена как функция средней температуры воздуха, а в другом – для расчета абляции используется физически более обоснованная двухфакторная формула (13). Применение формулы (13) обусловлено наличием для N_{gl} в течение периода абляции входной информации о высоте сезонной снеговой границы, общей облачности, альбедо снега и льда, прозрачности атмосферы. В случае упрощенного расчета средней многолетней абляции в формуле (13) остается только температура воздуха – $\overline{ab}_{i,im}(\hat{z}) = f\left[\overline{T}_{sum}(\hat{z})\right]$. Здесь $\overline{ab}_{i,im}(\hat{z})$ – абляция открытого льда i и льда под мореной im, $\overline{T}_{sum}(\hat{z})$ – средняя летняя температура воздуха, $\hat{z}$ – средняя высота интервала распространения типов поверхности ледника i и im.

Подробности получения формул, приведенных в статье, содержатся в цитируемой литературе. Ошибку определения суммы составляющих правой части уравнения (1) находим как отклонение рассчитанного стока $R_c = P - E + W_{gl} + \Delta W$ от измеренного R_m на гидрологическом посту, замыкающем конкретный речной бассейн.

Информационной основой для региональных расчетов, составляющих суммы R_c, служила общедоступная гляциологическая (Каталог ..., 1979; 1967–1976; Zemp, Hoelzle, Haeberli, 2009; World ..., 2012) и климатическая информация (Harris et al., 2014; Булыгина и др., 2021; Williams and Konovalov, 2008; Hijmans et al., 2005), а для контроля суммы R_c данные по стоку из (Bodo, 2000) и гидрологических ежегодников.

В табл. 4 приведены средние многолетние значения объемов ледникового стока W_{gl}, осадков P и испарения E в 29 бассейнах рек Азии и Северного Кавказа с площадью оледенения от 102 до 14113 км^2. Отклонение измеренного годового стока от рассчитанного по уравнению водного баланса составило от –1.8 до 9.4%. Вместо исходных высотно-площадных параметров совокупностей индивидуальных ледников в расчетах W_{gl} были использованы средние и взвешенные по площади характеристики квазиоднородных групп ледников, синтезированные методами структурирования либо классификации. По мнению автора, применение синтезированных параметров для групп ледников повышает обоснованность пространственной экстраполяции климатических данных.

Параметризация теплового баланса вида $ab(m, t) = f(R_{abs}, T)$ и $ab(m, t) = f(T)$ неоднократно использовалась при моделировании ледникового стока $W_{gl}(m, t)$ в бассейнах рек Центральной Азии и Кавказа (Коновалов, 1979, 1985; Коновалов, Пиманкина, 2016). Сравнение ошибок определения абляции по эмпирической формуле $ab = f(R_{abs}, T)$ и по уравнению ТБ показало (Денисов и др., 1982; Коновалов, 1979, 1985) значимое преимущество эмпирической формулы, вследствие уменьшения числа параметров и переменных, используемых для расчета. Определение интенсивности таяния льда под мореной выполняется по универсальной формуле $M_{mor} = M_{ice} f(h_c)$, где $f(h_c)$ – безразмерная функция ослабления таяния под покровом морены, имеющая в интервале $0 < h_c < 2$ см максимум и две характерные точки, в которых $f(h_c) = 1$. Практические расчеты $f(h_c)$ упрощаются путем применения отдельных выражений (Konovalov, 2015) для морены толщиной от 0 до 2 см и при толщине h_c более 2 см.

Несмотря на вполне удовлетворительное качество расчетов в табл. 4, средним значениям W_{gl}, P и E не хватает оценок их многолетней изменчивости. Решением задачи может быть реконструкция максимальной высоты снеговой границы на ледниках как функции индекса баланса осадков и температуры воздуха (Коновалов, 1979, 1985; Konovalov, 1997).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время в масштабе крупных речных бассейнов с развитым горным оледенением существует громадный разрыв между временны́м разрешением гидрологической и климатической информации (сутки, месяц, год, многолетний интервал) и сведениями об изменении размеров совокупностей ледников, для которых в базе данных *WGMS* (Zemp, et al., 2009; World ..., 2012) имеются только несинхронизированные однократные оценки высотно-площадных параметров. Средством частичного преодоления этого разрыва может быть, например, гипотеза устойчивости высотно-площадных параметров оледенения в течение 30-летнего интервала, а также изложенный в статье гидрологический метод расчета средних объемов ледникового стока, апробированный для бассейнов рек Северного Кавказа и на северном склоне Заилийского Алатау для периодов 1946–1975 и 1976–2004 гг. (Коновалов, Пиманкина, 2016).

Применение гидрологического метода регионального определения W_{gl}, P и E предполагается

Таблица 4. Годовой водный баланс для бассейнов рек Азии и Северного Кавказа (среднее за 30 лет)

Река	Гидропост	$\tilde{Z}_{bas}$	N_{gr}	F_{bas}	F_{gl}	R_m	$R_{\text{I–III}}$	P	E	R_c	W_{gl}	dR	E/P	η
				км^2		км^3						%		
Брахмапутра	Панду	3384	172*	405000	14113	619.6	40.0	719.0	162.0	635.4	37.6	2.6	22	0.80
Вахш	Комсомолабад	3600	2192*	29500	3824	18.85	1.37	26.30	11.1	19.81	3.21	5.1	42	0.72
Гунт	Хорог	4170	106*	13700	445	3.50	0.85	7.61	5.45	3.81	0.80	8.8	72	0.46
Зеравшан	Дупули	3100	13	10200	674	4.84	0.30	11.1	4.73	4.95	0.34	2.3	43	0.42
Шахдара	Хабост	4160	67*	4180	164	1.15	0.31	2.56	2.04	1.13	0.30	–1.8	80	0.45
Сох	Сарыканда	3480	5	2480	252	1.38	0.08	2.00	1.11	1.51	0.33	9.4	56	0.70
Исфайрам	Учкоргон	3240	2	2200	102	0.66	0.09	1.30	0.84	0.70	0.13	5.3	64	0.50
Акбура	Тулекен	3030	52*	2430	114	0.63	0.06	1.53	1.13	0.73	0.19	3.2	41	0.43
Пскем	Муллола	2690	3	2540	125	2.52	0.20	3.20	0.84	2.75	0.22	9.1	27	0.80
Язгулем	Мотравн	3920	99*	1940	311	1.14	0.34	0.96	0.78	1.15	0.64	1.4	81	0.82
Или	10 гп		10	2585	253	1.56	0.14	2.80	1.38	1.64	0.10	7.0	49	0.80
Терек	6 гп		6	7723	488	5.30	0.40	6.80	2.51	4.97	0.48	–6.4	37	0.78

Примечание. $\tilde{Z}_{bas}$ – средняя взвешенная высота водосбора выше гидропоста, м; N_{gr} – число классифицированных (*) либо структурированных групп; F_{bas} – площадь бассейна выше гидропоста; F_{gl} – площадь оледенения в бассейне; R_m – сток, измеренный на гидропосте; $R_{\text{I–III}}$ – объем стока в январе–марте; P – годовая сумма осадков в бассейне; E – годовой объем испарения; W_{gl} – ледниковый сток; R_c – сток как сумма правой части (1); dR – разность между R_m и R_c, $\eta = R_m/P$ – коэффициент стока.

далее в бассейнах рек снегово-ледникового типа формирования стока на территории Азии, Европы и Америки по данным в каталогах (RGI Consortium, 2017; World ..., 2012), но она затрудняется из-за несовместимости систем идентификации ледников.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках тем Госзадания Института географии РАН № 0148-2018-0008 и № 0148-2019-0004.

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state-ordered research themes of the Institute of Geography RAS nos. 0148-2018-0008 and 0148-2019-0004.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Барри Р.Г. Погода и климат в горах. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 311 с.

Боровикова Л.Н., Денисов Ю.М., Трофимова Е.Б., Шенцис И.Д. Математическое моделирование процесса стока горных рек // Тр. САНИГМИ. 1972. Вып. 61 (76). 150 с.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Коршунова Н.Н., Швец Н.В. Описание массива данных месячных сумм осадков, температуры воздуха и упругости водяного пара в воздухе на метеостанциях России / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620394. 2021. http://meteo.ru/data

Вилесов Е.Н. Динамика и современное состояние оледенения гор Казахстана. Алматы: Казак университети, 2016. 267 с.

Денисов Ю.М. Схема расчета гидрографа стока горных рек. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 103 с.

Денисов Ю.М., Боровикова Л.Н., Джураев А.Д., Ердякова И.Н. Расчет таяния снега и льда // Тр. САРНИГМИ. 1982. Вып. 94 (175). С. 20–39.

Каталог ледников СССР. Бассейн р. Гунт. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. Т. 14. Вып. 3. Ч. 15. 121 с.

Каталог ледников СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1967–1976. Т. 8. Ч. 3, 7–11; Т. 13. Вып. 2. Ч. 1; Т. 14. Вып. 1. Ч. 1, 9, 10; Вып. 3. Ч. 1–2, 7–10, 12, 15.

Коновалов В.Г. Изменения и репрезентативность параметров горного оледенения // Лёд и Снег. 2020. Т. 60 (2). С. 165–181.

Коновалов В.Г. Каталогизация горных ледников и генерализация их распределения по материалам дистанционного зондирования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т. 7. № 2. С. 43–54.

Коновалов В.Г. Пространственная экстраполяция и изменчивость характеристик климата на территории Центральной Азии // Изв. АН. Сер. геогр. 2003. № 5. С. 97–106.

Коновалов В.Г. Расчет и прогноз таяния ледников Средней Азии. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 231 с.

Коновалов В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Средней Азии. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 237 с.

Коновалов В.Г., Пиманкина Н.В. Пространственно-временно́е изменение составляющих водного баланса на северном склоне Заилийского Алатау // Лёд и Снег. 2016. Т. 56. № 4. С. 453–371.

Кренке А.Н. Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 287 с.

Кузьмин П.П. Процесс таяния снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1961. 345 с.

Ледник Абрамова. Л.: Гидрометеоиздат, 1980. 206 с.

Ледник Марух. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 253 с.

Рец Е.П., Фролова Н.Л., Поповнин В.В. Моделирование таяния поверхности горного ледника // Лёд и Снег. 2011. Т. 4 (116). С. 24–31.

Рыбак О.О., Рыбак Е.А., Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Морозова П.А. Калибровка математической модели динамики ледника Марух, Западный Кавказ // Лёд и Снег. 2015. № 2 (130). С. 9–20.

Рыбак О.О., Рыбак Е.А., Яицкая Н.А., Поповнин В.В., Лаврентьев И.И., Сатылканов Р., Жакеев Б. Модельные исследования эволюции горных ледников на примере ледника Сары-тор (Внутренний Тянь-Шань) // Криосфера Земли. 2019. Т. XXIII. № 3. С. 33–51.

Торопов П.А., Шестакова А.А., Смирнов А.М., Поповнин В.В. Оценка компонентов теплового баланса ледника Джанкуат (Центральный Кавказ) в период абляции в 2007–2015 годах // Криосфера Земли. 2018. Т. XXII. № 4. С. 42–54.

Anderson E.A. A point energy and mass balance model of snow cover. NOAA Tech. Report. NWS 19, Silver Spring, 1976. 150 p.

Bodo B.A. Monthly Discharges for 2400 Rivers and Streams of the former Soviet Union (FSU). Toronto, Canada. 2000. V. 1.0.

Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas // Int. J. of Climatol. 2017. V. 37 (12). P. 4302–4315.

Gardner A.S., Sharp M. Sensitivity of net mass-balance estimates to near-surface temperature lapse rates when employing the degree-day method to estimate glacier melt // Ann. Glaciol. 2009. 50(50). P. 80–86.

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

Hijmans R., Cameron S., Parra J., Jones P., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // Int. J. of Climatol. 2005. V. 25. P. 1965–1978.

Hock R. DEBAM and DETIM. Manual. 1999. https:// github.com/regine/meltmodel.git

Hock R., Holmgren B. A distributed surface energy-balance model for complex topography and its application to Stor glacier, Sweden // J. Glaciol. 2005. V. 51. № 172. P. 25–36.

Konovalov V.G. New approach to estimate water output from regional populations of mountain glaciers in Asia // Geogr. Env. Sustainabil. 2015. V. 8. № 2. P. 13–29.

Konovalov V.G. Snow line and formation of glacier-derived runoff in glacial basins. In: 34 selected papers on main ideas of the soviet glaciology, 1940s–1980s / V.M. Kotlyakov (Ed.). M., 1997. P. 402–410.

RGI Consortium. 2017. A Dataset of Global Glacier Outlines: Ver. 6.0. https://doi.org/10.7265/N5-RGI-60

Williams M.W., Konovalov V.G. Central Asia Temperature and Precipitation Data, 1879–2003. Boulder, Colorado: USA National Snow and Ice Data Center, 2008. http://nsidc.org/data/docs/noaa/g02174_central_asia_data/index.html

World glaciers Inventory. Compiled and made available by the World Glacier Monitoring Service, Zurich, Switzerland, and the National Snow and Ice Data Center, Boulder CO, USA. 2012. Digital Media. Download entire database from FTP: wgi_feb2012.csv

Xu C.-Y., Singh V.P. Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods // Hydrol. Proces. 1998. V. 12. P. 429–442.

Zemp M., Hoelzle M., Haeberli W. Six decades of glacier mass-balance observations: a review of the worldwide monitoring network // Annals of Glaciol. 2009. V. 50. P. 101–111.

Hydrological Regime of Mountain Glaciers at the Regional Scale

V. G. Konovalov*

[1]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: vladgeo@gmail.com*

For the river basins of the snow-glacial type of runoff formation, a scientific and informational basis developed for calculating components of the annual water balance equation (runoff, precipitation, evaporation, dynamic water reserves). It includes: (a) determination of the average and weighted average parameters of quasihomogeneous glacier groups by structuring or classifying the initial set of N_{gl} glaciers above the hydrological point; (b) recommendations for calculating specific layers of evaporation and precipitation, and average values of air temperature and water vapor pressure in air as a function of altitude; (c) composition of glacier surface types used for calculating water balance during the ablation period; (d) determining ablation, precipitation, and evaporation volumes for N_{gl} glaciers; (e) results of calculating the averages for 30-year time intervals of the water balance components, which related for 26 Eurasian river basins with glaciers area ranging from 102 to 14113 km^2. The deviation of the measured annual runoff from that calculated by the water balance equation ranged from –1.8 to 9.4%.

Keywords: water balance, glaciers runoff, Eurasia, modeling, glaciers classification, ablation, precipitation, evaporation

REFERENCES

Anderson E.A. *A Point Energy and Mass Balance Model of Snow Cover.* NOAA Tech. Report. NWS 19. U.S. Department of Commerce, NOAA, NWS, Office of Hydrology, 1976. 150 p.

Barri R.G. *Pogoda i klimat v gorakh* [Mountain Weather and Climate]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1984. 311 p.

Bodo B.A. *Monthly Discharges for 2400 Rivers and Streams of the former Soviet Union [FSU].* Toronto, 2000, v. 1.0.

Borovikova L.N., Denisov Yu.M., Trofimova E.B., Shentsis I.D. *Matematicheskoe modelirovanie protsessa stoka gornykh rek* [Mathematical Modelling of Runoff Formation Process for Mountain Rivers]. Tr. SANIGMI, vol. 61 (76). Leningrad: Gidrometeozidat, 1973. 151 p.

Bulygina O.N., Razuvaev V.N., Korshunova N.N., Shvets N.V. Description of database on monthly values of precipitation, air temperature and vapor pressure in the air at the meteostations of Russia. Database State Registration Certificate No. 2014621485. Available at: http://meteo.ru/data (accessed: 15.03.2021). (In Russ.).

Denisov Yu.M. *Skhema rascheta gidrografa stoka gornykh rek* [Scheme for Calculating the Hydrograph of Mountain River Runoff]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1965. 103 p.

Denisov Yu.M., Borovikova L.N., Dzhuraev A.D., Erdyakova I.N. Calculating of snow and ice melting. *Tr. SARNIGMI*, 1982, vol. 94 (175), pp. 20–39. (In Russ.).

Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 2017, vol. 37, no. 12, pp. 4302–4315.

Gardner A.S., Sharp M. Sensitivity of net mass-balance estimates to near-surface temperature lapse rates when employing the degree-day method to estimate glacier melt. *Ann. Glaciol.*, 2009, vol. 50, no. 50, pp. 80–86.

Harris I., Jones P.D., Osborn T.J., Lister D.H. Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 2014, vol. 34, no. 3, pp. 623–642.

Hijmans, R.J., Cameron S.E., Parra J.L., Jones P.G., Jarvis A. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *Int. J. Climatol.*, 2005, vol. 25, no. 15, pp. 1965–1978.

Hock R. DEBaM and DETIM. Manual. 1999. Available at: https://github.com/regine/meltmodel.git (accessed: 15.03.2021).

Hock R., Holmgren B. A distributed surface energy-balance model for complex topography and its application to Stor glacier, Sweden. *J. Glaciol.*, 2005, vol. 51, no. 172, pp. 25–36.

Katalog lednikov SSSR [Catalogue of the USSR Glaciers]. Vol. 14, no 3, part 15: *Bassein r. Gunt* [Gunt River Basin]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 121 p.

Katalog lednikov SSSR [Catalogue of the USSR Glaciers]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1967–1976, vol. 8, parts 3, 7–11; vol. 13, no. 2, part 1; vol. 14, no. 1, parts 1, 9, 10; no. 3, parts 1–2, 7–10, 12, 15.

Konovalov V.G. Cataloging mountain glaciers and generalizing of their distribution according to remote sensing data. *Sovrem. Probl. Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli Kosm.*, 2010, vol. 7, no. 2, pp. 43–54. (In Russ.).

Konovalov V.G. Changes and representativeness of mountain glaciation parameters. *Led i Sneg*, 2020, vol. 60, no. 2, pp. 165–181. (In Russ.).

Konovalov V.G. New approach to estimate water output from regional populations of mountain glaciers in Asia. *Geogr. Environ. Sustain.*, 2015, vol. 8, no. 2, pp. 13–29.

Konovalov V.G. *Raschet i prognoz tayaniya lednikov Srednei Asii* [Calculating and Forecast of Glaciers Melting in Central Asia]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1979. 231 p.

Konovalov V.G. Snow line and formation of glacier-derived runoff in glacial basins. In *34 Selected Papers on Main Ideas of The Soviet Glaciology, 1940s–1980s*. Kotlyakov V.M., Ed. Moscow, 1997, pp. 402–410.

Konovalov V.G. Spatial extrapolation and variability of climate characteristics in Central Asia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.,* 2003, no. 5, pp. 97–106. (In Russ.).

Konovalov V.G. *Tayanie i stok s lednikov basseinov rek Srednei Azii* [Melting and Glaciers Runoff in the Central Asia River Basins]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1985. 237 p.

Konovalov V.G., Pimankina N.V. Spatial-temporal change in the components of the water balance on the northern slope of the Zailiysky Alatau. *Led i Sneg*, 2016, vol. 56, no. 4, pp. 453–371. (In Russ.).

Krenke A.N. *Massoobmen v lednikovykh sistemakh na territorii SSSR* [Mass Transfer in Glacial Systems of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1982. 287 p.

Kuz'min P.P. *Protsess tayaniya snezhnogo pokrova* [Melting Process of Snow Cover]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1961. 345 p.

Lednik Abramova [Abramov Glacier]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1980. 206 p.

Lednik Marukh [Marukh Glacier]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1988. 253 p.

Rets E.P., Frolova H.L., Popovnin V.V. Modeling the melting surface of a mountain glacier. *Led i Sneg*, 2011, vol. 116, no. 4, pp. 24–31. (In Russ.).

RGI Consortium. Randolph Glacier Inventory – A Dataset of Global Glacier Outlines: Version 6.0: Technical Report, Global Land Ice Measurements from Space, Colorado, USA. Digital Media. 2017. doi 10.7265/N5-RGI-60

Rybak O.O., Rybak E.A., Kutuzov S.S., Lavrent'ev I.I., Morozova P.A. Calibration a mathematical model of the dynamics of Marukh glacier, Western Caucasus. *Led i Sneg,* 2015, vol. 130, no. 2, pp. 9–20. (In Russ.).

Rybak O.O., Rybak E.A., Yaitskaya N.A., Popovnin V.V., Lavrent'ev I.I., Satylkanov R., Zhakeev B. Model studies of the evolution of mountain glaciers by the example of the Sary-tor glacier (Inner Tien Shan). *Kriosfera Zemli*, 2019, vol. XXIII, no. 3, pp. 33–51. (In Russ.).

Toropov P.A., Shestakova A.A., Smirnov A.M., Popovnin V.V. Evaluation of components of the heat balance of the Dzhankuat glacier (Central Caucasus) during the ablation period in 2007–2015. *Kriosfera Zemli*, 2018, vol. XXII, no. 4, pp. 42–54. (In Russ.).

Vilesov E.N. *Dinamika i sovremennoe sostoyanie oledeneniya gor Kazakhstana* [Dynamics and Current State of Glaciation in the Mountains of Kazakhstan]. Almaty: Kazak Universiteti, 2016. 267 p.

Williams M.W., Konovalov V.G. *Central Asia Temperature and Precipitation Data, 1879-2003, Version 1.* Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center, 2008. doi 10.7265/N5NK3BZ8

World Glacier Inventory, Version 1. Boulder, Colorado USA: WGMS, and National Snow and Ice Data Center (comps.), 1999, updated 2012. doi 10.7265/N5/NSIDC-WGI-2012-02

Xu C.-Y., Singh V.P. Dependence of evaporation on meteorological variables at different time-scales and intercomparison of estimation methods. *Hydrol. Process.*, 1998, vol. 12, no. 3, pp. 429–442.

Zemp M., Hoelzle M., Haeberli W. Six decades of glacier mass-balance observations: A review of the worldwide monitoring network. *Ann. Glaciol.*, 2009, vol. 50, no. 50, pp. 101–111.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 380–391

ПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ДИНАМИКА ГЕОСИСТЕМ

УДК 551.583.1

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ КЛИМАТА ОКЕАНА С БАРИЦЕНТРИЧЕСКИМ ДВИЖЕНИЕМ СОЛНЦА

© 2021 г. Б. Г. Шерстюков*

Всероссийский НИИ гидрометеорологической информации – Мировой центр данных, Росгидромет, Обнинск, Россия

**e-mail: boris_sher@mail.ru*

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.
После доработки 19.02.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

Вращение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы рассматривается как возможный фактор колебаний климата. Земля следует за Солнцем в его барицентрическом движении. Динамическое воздействие этого движения на колебательную климатическую систему предложено оценивать циклическим изменением момента инерции барицентрического движения Солнца и Земли вместе с ним. По известным координатам орбитального движения планет-гигантов нами получены ежегодные значения момента инерции движения Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы за 1800–2050 гг. Использовались данные о среднегодовой температуре поверхности Мирового океана в узлах географической сетки Земли за 1960–2018 гг. Методом асинхронного корреляционного анализа обнаружены высокие значимые корреляции между моментом инерции барицентрического движения Солнца и изменениями среднегодовой температуры поверхности Мирового океана в местах основных океанических течений с запаздыванием температуры на 32–37 лет. Наилучшие положительные коэффициенты корреляции (от 0.4 до 0.7) наблюдались вдоль траекторий холодных течений – циркумполярного Антарктического, Перуанского и Калифорнийского, а отрицательные (от –0.4 до –0.7) обнаружены на теплых течениях (Восточно-Австралийском, Куросио, Северо-Атлантическом, Норвежском). Поверхностные изменения температуры оказались наиболее значимы в местах пересечения океаническими течениями подводных препятствий (подводные хребты и поднятия дна Мирового океана). Вклад изменений момента инерции движения Солнца вокруг центра масс Солнечной системы в изменения температуры поверхности океана в разных частях Мирового океана составил от 25 до 50% ее общей изменчивости. Предполагается, что циклические изменения момента инерции могут резонансно воздействовать на колебательную систему климата на ее избранных собственных частотах, близких к частотам внешних воздействий.

Ключевые слова: солнечная система, барицентрическое движение, температура океана, климат

DOI: 10.31857/S2587556621030146

ВВЕДЕНИЕ

Для объяснения причин колебаний климата часто привлекают гипотезы о космическом влиянии. Обсуждая реальность внешнего влияния, обычно ограничиваются сравнением огромной энергии наблюдаемых процессов в климатической системе с дополнительной малой переменной энергией, поступающей из космоса. При таком сравнении ответ на вопрос о реальности космико-земных связей всегда отрицательный. Переменная энергия действительно невелика, но при таком сравнении упускается важнейшее свойство климатической системы, определяющее другой механизм восприятия внешних воздействий, при котором не требуется большой энергии для влияния на климат.

Интерес представляют циклические космические воздействия на климатическую систему Земли. Признание того, что она обладает свойствами колебательной системы, ни у кого не вызывает возражений. Эта ее особенность кардинально влияет на восприимчивость ею внешних повторяющихся воздействий.

Поясним на простом примере. Аналогом простейшей колебательной системы является маятник (груз, подвешенный на нити). Период колебания маятника зависит только от длины его нити и не зависит от силы воздействий на него. Раскачать его можно слабыми повторяющимися воздействиями равной или соизмеримой частоты с его собственной частотой. Соизмеримыми называют частоты, которые имеют малые целочисленные соотношения между собой, например 1 : 2, 1 : 3, 2 : 3, 3 : 2 и т.д. На другой частоте раскачать этот маятник не удастся. Подобно маятнику колебательная климатическая система избирательно по

частоте воспринимает повторяющиеся внешние воздействия независимо от силы их воздействия. Такой механизм влияния космоса на климат принципиально отличается от тех механизмов, которые обычно подразумеваются в исследованиях космико-земных связей. Важна не столько величина энергии воздействия, сколько частота повторения таких воздействий.

Климатическая система обладает набором собственных частот и открыта для космоса. Его влияние на земные процессы складывается из повторяющихся циклических воздействий разной природы со своим широким набором частот. Принципиально важно при исследовании космико-земных связей учитывать, что колебательная климатическая система, по аналогии с маятником, способна воспринимать повторяющиеся воздействия космических сил только на частотах, равных ее собственным частотам, или на соизмеримых частотах.

В статье изложены новые результаты работы, которая является продолжением ранее выполненных исследований (Шерстюков, 2019).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Земля является частью Солнечной системы, в которой все объекты подвержены циклическим взаимодействиями. Колебательная климатическая система много тысячелетий подвергается слабым повторяющимся воздействиям из космоса. Нерешенным остается вопрос о чувствительности климатической системы к этим воздействиям. Согласно теории колебательных систем (Блехман, 1971), малая величина внешних сил воздействия на колебательную систему не является препятствием для модуляции в ней резонансных колебаний на соизмеримых частотах. Резонанс может возникнуть даже при предельно слабой связи между объектами, если слабость сил компенсируется многократным их воздействием. При постановке настоящих исследований предполагалось, что слабые повторяющиеся воздействия космических сил на Землю за многие сотни или тысячи лет способны раскачать в климатической системе колебания на избранных ее собственных частотах, соизмеримых с частотами космических воздействий.

Наиболее вероятным местом в климатической системе для возникновения резонансных колебаний является Мировой океан. Так, известно о существовании колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до порядка 1000 лет (Birchfield, 1994). Собственные частоты в разных частях и на разных глубинах Мирового океана различны и определяются физико-географическими условиями места (географической широтой, расстояниями до континентов, рельефом дна океана), а также плотностью воды и другими параметрами. На планете обязательно найдутся места, в которых собственные частоты океана окажутся соизмеримыми с частотами повторяющихся космических воздействий.

Теория взаимодействия колебательных систем снимает требование о необходимости энергетического соответствия космических вариаций и наблюдаемых колебаний климата. Это принципиальное положение дает основания сравнивать наблюдаемые изменения климата со слабыми долгоживущими космическими вариациями. Из всех характеристик космических и климатических вариаций для анализа необходимо выбрать те, которые в большей мере отражают свойства колебательных систем.

В климатической системе Мировой океан задает колебания климата атмосферы в масштабах времени внутри столетия и несколько больше, которые наиболее чувствительны для человека.

В Солнечной системе цикличностью обладают орбитальные вращения планет и солнечная активность. Анализ начнем с планет и океана.

При изучении причин колебаний климата неоднократно ставился вопрос о влиянии на него планет (Байдал, 1987; Белязо, 1999; Виноградова, 1990; Дмитриев, Белязо, 2006, 2011; Завалишин, Коваленко и др. 1987; Котляков, 2012; Монин, 2000). В этих работах отмечался циклический характер их влияния. Планеты и Солнце вращаются вокруг их общего центра масс, называемого барицентром Солнечной системы. Он не совпадает с центром Солнца, и возникает диссимметрия Солнечной системы (Shirley, Fairbridge, 1997). В работе (Коваленко и др., 1987) рассматривалось вращение Солнца вокруг общего центра масс Солнечной системы, смещенного относительно центра Солнца. При этом предполагалось, что при появлении диссимметрии происходит изменение расстояния Солнце–Земля. Следствием предполагаемого смещения Солнца внутри орбиты Земли считалось изменение длительности сезонов и перераспределение солнечной радиации внутри года, которые приводили к изменению среднегодовой температуры. Позднее в (Богданов, Сурков, 2004) было показано, что изменения инсоляции при диссимметрии Солнечной системы не могут повлиять на климат, но отмечено, что внешнее воздействие на Землю при диссимметрии не ограничивается переменной инсоляцией.

В (Котляков, 2012) климатические изменения связываются с изменениями состояния полярного вихря. Особенности его изменений объясняются изменениями солнечной активности и диссимметрии Солнечной системы. В (Монин, 2000) многодекадные климатические циклы связывались с большим циклом Солнечной системы, ко-

торый формируется повторением конфигурации взаимного расположения Солнца, Юпитера и Сатурна и от которой зависит расстояние от центра Солнца до барицентра Солнечной системы.

В (Гудкович и др., 2005) при анализе внутривековых климатических изменений ледовитости Евразийских арктических морей и некоторых других показателей климата Земли была обнаружена 60-летняя цикличность, которая также объяснялась колебаниями притока солнечной радиации, вызванными изменениями расстояния между Землей и Солнцем при диссиметрии солнечной системы, возникающей от движения трех тел: Солнца, Юпитера и Сатурна.

Аналогично в (Дмитриев, Белязо, 2011) вековые изменения атмосферной циркуляции Северного и Южного полушарий связывались с вековым циклом диссимметрии солнечной системы, и утверждалось, что связь реализуется через изменения расстояния Солнце–Земля под влиянием Урана.

В нашей статье предлагается проверить реальность другого возможного динамического механизма зависимости климатических характеристик от орбитального движения планет Солнечной системы, не связанного с изменением притока солнечной радиации к Земле.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

В работе использовались ряды многолетних месячных значений температуры поверхности океана (ТПО), массив ERSST v3b в узлах географической сетки 2° × 2° широты и долготы за 1854–2018 гг. (SST data, 2019)[1]. Массив данных ERSST v3b представляет собой восстановленные ряды месячных аномалий ТПО относительно норм за 1971–2000 гг. Восстановление пропущенных данных статистическими методами выполнено авторами массива. В отличие от версии ERSST v3, новая версия ERSST v3b не включает спутниковые данные, которые, как было установлено, вызывают слишком сильное смещение. Данные ТПО в узлах до 1960 г. получены по фрагментарным сведениям, особенно в высоких широтах, и являются ненадежными, поэтому они не использовались в настоящей работе. По месячным данным были вычислены среднегодовые значения ТПО.

За многолетнюю историю в среднегодовых значениях ТПО можно обнаружить колебания климата с разными периодами от нескольких лет до нескольких десятилетий, которые накладываются на медленный тренд потепления. Исключим линейный тренд потепления на интервале 1960–2018 гг. Полученные отклонения от тренда содержат многолетние колебания, которые предстоит исследовать.

В Солнечной системе планеты движутся по слабовозмущенным эллипсам вокруг Солнца. При грубом подходе принято считать, что система координат, центр которой совмещен с Солнцем, а оси направлены на звезды, выбранные соответствующим образом, является инерциальной. Инерциальной является система, которая неподвижна или совершает прямолинейное равномерное движение. Но на самом деле Солнце не стоит на месте, а совершает петлеобразное неравномерное движение в пространстве. Его траектория похожа на кардиоиду. Причина такого движения заключается в динамических воздействиях планет на Солнце. Планеты вращаются не вокруг центра Солнца, а каждая пара Солнце–планета стремится вращаться вокруг их общего центра масс, который смещен относительно центра Солнца. Солнце само перемещается в пространстве по некоторой траектории под воздействием орбитального вращения планет-гигантов вокруг их общего центра масс с Солнцем. В связи с этим правильнее считать инерциальной систему с началом координат в центре масс Солнечной системы (движение всей Солнечной системы в галактике не учитывается).

Как следует из уточненного 1-го закона Кеплера по Хлыстову с соавторами (2012), Земля движется вокруг Солнца, участвуя вместе с ним в движении вокруг барицентра Солнечной системы. Каждая большая планета вносит свой вклад в смещение Солнца относительно общего центра масс, а вместе они вынуждают Солнце двигаться в космическом пространстве по кардиоиде. Орбитальное вращение планет Земной группы с их малой массой не может заметно повлиять на центр масс всей системы, поэтому малые планеты синхронно повторяют замысловатые движения Солнца, обращаясь в то же время вокруг него. Вся орбита Земли, как единое целое, перемещается в космосе вокруг центра масс Солнечной системы. Дополнительные силы, возникающие на Земле при движении Земли вокруг барицентра, никогда не учитывались в исследованиях климата. Квазиритмические составляющие неравномерного движения пары Солнце–Земля по кардиоидам предположительно могут передавать часть своей энергии осевому вращению Земли и океаническим течениям вдоль широтных кругов вокруг Земли. Некоторые изменения скорости осевого вращения Земли, как следствие ритмичного движения Земли вокруг барицентра Солнечной системы, уже обнаружены (Вильсон, 2012). Всякий раз, когда в движении Солнца вокруг центра масс Солнечной системы наблюдается диссимметрия, происходит изменение в скорости вращения Земли (Вильсон, 2012). Те же силы могут воздействовать на зональную циркуляцию океана во всей его толще. Если

[1] Данные получены с веб-сайта ClimateDataGuide (https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b).

Таблица 1. Доля планеты в суммарном моменте барицентрического движения Солнца, % от момента инерции барицентрического движения Юпитера

Планета	Меркурий	Венера	Земля	Марс	Юпитер	Сатурн	Уран	Нептун
Вклад, %	0.00001	0.00099	0.00021	0.00157	100.0	100.1	63.1	198.8

эта гипотеза верна, тогда возникающие тенденции изменения в горизонтальных зональных составляющих океанических течений неизбежно отразятся на вертикальных движениях водных масс и на температуре поверхности океана.

Наиболее благоприятные условия для круговых океанических течений существуют в Южном океане вокруг Антарктиды, где вдоль широтных кругов нет препятствий в виде континентов. Изменения в океанических течениях также могут возникать как компенсационные к изменениям скорости вращения Земли для сохранения суммарного осевого момента вращения системы Земля–океан–атмосфера. В обоих случаях начальной причиной изменений в океанических течениях предположительно является изменение момента инерции движения Солнца и Земли вместе с ним вокруг барицентра Солнечной системы.

Количественной оценкой появления неучтенных сил при таком движении Солнца и Земли вместе с ним вокруг барицентра может служить суммарный момент инерции орбитального вращения планет-гигантов вокруг оси, проходящей через центр масс Солнечной системы. Этот момент является динамической характеристикой барицентрического движения Солнца. Земля следует за Солнцем и испытывает воздействие на нее тех же сил, которые возникают при барицентрическом движении Солнца. Предполагается, что именно изменение момента инерции вращения Солнца относительно барицентра является основой механизма появления возмущений в циркуляции океана. Проверка этого предположения осуществляется методом корреляционного анализа временных рядов момента инерции орбитального вращения планет-гигантов и данных о температуре поверхности океана в узлах географической сетки.

На любую заданную дату момент инерции J орбитального вращения планеты i массой m_i, находящейся на расстоянии r_i от оси вращения, можно вычислить:

$$J_i = m_i r_i^2, \quad (1)$$

где r_i – векторное гелиоцентрическое расстояние до планеты с учетом ее гелиоцентрической долготы (углового положения на орбите), характеризующей в каждый момент времени направление вектора момента инерции в заданной системе координат. Различиями между гелиоцентрическим и барицентрическим расстояниями до планет можно пренебречь, учитывая их малость по сравнению с самими расстояниями. Переменной величиной в (1) является направление вектора r.

Привлекая ежедневные астрономические данные, можно вычислить вектор момента инерции каждой планеты на заданную дату и разложить его на составляющие x_i и y_i,

$$j_i = \{x_i; y_i\}.$$

Затем просуммировать составляющие по заданным планетам за все сутки заданного года:

$$X = \sum_{k=1}^{365}\sum_{i=1}^{n} x_i, \quad Y = \sum_{k=1}^{365}\sum_{i=1}^{n} y_i, \quad (2)$$

где k – перебирает номера суток внутри года от 1 до 365.

В дальнейшем анализе будем использовать временной ряд, составленный из скалярных величин суммарного момента вращения планет-гигантов на каждый заданный год:

$$J = \sqrt{X^2 + Y^2}. \quad (3)$$

Подробнее расчетный метод описан в (Шерстюков, 2019). Погодичные ежесуточные значения гелиоцентрических долгот планет и расстояния от Солнца до планет получены из Института прикладной астрономии Российской академии наук (г. Санкт-Петербург). Основные принципы вычислений описаны в (Glebova et al, 2015).

Астрономические величины вычисляются с заведомо большой точностью на интервале нескольких столетий. Расстояния до планет были выражены в астрономических единицах, а массы планет – в долях массы Земли. Суммарные скалярные значения момента вращения планет вычислены по формулам (2)–(3) за 1700–2050 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Для сравнения вычислялись скалярные значения моментов инерции барицентрического движения планет. В табл. 1 приведены оценки вклада каждой отдельной планеты в суммарный момент барицентрического движения Солнца.

Из материалов табл. 1 следует, что планеты Земной группы практически не влияют на момент инерции вращения Солнечной системы, а четыре планеты-гиганта (Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун) дают вклады, сопоставимые между собой и на несколько порядков больше, чем планеты земной группы. Каждая отдельная планета-ги-

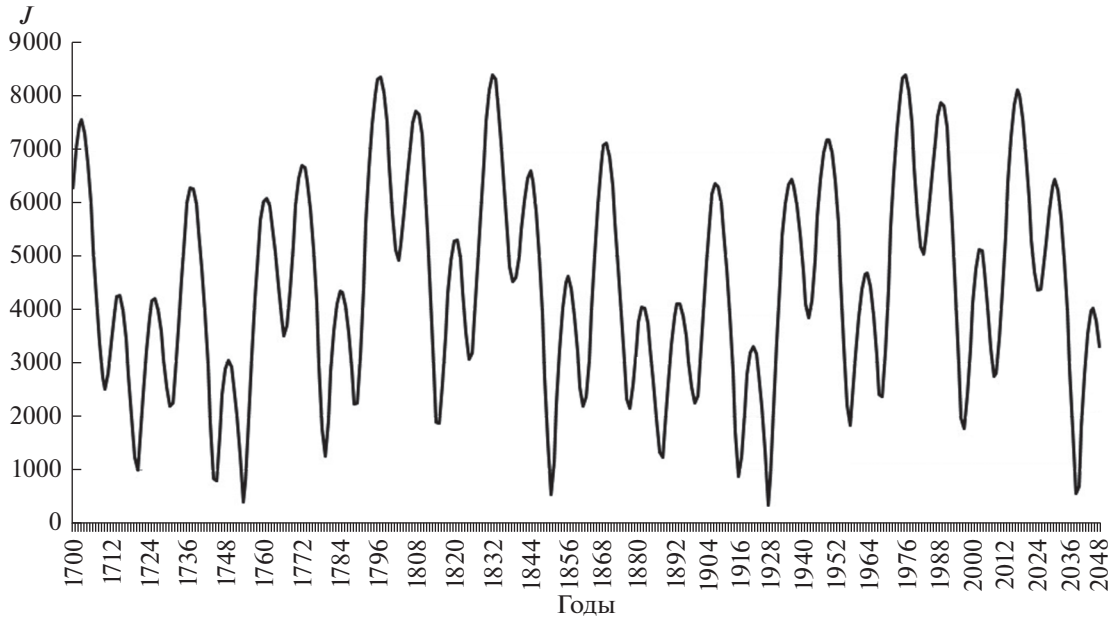

Рис. 1. Суммарный момент инерции вращения планет-гигантов относительно центра масс Солнечной системы.

гант придает Солнцу такое движение, при котором центр Солнца смещается относительно общего центра масс на величину меньше радиуса Солнца, но сочетание нескольких планет в одном секторе гелиоцентрических долгот приводит к смещению Солнца на величину больше двух радиусов Солнца (Хлыстов и др., 2012).

На рис. 1 приведены по годам вычисленные значения суммарного момента инерции вращения планет-гигантов относительно центра масс Солнечной системы.

На интервале 350 лет на рисунке видны повторяющиеся циклы момента инерции вращения длительностью около 12–13 и 37–39 лет.

Наличие минимумов в значениях суммарного момента в 1758 и 1937 гг. с интервалом 179 лет демонстрирует известный цикл барицентрического движения Солнца с периодом 178.77 года (Хлыстов и др., 2012).

Земля вовлекается в движение в космосе по кардиоиде вместе с барицентрическим движением Солнца (Хлыстов и др., 2012). Такое движение, как было сказано выше, может приводить к появлению зонального движения вокруг Земли жидкой и воздушной ее оболочек. Так как масса гидросферы почти в 300 раз больше массы атмосферы, то проявление неучтенных ранее сил следует ожидать, прежде всего, в возмущениях зональной циркуляции водных масс океана.

Возникновение резонансных возмущений в циркуляции океана возможно только на соизмеримых собственных региональных частотах характеристик океана с частотами повторяющихся воздействий космоса на Землю. Океан трехмерный, многочастотный. Частоты повторяющихся космических воздействий тоже распределены в широком диапазоне, близком к диапазону собственных частот Мирового океана. В этих условиях можно ожидать, что в океане обязательно найдутся частоты, соизмеримые с частотами космоса, которые обеспечат резонансную раскачку возмущений в океане. Пока не известно, на каких глубинах, и в каких районах Мирового океана собственные частоты океана соизмеримы с частотами момента инерции барицентрического вращения. По данным о ТПО в узлах географической сетки мы сможем отследить только поверхностные проявления этого механизма.

Существует глобальная система океанической циркуляции (Большой конвейер), которая перераспределяет тепло по всему миру. Теория Большого океанического конвейера утверждает, что региональные океанические течения объединены в одну общую систему (Broecker, 1991). Двигателем конвейера является термохалинная циркуляция. Большой конвейер океанических течений медленно переносит тепло и влагу из одних регионов и слоев океана в другие по сложным, не совсем понятным траекториям. Выход аномалий на поверхность океана в разных его частях возможен с запаздыванием в несколько лет или десятилетий. Допускается существование колебаний климата, связанных с ослаблением и усилением термохалинной циркуляции с периодами от нескольких лет до порядка 1000 лет (Лаппо, 1984; Лаппо и др., 2006; Broecker, 1991). Термохалинная циркуляция является глобальным явлением, рас-

пространяющимся на Атлантический, Индийский и Тихий океаны. Анализируя асинхронную ковариационную структуру климатических индексов, в работе (Smith et al., 2008) описывается распространение сигнала изменения температуры по всему Северному полушарию через последовательность многократных превращений асинхронных атмосферно-океанических дальних связей. По оценкам тех же авторов, первоначальный сигнал изменения температуры в Северной Атлантике, распространяясь, достигает удаленных регионов полушария примерно 30 лет спустя.

В (Бялко, 2012) на основе других подходов показано, что отклик состояния атмосферы на внешнее воздействие происходит с запаздыванием, которое определяется необходимым временем релаксации, свойственным всей климатической системе. Оптимальные значения такого времени релаксации, полученные в (Бялко, 2012), – 25.1–27.5 лет. Близкие оценки запаздывания обнаружены и при других циклических внешних воздействиях на океан. Так, в (Swingedouw et al., 2011) обнаружено влияние циклических изменений солнечной активности на Северо-Атлантическое колебание с запаздыванием в 40 лет в результате смещения зоны тропической конвекции в Тихом океане.

Учитывая возможное запаздывание распространения возмущений ТПО, о котором было сказано выше и величина которого заведомо не известна для каждого узла, исследуем асинхронные корреляции ТПО с J со сдвигами от 0 до 50 лет (изменения ТПО отстают от изменений J). В расчетах асинхронных коэффициентов корреляции при сдвигах ряда J не изменяется количество парных членов рядов, по которым вычисляется корреляция, так как сдвигаемый ряд J вычислен с начала XVIII в.

В каждом исследуемом узле из серии асинхронных коэффициентов корреляции ТПО с J при сдвигах от 0 до 50 выделялся один максимальный по модулю коэффициент корреляции R, и при нем фиксировалась величина L запаздывания колебаний ТПО в узле относительно колебаний J. Ранее в (Шерстюков, 2019) анализировались только наилучшие положительные асинхронные коэффициенты корреляций, при этом случаи высокой отрицательной корреляции выпали из рассмотрения. Второе отличие новых исследований заключается в оценках связей по исходным данным без сглаживания рядов по трехлетиям.

Для построения карты пространственного распределения максимальных коэффициентов корреляции были отобраны узлы только со значимыми коэффициентами корреляции $|R| \geq 0.40$ (вероятность случайности менее 5%). В узле для каждого наилучшего асинхронного коэффициента корреляции был известен сдвиг, при котором этот наилучший коэффициент получен. Узлы с $|R| \leq 0.39$ исключались из дальнейшего анализа. Анализ карты коэффициентов и сдвигов при них показал, что наиболее обширные поля значимых положительных и отрицательных асинхронных коэффициентов корреляции $|R| \geq 0.40$ наблюдаются при запаздываниях 32–37 лет. На карту (рис. 2) вынесены поля коэффициентов корреляции, модули которых оказались максимальными при сдвигах 32–37 лет. На этой карте максимальный положительный коэффициент составил $R = 0.73$, а максимальный по модулю отрицательный коэффициент корреляции оказался $R = -0.71$. Стрелками на рис. 2 показаны местоположения и направления основных океанических течений.

На рис. 2 четко видны обширные поля положительных и отрицательных значимых корреляций. В Южном полушарии от широт 45°–50° ю.ш. и южнее до самой Антарктиды почти все пространство в Тихом океане от его западной до восточной границы занимает на карте поле положительных корреляций. Здесь положительные корреляции покрывают область самого мощного на Земле холодного Антарктического течения. Запаздывание изменений ТПО относительно J в южной части Тихого океана составляет 32–35 лет. Затем поле положительных корреляций с запаздыванием 35–36 лет распространяется в сторону умеренных южных широт и вдоль западного побережья Южной Америки охватывает область холодного Перуанского течения, которое является ответвлением от Антарктического течения. Еще ближе к экватору с запаздыванием 37 лет поле положительных корреляций охватывает область Южно-Пассатного течения.

Обширное поле отрицательных корреляций в южных широтах Тихого океана протянулось от берегов Австралии на восток до 120° з.д. Запаздывание изменений ТПО относительно J составляет 35 лет вблизи Австралии и 36 лет на долготах от 180° в.д. до 135° з.д. Это поле отрицательных корреляций приходится на теплое Восточно-Австралийское течение. Выявление полей высоких отрицательных корреляций является принципиальным уточнением результатов, изложенных в (Шерстюков, 2019).

В Северном полушарии в Тихом океане область положительных корреляций совпадает с районом холодного Калифорнийского течения вдоль западного побережья Северной Америки, направленного на юго-запад, которое затем переходит в Северо-Пассатное течение. Запаздывание здесь составляет 35 лет. А поле отрицательных корреляций вытянулось от Филиппинского моря на северо-восток вдоль теплого течения Куросио до центральной части северной половины Тихого океана. Запаздывание здесь составило 35–37 лет.

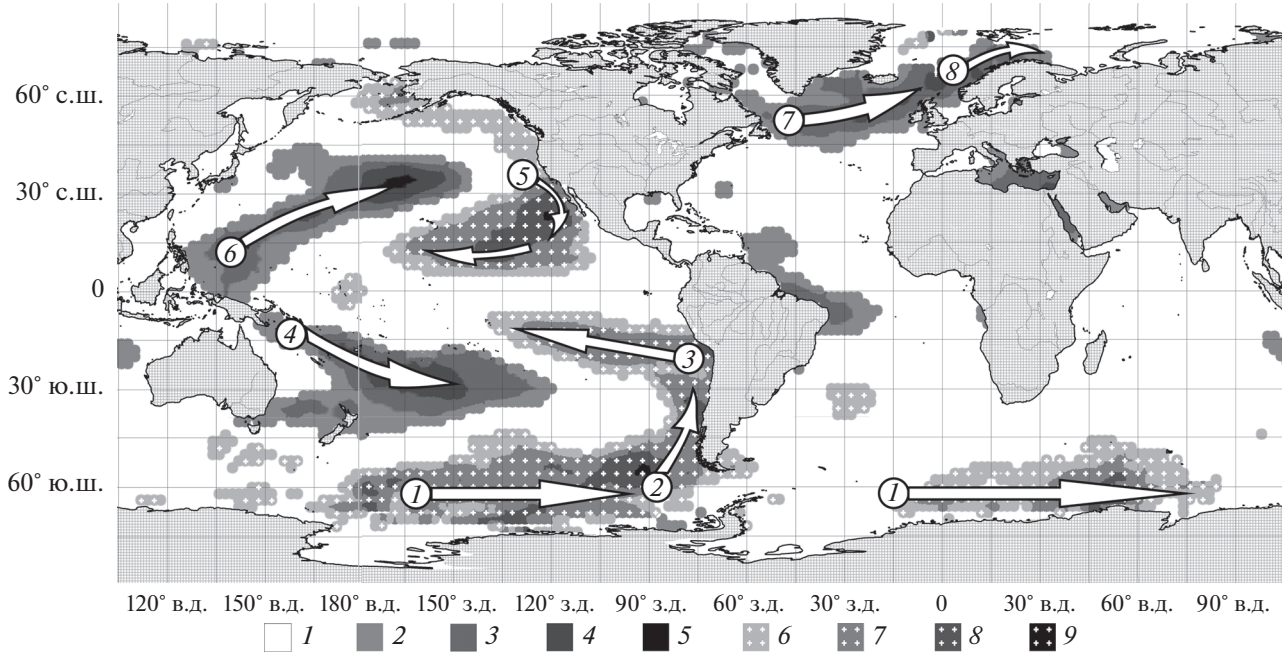

Рис. 2. Поля значимых асинхронных положительных и отрицательных коэффициентов корреляции между *J* и ТПО со сдвигами 32–37 лет. Узлы с положительной корреляцией помечены знаком "+". На карте поля коэффициентов корреляции затемнены по интервалам: 1) –0.39...+0.39; 2) –0.40...–0.49; 3) –0.50...–0.59; 4) –0.60...–0.69; 5) ≤–0.70; 6) 0.40–0.49; 7) 0.50–0.59; 8) 0.60–0.69; 9) ≥0.70. Стрелками показаны океанические течения: *1* – Антарктическое циркумполярное; *2* – Перуанское; *3* – Южно-Пассатное; *4* – Восточно-Австралийское; *5* – Калифорнийское и Северо-Пассатное; *6* – Куросио; *7* – Северо-Атлантическое; *8* – Норвежское.

Увеличение момента инерции на всех холодных течениях сопровождается повышением ТПО, а на теплых течениях – понижением ТПО.

В Атлантическом и Индийском океанах положительные корреляции между *J* и ТПО наблюдаются только в Южном полушарии и опять в области Антарктического течения с запаздыванием изменений ТПО на 35 лет.

Отрицательные корреляции между *J* и ТПО в Атлантике наблюдаются в Северном полушарии в области Северо-Атлантического течения с запаздыванием 35 лет, в области Норвежского течения с запаздыванием 36–37 лет и в Южном полушарии в приэкваториальной части вблизи Южной Америки в области Гвианского течения с запаздыванием 35 лет.

В указанных районах океанов, с отрицательными корреляциями между ТПО и J при сдвигах на 35–37 лет, ранее в работе (Шерстюков, 2019) были отмечены положительные корреляции при сдвигах 16–18 лет. В этом нет противоречия. Наличие циклов 35–37 лет в значениях анализируемых рядов объясняет смену знака корреляций при сдвиге на полпериода. При сравнении по модулю величин коэффициентов асинхронной корреляции с указанными сдвигами обнаружено, что отрицательные коэффициенты корреляции при сдвигах 35–37 лет по модулю больше положительных коэффициентов при сдвигах 16–18 лет в тех же районах в области течения Куросио, Восточно-Австралийского течения и в областях Северо-Атлантического и Норвежского течений. Это означает, что после изменений момента инерции барицентрического движения Солнца через 35–37 лет в разных частях мирового океана одновременно возникают изменения ТПО разного знака. На холодных течениях ТПО повышается, а на теплых течениях ТПО понижается.

На рис. 3 в качестве примеров показаны многолетние изменения момента инерции и ТПО на оси холодного Антарктического течения в Тихом (см. рис. 3а) и в Индийском (см. рис. 3в) океанах в Южном полушарии Земли, а также в Северном полушарии – на оси холодного Калифорнийского течения (см. рис. 3б).

Географические узлы для демонстрации типичных связей выбраны по рис. 2 в пределах трех очагов тесных положительных корреляций ($R > 0.7$) произвольно. На рис. 3 ось времени соответствует значениям ТПО и единая для всех трех графиков. Но время запаздывания реакции ТПО на изменения момента инерции разное в трех океанах. Для наглядного сопоставления графики изменения момента инерции сдвинуты вправо на характерную величину запаздывания реакции ТПО. На Антарктическом течении в Тихом океане запаздывание со-

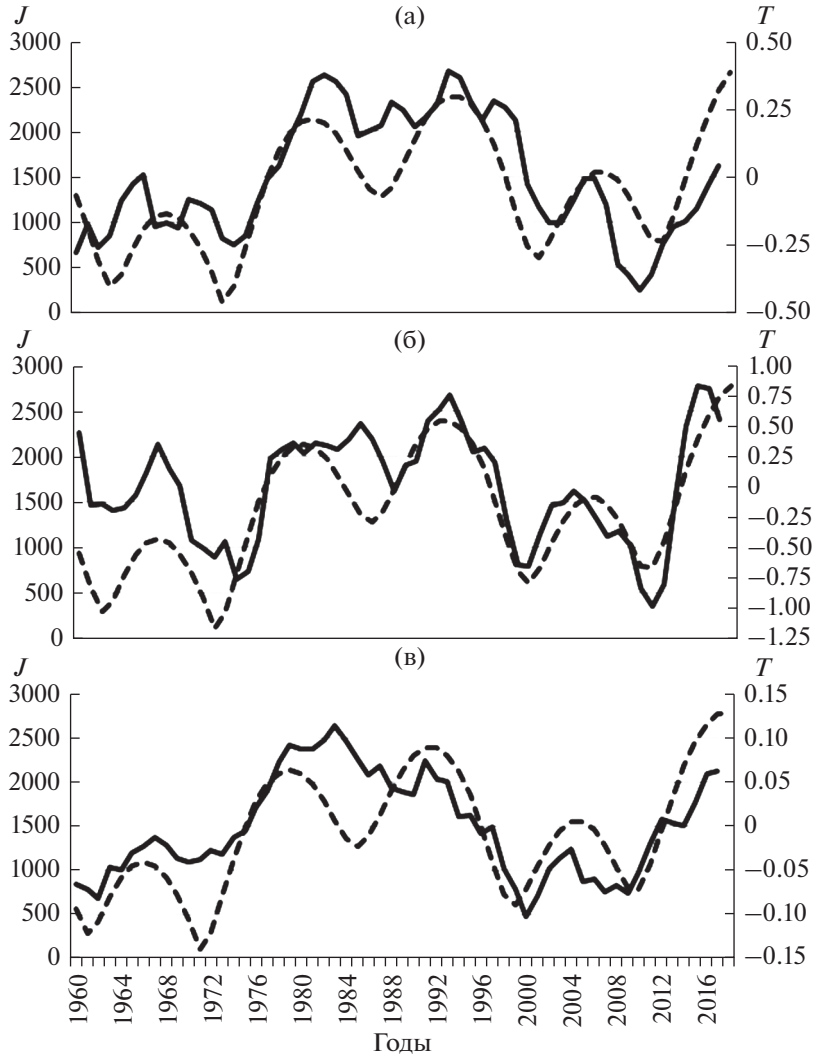

Рис. 3. Изменение момента инерции движения пары Солнце–Земля вокруг общего центра масс Солнечной системы (пунктир) и изменение температуры поверхности океана в районах океанических течений: (а) Антарктическое в Тихом океане 56° с.ш., 92° з.д.; (б) Калифорнийское 22° с.ш., 120° з.д.; (в) Антарктическое в Индийском океане 64° ю.ш., 50° в.д.

ставило 36 лет, в Индийском океане – 34 года, на Калифорнийском течении – 35 лет.

Обнаружены также важные особенности корреляций в связи с рельефом дна Мирового океана. На рис. 2 можно заметить повышенные коэффициенты корреляции ТПО с J в Индийском океане там, где ось Антарктического течения проходит над Африканско-Антарктической глубокой котловиной с запада на восток и упирается на глубинах в отрог Австрало-Антарктического поднятия, образующего гряду островов Хёрд и Кергелен на широтах 50°–65° ю.ш. в долготном интервале от 30° в.д. до 85° в.д. В Тихом океане максимальные корреляции наблюдаются над Восточно-Тихоокеанским поднятием (на широтах 45°–60° ю.ш. в интервале 80°–110° з.д.), в Атлантическом океане – у южной оконечности Южно-Атлантического хребта (на широтах 60°–65° ю.ш. в долготном интервале 10° з.д.–15° в.д.).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты показывают, что с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца и Земли вместе с ним связаны изменения глобальной океанической циркуляции, проявления которых видны в изменениях температуры на поверхности океанов. Эти изменения наилучшим образом проявляются вдоль траекторий основных океанических течений Мирового океана.

Из всех упомянутых течений наиболее показательными являются в Южном полушарии самое мощное циркумполярное Антарктическое тече-

ние и его ответвление – Перуанское течение, переходящее в Южно-Пассатное течение. В Северном полушарии с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца связаны Калифорнийское течение в Тихом океане, переходящее в Северо-Пассатное течение, а в Атлантическом океане – северное продолжение Гольфстрима под названием Северо-Атлантическое течение и Норвежское течение. На самом Гольфстриме не обнаружено изменений ТПО, связанных с барицентрическим движением Солнца.

Южный океан с его циркумполярным течением – это единственное место на Земле, в котором континенты не мешают появлению зонального океанического течения вокруг Земли. Циркумполярное Антарктическое течение охватывает значительные территории от умеренного пояса Южного полушария до берегов Антарктиды. Известно, что в ряде районов Южного океана поток включает всю массу вод до океанского дна (Жуков, 1976). Западными ветрами такую особенность объяснить невозможно, несмотря на то, что Антарктическое течение называют течением Западных ветров. Западно-восточный поток циркумполярного течения Антарктики является объединяющим звеном для обмена водными массами на всех глубинах между основными океаническими бассейнами мира (White, Peterson, 1996). В значениях атмосферного давления на уровне моря, в скорости ветра, в ТПО и в протяженности морского льда над Южным океаном выявлены значительные межгодовые изменения. При этом отмечается, что возникают аномалии вдоль всего циркумполярного течения. По мнению авторов, эта система связанных аномалий имеет важное значение в динамике климата, как в Южном океане, так и за его пределами.

Протяженное поле высоких корреляций между J и ТПО в области квазизонального циркумполярного течения вокруг Антарктиды в Тихом, Атлантическом и Индийских океанах, с одинаковым временем запаздывания в трех океанах, позволяет предположить, что в Южном океане берет начало единый процесс формирования аномалий ТПО Мирового океана при изменениях J. На разных участках Антарктического течения вклад изменений J в изменения ТПО составляет от 25 до 50% общей изменчивости ТПО. В то же время аналогичные процессы с квазизональными течениями возникают в Северном полушарии, наиболее заметные в Атлантике в области Северо-Атлантического и Норвежского течений. Если изменение момента инерции барицентрического движения Солнца способствует в большей мере изменениям в зональных течениях, тогда можно предположить, что эффект не обнаружен на течении Гольфстрим по причине его меридиональной направленности.

Высокие корреляции ТПО с J в местах основных океанических течений показывают, что изменение момента инерции в барицентрическом движении Солнца и Земли вместе с ним создает в Мировом океане неучтенные ранее внешние силы, которые влияют на динамику течений в Большом океаническом конвейере. Этот результат совпадает с выводом (Бялко, 2012) о том, что теплообмен Большого конвейера представляет собой первичное физическое явление, непосредственно реагирующее на вариации астрономических параметров.

Усиление корреляций ТПО с J в географических узлах на пересечениях океаническими течениями препятствий, в виде подводных хребтов и поднятий дна океана, можно объяснить воздействием массовых сил, при изменении J, на всю толщу океана, включая глубинные течения. А проявление эффекта на поверхности океана объясняется усилением вертикального обмена в океане вблизи препятствий на пути течений.

ВЫВОДЫ

1. Циклическое движение Солнца и Земли вместе с ним вокруг общего центра масс Солнечной системы сопровождается изменениями температуры поверхности Мирового океана вдоль траекторий основных поверхностных океанических течений, являющихся частью глобальной океанической циркуляции. В разных частях Мирового океана на основных течениях вклад изменений момента инерции в изменения ТПО составляет от 25 до 50% общей изменчивости ТПО.

2. Изменение момента инерции в движении Солнца создает на Земле в Мировом океане неучтенные ранее внешние силы, которые влияют на динамику течений в Большом океаническом конвейере.

3. Изменение температуры на поверхности океана появляется через 32–37 лет после подобных изменений момента инерции движения Солнца вокруг центра масс Солнечной системы.

4. Наилучшие асинхронные корреляции изменений поверхностной температуры океана с изменениями момента инерции барицентрического движения Солнца наблюдаются в тех районах Мирового океана, в которых глубинные течения встречают препятствия на своем пути в виде подводных хребтов и поднятий дна океана или в виде гряды островов.

5. Влияние подводных препятствий на обнаруженные эффекты является косвенным свидетельством проявления массовых сил динамического космического воздействия на глубинные течения Мирового океана, составляющих Большой океанический конвейер. Запаздывание эффекта на поверхности океана объясняется временем, необ-

ходимым для вертикального переноса возмущений из нижележащих слоев.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проекты 18-05-00721, 18-45-160006 и 20-5500014.

FUNDING

The research was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research, projects nos. 18-05-00721, 18-45-160006, and 20-5500014.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Байдал М.Х. О временной сопряженности некоторых климатических характеристик с внешними факторами // Тр. ВНИИГМИ МЦД. 1987. Вып. 141. С. 23–28.

Белязо В.А. Планетные циклы в колебаниях атмосферной циркуляции и их проявление в некоторых процессах Арктики // Тр. ААНИИ. 1999. Т. 441. С. 46–51.

Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. лит-ры, 1971. 894 с.

Богданов М.Б. Сурков А.Н. О возможности влияния движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы на изменение климата // Изв. Саратовского ун-та. 2004. Т. 4. Вып. 1–2. С. 146–148.

Бялко А.В. Релаксационная теория климата // Успехи физ. наук. 2012. Т. 182. № 1. С. 111–116.

Вильсон Ян Р.Г. Изменение во вращении Земли относительно барицентра и климатический эффект // Современные глобальные изменения природной среды / отв. ред. Н.С. Касимов и Р.К. Клиге. М.: Научный мир, 2012. Т. 3. Факторы глобальных изменений. С. 78–102.

Гудкович З.М., Карклин В.П., Фролов И.Е. Внутривековые изменения климата, площади ледяного покрова Евразийских арктических морей и их возможные причины // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 5–14.

Дмитриев А.А., Белязо В.А. Космос, планетарная климатическая изменчивость и атмосфера полярных регионов. СПб.: Гидрометеоиздат, 2006. 360 с.

Дмитриев А.А., Белязо В.А. Ритмика атмосферной циркуляции приполярных районов Атлантического океана и их космико-геофизическая обусловленность // Уч. зап. Рос. гос. гидромет. ун-та. 2011. № 19. С. 86–100.

Жуков Л.А. Общая океанология / под ред. Ю.П. Доронина. Л.: Гидрометеоиздат, 1976. 376 с.

Завалишин Н.Н., Виноградова Г.М. О связи аномалий месячных температур воздуха с циклом Хейла и динамикой расстояния Солнце–Земля // Тр. СибНИГМИ. 1990. Вып. 93. С. 25 – 32.

Коваленко В.Д., Кизим Л.Д., Пашестюк А.М., Николаев В.Г. Исследование причин изменчивости климата // Агроклиматические ресурсы Сибири: Сб. трудов ВАСХНИЛ Сиб. отд. Новосибирск, 1987. С. 103–113.

Котляков В.М. О причинах и следствиях современных изменений климата // Солнечно-Земная физика. 2012. Вып. 21. С. 110–114.

Лаппо С.С. К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане // Исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы. М., 1984. С. 125–129.

Лаппо С.С., Добролюбов С.А., Лозовацкий И.Д., Морозов Е.Г., Соков А.В., Шаповалов С.М. Трансформация вод антарктического происхождения и меридиональный перенос в Атлантике к северу от экватора по данным квази-зонального разреза 2000 г. // Фундаментальные исследования океанов и морей. М.: Наука, 2006. Т. 1. С. 15–32.

Монин А.С. Влияние планет на климат Земли. М.: Научный мир. МГУ. 2000. С. 122–128.

Хлыстов А.И., Долгачев В.П., Доможилова Л.М. Барицентрическое движение Солнца и его следствия для Солнечной системы // Современные глобальные изменения природной среды / отв. ред. Н.С. Касимов и Р.К. Клиге. М.: Научный мир, 2012. Т. 3. Факторы глобальных изменений. С. 62–77.

Шерстюков Б.Г. Момент инерции движения Солнца относительно центра масс Солнечной системы и долгопериодные колебания температуры поверхности океана // Тр. ВНИИГМИ-МЦД. Обнинск, 2019. Вып. 184. С. 80–93.

Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J. Century/millennium internal climate oscillations in an ocean–atmosphere–continental ice sheet model // J. Geophys. Res. 1994. V. 99. Iss. 6. P. 12459–12470.

Broecker W.S. The great ocean conveyor // Oceanography, 1991. V. 4 (2). P. 79–89.

Glebova N., Lukashova M., Netsvetaeva G., Sveshinikov M., Skipnichenko V. Russian astronomical ephemeris editions and software // Proceedings of the Journées 2014 “Systèmes de Référence Spatio-Temporels” / Z. Malkin and N. Capitaine (Eds.). Pulkovo observatory. 2015. P. 252–253.

Shirley J.H., Fairbridge R.W. Barycenter. In: Encyclopedia of Planetary Science / Encyclopedia of Earth Science. Dordrecht: Springer, 1997. https://doi.org/10.1007/1-4020-4520-4_38

SST data: NOAA Extended Reconstruction SSTs, version 3 (ERSSTv3 & 3b). https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b (дата обращения 03.09.2019).

Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J. Improvements NOAAs Historical Merged Land–Ocean Temp Analysis (1880–2006) // J. of Climate. 2008. V. 21. P. 2283–2296.

Swingedouw D., Terray L., Cassou C., Voldoire A., Salas-Melia D., Servonnat J. Natural forcing of climate during the last millenium: Fingerprint of solar variability. Low frequency solar forcing and NAO // Clim. Dynamics. Springer, 2011. V. 36. P. 1349–1364.

White W.B., Peterson R.G. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent // Nature. 1996. V. 380. P. 699–702.

Dynamic Synchronization of Ocean Climate Fluctuations with the Barycentric Movement of the Sun

B. G. Sherstyukov*

All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information–World Data Center, Roshydromet, Obninsk, Russia
**e-mail: boris_sher@mail.ru*

The Sun rotation around the center of mass of the Solar System is considered as a possible factor of climate fluctuations. Earth follows the Sun in its barycentric motion. It is proposed to evaluate the dynamic effect of this movement on the oscillatory climate system by cyclic changes in the moment of inertia of the barycentric movement of the Sun–Earth pair. Based on the known coordinates of the orbital motion of the giant planets, the annual values of the moment of inertia of the Sun's motion around the center of mass of the Solar System for 1800–2050 are obtained. We used data on the average annual surface temperature of the oceans at the nodes of the geographic grid of the Earth for 1960–2018. By the method of asynchronous correlation analysis, high significant correlations were found between the moment of inertia of the barycentric movement of the Sun–Earth pair and changes in the average annual temperature of the surface of the World Ocean in places of major ocean currents with a temperature delay of 32–37 years. The best positive correlation coefficients (from 0.4 to 0.7) were observed along the trajectories of cold currents—circumpolar Antarctic current, Peruvian and California currents, and negative (from –0.4 to –0.7) were found in warm currents—East Australian, Kuroshio, North Atlantic, Norwegian. Surface changes in temperature turned out to be most significant at the places where ocean currents cross underwater obstacles (underwater ridges and uplifts of the bottom of the oceans). The contribution of the changes in the motion of the Sun–Earth pair around the center of mass of the Solar System to changes in the temperature of the ocean surface in different parts of the World Ocean comprised from 25 to 50% of its total variability. It is assumed that cyclic changes in the moment of inertia can resonantly affect on the climatic oscillatory system on natural frequencies of climatic system close to the frequencies of external influences.

Keywords: solar system, barycentric movement, ocean temperature, climate

REFERENCES

Baidal M.Kh. On the temporal conjugation of some climatic characteristics with external factors. *Tr. VNIIGMI MTsD*, 1987, vol. 141, pp. 23–28. (In Russ.).

Belyazo V.A. Planetary cycles in atmospheric circulation fluctuations and their manifestation in some processes of the Arctic. *Tr. AANII*, 1999, vol. 441, pp. 46–51. (In Russ.).

Birchfield G.E., Wang H.X., Rich J.J. Century/millennium internal climate oscillations in an ocean–atmosphere–continental ice sheet model. *J. Geophys. Res.*, 1994, vol. 99, no. C6, pp. 12459–12470. doi 10.1029/94JC00523

Blekhman I.I. *Sinkhronizatsiya dinamicheskikh sistem* [Synchronization of Dynamic Systems]. Moscow: Nauka Publ., 1971. 894 p.

Bogdanov M.B. Surkov A.N. On the possibility of the influence of the movement of the sun relative to the center of mass of the solar system on climate change. *Izv. Saratov. Univ.* 2004, vol. 4, nos. 1–2, pp. 146–148. (In Russ.).

Broecker W.S. The great ocean conveyor. *Oceanography,* 1991, vol. 4, pp. 79–89.

Byalko A.V. Relaxation theory of climate. *Usp. Fiz. Nauk*, 2012, vol. 182, no. 1, pp. 111–116. (In Russ.).

Dmitriev A.A., Belyazo V.A. *Kosmos, planetarnaya klimaticheskaya izmenchivost' i atmosfera polyarnykh regionov* [Space, Planetary Climate Variability and the Atmosphere of the Polar Regions]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2006. 360 p.

Dmitriev A.A., Belyazo V.A. Atmospheric circulation rhythm of the polar regions of the Atlantic Ocean and their space-geophysical conditioning. *Uch. Zap. Ross. Gos. Gidromet. Univ.*, 2011, no. 19, pp. 86–100. (In Russ.).

Glebova N., Lukashova M., Netsvetaeva G., Sveshinikov M., Skipnichenko V. Russian astronomical ephemeris editions and software. In *Proc. of the Journées 2014 "Systèmes de Référence Spatio-Temporels"*. Malkin Z., Capitaine N., Eds. Pulkovo Observatory, 2015, pp. 252–253.

Gudkovich Z.M., Karklin V.P., Frolov I.E. Intra-century climate changes, ice cover of the Eurasian Arctic seas and their possible cause. *Meteorol. Gidrol.*, 2005, no. 6, pp. 5–14. (In Russ.).

Khlystov A.I., Dolgachev V.P., Domozhilova L.M. Barycentric motion of the Sun and its consequences for the Solar system. In *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoi sredy* [Modern Global Changes in the Natural Environment]. Vol. 3: *Faktory global'nykh izmenenii* [Factors of Global Change]. Kasimov N.S., Klige R.K., Eds. Moscow: Nauchn. Mir Publ., 2012, pp. 62–77. (In Russ.).

Kotlyakov V.M. On the causes and consequences of modern climate change. *Solnechno-Zemnaya Fizika*, 2012, no. 21, pp. 110–114. (In Russ.).

Kovalenko V.D., Kizim L.D., Pashestyuk A.M., Nikolaev V.G. Investigation of the causes of climate variability. In *Agroklimaticheskie resursy Sibiri* [Agroclimatic Resources of Siberia]. Novosibirsk, 1987, pp. 103–113. (In Russ.).

Lappo S.S. On the causes of advection of heat to the north through the equator in the Atlantic ocean. In *Issledo-*

vanie protsessov vzaimodeistviya okeana i atmosfery [Study of Ocean-Atmosphere Interaction Processes]. Moscow, 1984, pp. 125–129. (In Russ.).

Lappo S.S., Dobrolyubov S.A., Lozovatskii, I.D., Morozov E.G., Sokov A.V., Shapovalov S.M. Water transformation of Antarctic origin and meridional transport in the Atlantic north of the equator according to the quasizonal section of 2000. In *Fundamental'nye issledovaniya okeanov i morei* [Fundamental Research of Oceans and Seas]. Moscow: Nauka Publ., 2006, vol. 1, pp. 15–32. (In Russ.).

Monin A.S. The influence of planets on the Earth's climate. In *Global'nye izmeneniya prirodnoi sredy (klimat i vodnyi rezhim)* [Global Changes in the Natural Environment (Climate and Water Regime)]. Moscow: Nauchn. Mir. Publ., 2000, pp. 122–128. (In Russ.).

Sherstyukov B.G. The moment of inertia of the Sun's movement relative to the center of the Solar System mass and long-term fluctuations in the temperature of the ocean surface. *Tr. VNIIGMI MTsD*, 1987, vol. 184, pp. 80–93. (In Russ.).

Shirley J.H., Fairbridge R.W. Barycenter. In *Encyclopedia of Planetary Science*. Encyclopedia of Earth Science. Dordrecht: Springer, 1994, pp. 62–63. doi 10.1007/1-4020-4520-4_38

Smith T.M., Reynolds R.W., Peterson T.C., Lawrimore J. Improvements NOAAs historical merged land–ocean temp analysis (1880–2006). *J. Clim.*, 1994, vol. 21, pp. 2283–2296.

Swingedouw D., Terray L., Cassou C., Voldoire A., Salas-Melia D., Servonnat J. Natural forcing of climate during the last millenium: Fingerprint of solar variability. *Clim. Dyn.*, 2011, vol. 36, pp. 1349–1364.

The Climate Data Guide: SST data: NOAA Extended Reconstruction SSTs, version 3 (ERSSTv3 & 3b). Huang B., Livermore J., Smith T., National Center for Atmospheric Research Staff, Eds. Available at: https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/sst-data-noaa-extended-reconstruction-ssts-version-3-ersstv3-3b. (accessed 03.09.2019).

White W.B., Peterson R.G. An Antarctic circumpolar wave in surface pressure, wind, temperature and sea-ice extent. *Nature*, 1996, vol. 380, no. 6576, pp. 699–702.

Wilson J.R.G. Change in the Earth's rotation relative to the barycenter and the climatic effect. In *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoi sredy* [Modern Global Changes in the Natural Environment]. Vol. 3: *Faktory global'nykh izmenenii* [Factors of Global Change]. Kasimov N.S., Klige R.K., Eds. Moscow: Nauchn. Mir Publ., 2012, pp. 78–102. (In Russ.).

Zavalishin N.N., Vinogradova G.M. On the connection of monthly air temperature anomalies with the Hale cycle and the dynamics of the Sun - Earth distance. In *Tr. Sibirskogo regional'nogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta* [Proceedings of the Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute]. Novosibirsk: SO RAN, 1990, vol. 93, pp. 25–32. (In Russ.).

Zhukov L.A. *Obshchaya okeanologiya* [General Oceanology]. Doronin Yu.P., Ed. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1976. 376 p.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 392–404

ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ

*УДК 630*424.1:630*423.5(235.222)*

ОЦЕНКА МЕТОДОВ ДЕНДРОИНДИКАЦИИ ПРИ ДАТИРОВАНИИ ЭКЗОГЕННЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРОШЛОГО В ВЕРХОВЬЯХ р. АКТРУ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

© 2021 г. С. А. Николаева[a], *, Д. А. Савчук[a], **

[a]*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия*

**e-mail: sanikol1@rambler.ru*

***e-mail: savchuk@imces.ru*

Поступила в редакцию 28.07.2020 г.
После доработки 27.01.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

При датировании вызванных экзогенными гравитационными процессами (ЭГП) событий прошлого широкое распространение в настоящее время получили дендроиндикационные методы. Они наиболее информативны на малоизученных горных территориях, где нуждаются в проверке эффективности их использования. Цель – оценить применяемые в дендроиндикационных исследованиях методы датирования таких событий в конкретных горных условиях – верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай) на примере селевого бассейна и лавинного комплекса. Возрастная и анатомическая (засмоленные кольца) индикации позволили выявить и датировать события приблизительно (периоды времени до нескольких десятков лет), травматическая и дендрометрическая – точно (год), недендроиндикационные методы – уточнить их (размеры, вид и год). Комплексное использование всех этих методов способствовало более полному выявлению событий в прошлом, повышению точности и достоверности их датирования. В селевом бассейне за последние 220 лет датировано 13 событий, в том числе 6 селей, 5 лавин, 1 пожар, в лавинном комплексе за последние 65 лет – 20 лавин.

Ключевые слова: дендроиндикация, сель, лавина, годичные кольца, травмы, радиальный прирост

DOI: 10.31857/S2587556621030110

ВВЕДЕНИЕ

Рельефообразующие процессы активно протекают на склонах гор, вызывая массовые перемещения обломочного материала вниз по склону под действием гравитации. Информация об этих событиях для малонаселенных территорий, таких, например, как Горный Алтай, обычно является очень скудной (Абдульмянов, Достовалова, 2012; География..., 1992; Перов, 2012; Ревякин, Кравцова, 1977). Если наблюдения за экзогенными гравитационными процессами (ЭГП) нерегулярные или отсутствуют, то наиболее информативными для выявления и реконструкции прошлых событий в пространстве и во времени являются методы дендроиндикации, основанные на реакции деревьев на ЭГП. В зарубежных публикациях начала XXI в. по сравнению с отечественными представлены новые подходы и методы к сбору дендроиндикационной, или дендрогеоморфологической, информации, обработке и анализу ее результатов, предлагаются решения старых методических проблем и поднимаются новые (см. обзор в Николаева, Савчук, 2020). Большинство тематических исследований проведены для отдельных горных территорий, существенно различающихся по рельефу, климату, ЭГП и растительности, поэтому эти методы нуждаются в проверке в других районах.

Цель статьи – оценить применяемые в дендроиндикационных исследованиях методы датирования прошлых событий, вызванных ЭГП, в конкретных горных условиях – верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай). В статье сделан акцент на методическом аспекте датирования селевых и лавинных событий, главным образом, на ограничениях используемых методов, проблемах их применения.

Подготовительный этап дендроиндикации ЭГП включает подбор модельных участков недендроиндикационными методами: (1) анализ изображений выбранной территории, особенностей ЭГП, а также факторов, способствующих их активизации; (2) анализ характеристик растительности как индикатора ЭГП; (3) сбор свидетельств о явлениях ЭГП на склонах; (4) сбор и анализ дополнительной информации (Николаева, Савчук, 2020).

Верховья р. Актру расположены на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта. Это средне- и высокогорная территория с долинными ледниками и асимметричными склонами, что влияет на характер идущих ЭГП и, как следствие, частоту и мощность склоновых явлений. Склоны сложены достаточно быстро разрушающимися породами, большое количество обломков которых накапливается в виде конусов (Душкин, 1974; Титова, Петкевич, 1964). Анализ литературы показал, что здесь, в пределах горно-ледникового бассейна, выделено 37 осыпей, 51 лавинный и 17 селевых очагов [см. (Николаева и др., 2017а, б)]. Северо-Чуйский хребет относится к районам со средней степенью селевой опасности, а генезис большинства селей дождевой (Перов, 2012), с высокой лавинной опасностью (средне- и высокогорье) и со средними объемами лавин (География..., 1992; Ревякин, Кравцова, 1977). В верхнем ярусе гор сумма осадков достигает более 1000 мм за счет переноса снега через хребты. В результате образуется снежный покров, достигающий в зонах зарождения селей/лавин 3–5 м, что является одним из факторов лавинной и селевой опасности (Душкин, 1974; Ревякин, Кравцова, 1977).

Верховья р. Актру делятся на ледниковую и приледниковую зоны (Душкин, 1974; Титова, Петкевич, 1964). В первой зоне деревья отсутствуют, во второй, где проводилась дендроиндикация селей и лавин, – по днищу долины и в нижних частях склонов произрастают фоновые леса (2100–2300 м над ур. м.). Это (1) старовозрастные леса из кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) и лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), разделенные конусами выноса на отдельные фрагменты, и (2) сплошные из лиственницы, пройденные пожарами. Выше них (до 2500 м) расположены единичные деревья и их группы (Timoshok et al., 2016).

Анализ имеющихся картосхем, аэрофотоснимков, спутниковых изображений верховьев р. Актру за разные годы и литературы показал смешанный генезис большинства конусов выноса (Николаева и др., 2017а, б). Здесь по сравнению с другими горными территориями селевые бассейны и лавинные комплексы относятся к склоновым [по (Перов, 2012)]. Они имеют относительно небольшие размеры и простое строение с тремя зонами: зарождения (очаг), транзита (лоток/русло/трек/канал, а также террасы и гряды/валы вдоль русла) и аккумуляции (конус выноса) (Душкин, 1974; Николаева и др., 2017а, б).

На основе геоморфологических (География..., 1992; Душкин, 1974; Перов, 2012; Ревякин, Кравцова, 1977; Титова, Петкевич, 1964) и фитоиндикационных (Горчаковский, Шиятов, 1985; Ревякин, Кравцова, 1977) признаков разных ЭГП, а также сведений из литературных источников (Барашкова и др., 1986; Душкин, 1974), информации из сети интернет, свидетельств очевидцев и собственных полевых наблюдений (Николаева и др., 2017а, б) на левом склоне недалеко от географической станции Томского госуниверситета (50°04′ с.ш., 87°45′ в.д., 2150 м) подобраны селевой бассейн и лавинный комплекс, где преобладает один тип ЭГП и достоверно известны даты некоторых прошлых событий. В селевом бассейне зафиксированы сходы крупного селя 1984 г. (Барашкова и др., 1986) и мелких лавин 2013, 2016–2018 гг. (очевидцы), в лавинном комплексе [№ 9 по (Душкин, 1974)] – лавин 1966 г. (Душкин, 1974), 2009, 2017 и 2018 гг. (очевидцы).

Дополнительные сведения включали (1) анализ растительности (фитоценотическая индикация) для выделения зон с различной частотой событий в селевом бассейне и лавинном комплексе (Николаева, Белова, 2017), (2) анализ слоев селевых отложений (седиментационно-стратиграфическая индикация) для идентификации крупных селей в селевом бассейне (Николаева и др., 2017а), (3) время гибели (радиоуглеродный метод) кедра (Ивановский, 1983), которое было проверено с учетом (Галахов и др., 2005; Назаров и др., 2016), для датирования одного из селевых слоев.

Таким образом, применение недендроиндикационных методов позволило из множества селевых бассейнов и лавинных комплексов в верховьях р. Актру подобрать два, где преобладает один из типов ЭГП: сель или лавина.

Во время **полевых работ** для сбора репрезентативного материала проводится (1) идентификация на местности прошлой селевой/лавинной активности и выбор модельных участков склона, (2) отбор и картирование нарушенных[1] внешними воздействиями и ненарушенных (контроль) деревьев, (3) набор необходимого количества деревьев, (4) учет разных типов нарушений у деревьев, (5) выбор вида древесного образца и высоты его отбора на стволе (Николаева, Савчук, 2020).

На выбранных в верховьях р. Актру селевом бассейне и лавинном комплексе подтвердился один преобладающий тип ЭГП: сель или лавина. Для сбора полевого материала обследовались те участки на них, где произрастают деревья (модельные участки).

Первый модельный участок (рис. 1, *1*) охватывает нижнюю часть зоны транзита и зону аккумуляции селевого бассейна. На поверхности конуса

[1] Под нарушенными (disturbed) деревьями, вслед за зарубежными исследователями (в отечественной литературе адекватный термин отсутствует), мы понимаем деревья, имеющие не только механические нарушения их целостности (травмированные), но и изменения в форме роста ствола (наклоненные, изогнутые) или условий их произрастания (с засыпанными основаниями стволов, осветленные из-за гибели соседних деревьев) [подробнее см. (Николаева, Савчук, 2020)].

Рис. 1. Внешний вид модельных участков в верховьях р. Актру (Горный Алтай): (*1*) первый селевой и (*2*) второй лавинный. К – массив леса с контрольными деревьями. Дата съемки – 20 июня 2018 г.

выноса (высота 2150–2240 м, площадь 9.3 тыс. м^2, угол наклона 15°, мощность 0.2–0.8 м) хорошо выделяются селевые русла и валы из обломочного материала. На конусе произрастает сомкнутый кедровый лес с развитыми нижними ярусами. Анализ отложений показал, что основным фактором его формирования были сели. Нижняя часть зоны транзита имеет форму вреза (глубина до 1.8 м и ширина до 3 м) в делювиальные отложения, незначительно заходящего в массив леса. Растительность в русле временного водотока разреженная и представлена травами и кустарниками (Николаева, Белова, 2017; Николаева и др., 2017а), на валах вдоль русла и террасах – единичными деревьями лиственницы, крупным подростом лиственницы и кедра и густым травяно-кустарниковым покровом. Здесь в отличие от конуса выноса обнаружены следы схода весенних лавин: до конца второй декады июня 2018 г. сохранялись остатки снега в русле и на валах, в середине июля 2017 г. – свежий обломочный материал, недавно погибшие и травмированные особи крупного подроста хвойных и кустарников на валах и террасах.

Второй модельный участок (см. рис. 1, *2*) охватывает среднюю и нижнюю части конуса выноса лавинного комплекса (2150–2280 м, площадь 86 тыс. м^2, угол 15°). На конусе прослеживаются лавинные лотки с характерными валами, состоящими из обломочного материала. Его поверхность покрыта густой травяной и кустарниковой растительностью с единичными травмированными деревьями (Николаева, Белова, 2017; Николаева и др., 2017б). Конус по периферии окружают кедровые и лиственничные леса с травяным покровом.

Для дендроиндикации селей/лавин из четырех известных способов отбора нарушенных деревьев (целенаправленный, по трансектам, метод сетки и случайный (Chiroiu, 2013)) обычно применяется первый (Trappmann et al., 2013). В верховьях р. Актру целесообразность применения целенаправленного способа отбора деревьев на модельных участках обусловлена (1) простотой строения и относительно небольшими размерами селевых бассейнов и лавинных комплексов и (2) неравномерным распределением нарушенных деревьев

Таблица 1. Характеристика собранного материала

Участок	Год сбора материала	Количество деревьев	Количество древесных образцов*	Длина рядов, годы	Время и место появления основных генераций деревьев
Преимущественно селевой (*1*)	2012, 2015, 2017	25	65	2015–1721	1) 1815–1865, зона аккумуляции 2) 1987 и позже, террасы нижней части зоны транзита
Лавинный (*2*)	2015, 2017, 2018	36	114	2017–1740	1) 1890–1930, периферия конуса 2) 1950–1965, на конусе
Контроль (К)	1999, 2015, 2018	17	32	2017–1871	1) 1632–1661 2) 1870–1890

Примечание. * Каждый древесный образец включает 1 радиус.

между и внутри их зон. Следует отметить, что зоны транзита и верхние части зоны аккумуляции здесь находятся в тундровом поясе (деревья отсутствуют) и/или лесотундровом экотоне (деревья растут одиночно или группами), весь конус выноса или его нижние и средние части – в лесном поясе (сомкнутый или разреженный лес). Эти конусы в селевых бассейнах зарастают лесом, а в лавинных комплексах деревья растут по их периферии и встречаются единично внутри них. Поэтому в селевом бассейне нарушенные деревья отбирались вдоль русла в нижней части зоны транзита и в зоне аккумуляции, в лавинном комплексе – растущие в основном по периферии конуса.

Все отобранные деревья фиксировали на спутниковых изображениях, фотографировали, записывали информацию о них (высота, диаметр, характер и размеры повреждений, качество керна/спила, наличие соседних деревьев и т.п.).

Такой целенаправленный способ отбора нарушенных деревьев на модельных участках позволил минимизировать влияние других факторов и обеспечить необходимый минимальный объем выборки (табл. 1).

Отбор контрольных деревьев обычно проводится на соседних по отношению к исследуемым участках склона, в динамике прироста которых важно отсутствие сигнала неклиматической природы (Горчаковский, Шиятов, 1985; Шиятов и др., 2000). Поиск контрольных деревьев в верховьях р. Актру проводился на этом же склоне в соседних с модельными участками массивах леса. Он был затруднен из-за наличия в этих массивах множества деревьев: (1) нарушенных ЭГП по всей верхней границе леса, (2) поврежденных лесными пожарами, (3) угнетенных из-за конкуренции на сомкнутых участках леса (Николаева и др., 2015, 2018). Тем не менее было найдено 17 деревьев разного возраста (см. табл. 1) в кедровнике (см. рис. 1, К), удовлетворяющих вышеупомянутым требованиям. Синхронность рядов прироста модельных деревьев с обобщенными хронологиями из более удаленных массивов леса оказалась относительно невысокой, что не позволило использовать последние в качестве контроля.

Типы внешних нарушений (механические повреждения, изменения формы или условий роста дерева), наиболее часто встречающиеся у деревьев в селевых бассейнах и лавинных комплексах верховьев р. Актру, следующие: травма ствола, декапитация вершины (обломы верхних частей ствола и кроны), облом нижних ветвей, надлом или слом ствола у основания, а также засыпание основания ствола обломочным материалом (Николаева и др., 2017б). Оголение корней, наклон/изгиб ствола и снижение конкуренции наблюдались реже.

В современных дендроиндикационных исследованиях в качестве древесных образцов с живых деревьев обычно берут керны, с погибших – спилы/выпилы (Stoffel, Bollschweiler, 2008; Trappmann et al., 2013), что связано с необходимостью получения максимально возможной информации при наименьших причинении вреда окружающей среде и трудозатратах. Поскольку в верховьях р. Актру поддерживается режим, близкий к заповедному, то мы придерживались вышеупомянутого подхода к отбору образцов. С одного дерева обычно брали не менее двух кернов: со стороны воздействующего фактора (через сектор ствола с корой, раной или каллюсной тканью) и с противоположной неповрежденной (контроль). При наличии нескольких травм на стволе количество кернов увеличивалось. Спилы/выпилы брали только с лежащих стволов, пней, погибших верхушек и сучков дерева (Николаева и др., 2017а, б, 2018).

Высота отбора образцов на стволе зависела от наличия засыпанных его участков, изгиба в его основании и травм. У взрослых живых деревьев их брали в местах травм и максимально низко к поверхности субстрата, но выше корневых лап

дерева (от 0.2–0.5 до 2 м), у поврежденного подроста – в основании стволиков, у пней – на высоте слома ствола, у сломанных и упавших деревьев – на сохранившейся части ствола.

Полнота выявления событий в верховьях р. Актру будет относительной, поскольку часть информации неизбежно теряется на этапах отбора нарушенных деревьев (их количество), образцов на дереве (высота отбора и вид образца, их количество), а также низкой сохранности древесины погибших деревьев и т.п. Это объективные ограничения методов, установленные и для других регионов [см., например, (Chiroiu, 2013; Stoffel, Bollschweiler, 2008)]. Тщательное выполнение всех вышеизложенных работ на предварительном и полевом этапах исследований позволит повысить полноту выявления и надежность датирования селей и лавин.

Лабораторные методы включают (1) подготовку собранных древесных образцов и измерение ширины годичных колец на них, (2) перекрестное датирование древесно-кольцевых серий, (3) определение времени воздействия селей и лавин с помощью различных методов дендроиндикации и соответствующих им индикаторов или маркеров (Николаева, Савчук, 2020).

Методы подготовки, измерения древесных образцов и их перекрестной датировки были стандартными (Шиятов и др., 2000). Последняя проводилась путем сравнения ширины годичных колец древесных образцов, взятых с (1) поврежденных и неповрежденных секторов ствола и ветвей в пределах одного дерева, (2) нарушенных и соседних ненарушенных деревьев одного вида, (3) неповрежденных секторов ствола нарушенных деревьев с контролем. Такие сравнения позволили датировать подавляющее число травм и выявить даты гибели деревьев.

Ниже рассмотрены особенности применения методов дендроиндикации для датирования схода селей и лавин в верховьях р. Актру.

При *травматической дендроиндикации* наиболее часто используемыми прямыми индикаторами событий являются механические травмы древесины ствола и разрастающаяся вокруг них каллюсная ткань (Николаева, Савчук, 2020). Видимым результатом ЭГП на модельных участках были (1) раны ствола, (2) декапитация ствола и побеги замещения, (3) обломы ветвей. По нашим наблюдениям, если последнее наблюдаемое кольцо на травмированном секторе ствола соответствует или предшествует резкому изменению прироста, то это кольцо сформировалось в год травмы дерева и, соответственно, события. В противном случае произошел обдир не только коры, но и нескольких верхних слоев древесины, либо воздействие было незначительным.

Декапитация вершины молодого дерева часто приводит к активизации роста ветвей ниже слома и/или к формированию побегов замещения. Их прирост резко усиливается одновременно с резким снижением его у ствола, особенно около сломанной вершины. Сломанные ветви (сучки) в нижней части ствола оказались пригодны для датирования, если имели достаточно большой диаметр и собственный возраст, относительно широкие годичные кольца и высокую амплитуду колебаний прироста по наибольшему радиусу их спила (Николаева и др., 2017б).

Временная “глубина” надежного датирования разных видов событий с помощью этой дендроиндикации не превышала 50 лет, далее в прошлое следы от травм на кернах встречались единично (Николаева и др., 2017а, б, 2018). В частности, за 1984–2018 гг. зафиксированы 4 события в селевом бассейне (табл. 2) и 15 в лавинном комплексе (табл. 3).

При *дендрометрической индикации* маркером событий являются резкие и значительные снижения/повышения абсолютных или относительных значений радиального прироста, которые могут длиться от одного года до двух десятков лет. Частный случай – выпавшие годичные кольца (на керне).

В рамках этого метода итоговая анализируемая величина (индекс) является частным от деления относительных значений прироста нарушенных и контрольных деревьев. При вычислении этих значений используется два подхода, различающиеся по алгоритму обработки материала. При первом подходе проводится стандартизация рядов, принятая в дендроклиматологии, когда абсолютные величины прироста делятся на их среднюю динамическую норму (Methods..., 1990). При этом последовательно получается пара рядов индексов, где у стандартных убирается возрастной тренд при сохранении индивидуальных особенностей роста дерева, у остаточных – усиливается климатический сигнал. При втором подходе берется частное приростов соседних лет (Николаева и др., 2017а).

Первый подход наиболее полно описан и реализован при датировании событий в (Kogelnig-Mayer et al., 2011), где итоговая величина будет зависеть от нескольких составляющих, в том числе прироста, а воздействие выявляется при сравнении отклика отдельных деревьев с контролем. В рамках дендрометрического метода анализируется только прирост или его индексы. Авторами введены три градации интенсивности отклика дерева. Границы между соседними градациями проведены одновременно по двум количественным критериям: (1) пороговое значение индексов прироста (≤60, ≥60 и ≥60% соответственно) и (2) продолжительность его изменения (1–2, 2–4, ≥5 лет). К сожале-

Таблица 2. Датирование событий в селевом бассейне (первый модельный участок)

Год	Метод оценки						Событие	
	1	2	3	4	5	6	вид	размер
2018, конец мая	+	–	–	~	–	–	Мокрая лавина	1
2017, конец мая	+	+а	+а	~а	–	–	Мокрая лавина	1
2016, конец мая	+	–	–	~	–	–	Лавина	0
2013, начало июня	+	–	–	~	–	–	Лавина	0
2012, 14–16 июля	+	–	–	–	–	–	Сель	0*
2005	–	+б	–	–	–	–	Сель*	1
1998	+	–	+б	–	–	–	Сель	1
1994	–	+б	–	–	–	–	Сель-лавина?	1
2020–1985	–	–	–	–	–	∨г	“Селевое затишье”	–
1980-е (1986**)	–	–	–	~а	–	–	Лавина	1
1984, 24 июня	+	+б	+б	~	–	∨в	Сель	3
1939	–	+б	+б	–	–	∨в	Сель	3
1938–1885	–	–	–	–	–	∨г	“Селевое затишье”	–
1884	–	+б	+б	–	–	∨в	Сель	3
1883~1600	–	–	–	–	–	∨г	“Селевое затишье”	–
~1780~1830	–	–	~б	~б	–	∨д	Пожар	3
??	–	–	–	–	–	∨е	Не идентифицирован	3
~1550~1600	–	–	–	–	~б	∨в	Сель	3
??	–	–	–	–	–	∨в	Сель	3
??	–	–	–	–	–	∨гд	“Селевое затишье” и пожар	– 1
Всего событий – 17	7	6	6	3	1	11		

Примечание. Методы: 1 – непосредственные наблюдения, 2 – травматическая, 3 – дендрометрическая и 4 – возрастная дендроиндикации, 5 – радиоуглеродное датирование, 6 – седиментационно-стратиграфическая индикация. Дополнительно применялся анализ: * изображений территории и ** метеоданных. Наличие события: “∨” – зафиксированное, “–” – не зафиксированное. Точность датирования события: “+” с точностью до года, “~” приблизительная (серой заливкой отмечены годы с близкими по времени событиями), “??” дата не установлена. Группы деревьев с откликом: а – молодые (подрост), б – взрослые (древостой). Слои отложений: в – селевые, г – почвенно-растительные, д – с углями, е – не идентифицированные. Размер события (по пространственному расположению нарушенных деревьев и типу их нарушения): 0 – очень мелкое, 1 – мелкое, 2 – среднее, 3 – крупное.

нию, в современных публикациях дендроиндикационной направленности, в отличие от дендроклиматической, нам не удалось обнаружить ни упоминания о применяемых индексах прироста (стандартные или остаточные) деревьев, ни об алгоритме их сравнения.

Наиболее оптимальной в изученном селевом бассейне оказалась величина порогового значения в 65% (в отличие от 60% [по (Kogelnig-Mayer et al., 2011)]), поскольку 60% отсекает значительную часть откликов, датирующих события другими методами, а при более высоких значениях (70%) увеличивается доля “шума”. Отклик деревьев фиксируется обоими индексами. Пример реализации этого подхода приведен для модельного дерева (рис. 2). Величины стандартных и остаточных индексов его прироста ниже порогового значения соответствуют среднему и сильному отклику по (Kogelnig-Mayer et al., 2011). Продолжительность снижения прироста у большинства деревьев составляла 1–6 и более лет (для стандартных индексов) и обычно 1 год (для остаточных), что соответствует среднему и сильному отклику в первом случае и слабому – во втором [по (Kogelnig-Mayer et all., 2011)].

Из этого следует, что границы градаций обоих критериев (величина снижения прироста и его продолжительность) и согласование последних друг с другом, а также использование стандартных или остаточных индексов необходимо устанавливать для конкретной территории опытным путем.

При втором подходе к датированию событий радиальный прирост совокупности деревьев нормируется по формуле:

Таблица 3. Датирование событий на лавинном комплексе (второй модельный участок)

Зимне-весенний период, год	Метод оценки					Лавина	
	1	2	3	4***	5	вид	размер
2017/18, конец мая	+	–	–	–	–	Мокрая	0
2016/17, конец мая	+	–	–	–	–	Мокрая	0
2013/14	–	+	+	–	–	–	2
2012/13	–	+	+	+	–	–	1
2010/11	–	+	+	+	–	–	1
2009/10, 31 декабря	+	+	–	+	–	Сухая	3
2008/09	–	+	–	–	–	–	2
2007/08	–	+	+	–	–	–	3
2003/04	–	+	–	+	–	–	2
1998/99	–	–	–	+	–	Сухая	2
1997/98	–	+	–	–	–	–	3?
1996/97	–	+	–	+	–	–	2
1987/88	–	–	+	+	–	Сухая	2–3
1986/87	–	+	–	–	–	Сухая	2–3
1983/84	–	+	–	+	–	Сухая	3
1968/69	–	–	+	+	~	Сухая	1
1966/67	–	–	+	+	~	Сухая	1
1965/66, весна	+	–	+	–	~	–	3
1963/64	–	–	+	+	~	Сухая	3
1952/53	–	–	+	+	~	Сухая	3?
Всего событий – 20	4	11	10	12	1		

Примечание. Методы: 1 – непосредственные наблюдения, 2 – травматическая, 3 – анатомическая, 4 – дендрометрическая (*** при отклике на событие более 15% деревьев), 5 – возрастная дендроиндикации. Остальные обозначения см. табл. 2.

$$I = \frac{A_n / A_{n-1}}{B_n / B_{n-1}} \times 100,$$

где I – индекс, A, B – радиальный прирост n и $n-1$ года формирования у нарушенных (A) и контрольных (B) деревьев (Николаева и др., 2017а). Для анализа использовались радиусы с секторов ствола в направлении воздействующего фактора (вверх и вбок по склону, имеющие снижения прироста). Сектора с противоположной по величине реакцией исключались (участки с каллюсной тканью и, соответственно, всплеском прироста).

Нормированный прирост у деревьев разного возраста и степени нарушенности изменяется синхронно. Наибольшая амплитуда колебаний индексов прослеживается у деревьев в возрасте 150–200 лет (рис 3, *1–2*, *4*), наименьшая – 250–350 (см. рис 3, *3*). Пороговая величина (70%) подобрана так, чтобы она была выше, чем в год с известным крупным событием (сель 1984 г.) на конусе выноса, но ниже, чем в годы их достоверного отсутствия (после 1984 г.). Из дат с приростом ниже пороговых значений только 4 (1884, 1939, 1984 и 1998 гг.) подтверждаются еще и другими методами (см. табл. 2). Прирост деревьев из нижней части зоны транзита (см. рис 3, *4*) по сравнению с конусом чаще пересекает пороговые значения, что, по-видимому, связано с их откликом на ЭГП, которые фиксируются в основном в этой зоне.

Анализ нашего материала показал, что второй подход применим при (1) редкой повторяемости крупных событий, (2) достаточно сильном воздействии ЭГП, (3) отклике большинства деревьев на событие. Этим условиям соответствовал материал из селевого бассейна, но не лавинного комплекса. Результаты этих двух подходов в целом совпадают, но при втором трудозатраты существенно меньше. При обоих подходах ряды прироста не должны содержать подряд пропущенные несколько годичных колец из-за давней травмы, гнили и т.п. В противном случае может произойти датирование ложных событий.

Временная “глубина” надежного датирования событий в селевом бассейне с помощью этой дендроиндикации составила около 170 лет, выявлен сход 3 крупных селей и по одному мелкому селю и лавине (см. табл. 2), в лавинном ком-

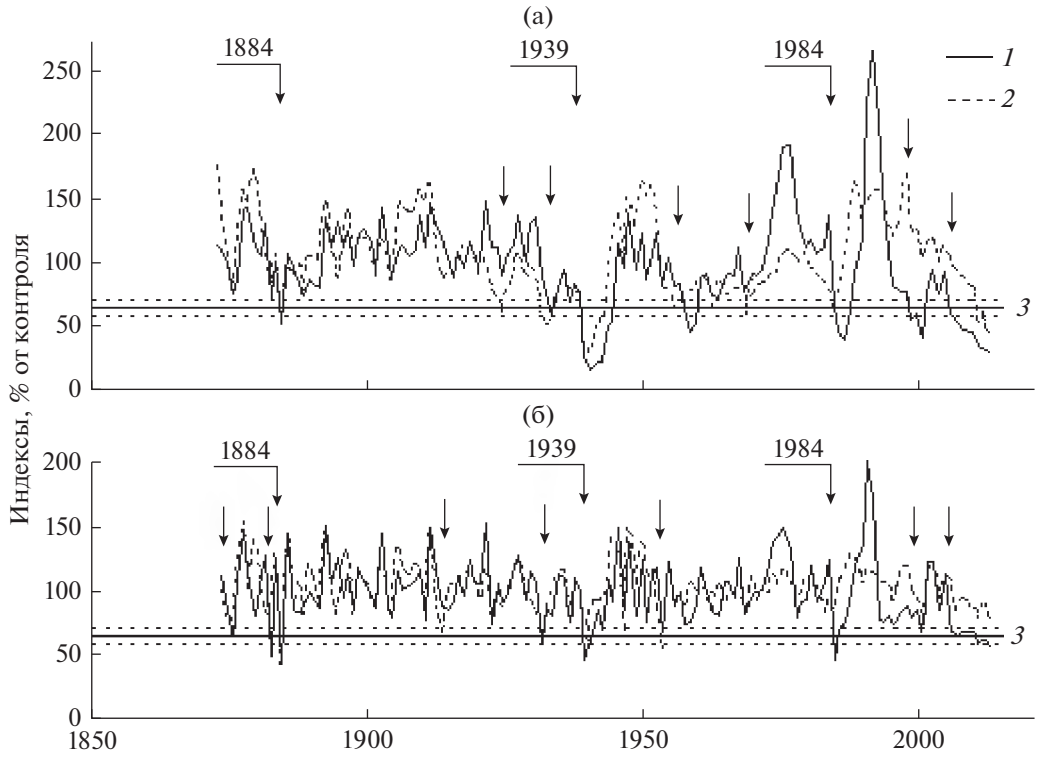

Рис. 2. Пример динамики стандартных (а) и остаточных (б) индексов прироста дерева кедра К-3 в селевом бассейне. *1*, *2* – радиусы ствола вверх и вниз по склону соответственно, *3* – пороговые величины отклика: 65% – сплошная линия, 70 и 60% – пунктирная. Годы снижения прироста за пределы пороговой величины обозначены стрелками.

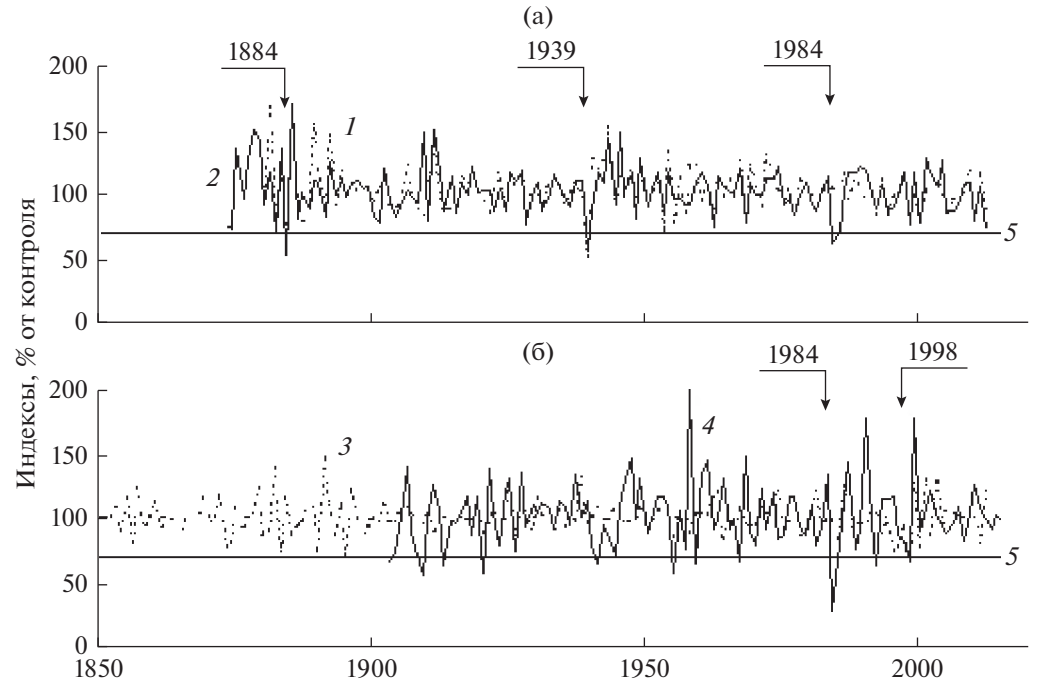

Рис. 3. Динамика индексов прироста деревьев кедра (*1–3*) и лиственницы (*4*) в селевом бассейне. Участки: зона аккумуляции с *1* – глинистой, *2–3* – крупнообломочной фракциями и *4* – нижняя часть зоны транзита. Возраст деревьев: *1*, *2*, *4* – 150–200, *3* – более 250 лет. *5* – пороговая величина отклика (70%), стрелки – годы снижения прироста, маркирующие события.

плексе – 65 лет и 12 лавин соответственно (см. табл. 3).

При *деформационной дендроиндикации* маркером событий является начало эксцентричного роста ствола дерева в районе его наклона/изгиба, когда у хвойных резко усиливается прирост ствола вниз по склону при его сохранении или снижении вверх по склону. Считается, что такая эксцентричность является косвенным индикатором оползней, сползания снега и т.п. (Горчаковский, Шиятов, 1985; Malik, Wistuba, 2012), хотя этот метод и использовался для датирования лавин на Алтае (Ревякин, Кравцова, 1977). Наши исследования показывают, что эксцентричные кольца у хвойных деревьев обычно появляются в молодом возрасте, пока ствол гибкий. Для датирования селей и лавин в верховьях р. Актру этот метод оказался малопригоден из-за относительно небольшого числа деревьев с визуально видимыми изгибами ствола и/или техническими сложностями при отборе кернов в районе этого изгиба у деревьев большого диаметра. Это косвенно подтверждается (Ревякин, Кравцова, 1977) малым количеством деревьев при дендроиндикации лавин на Алтае.

При *анатомической дендроиндикации* маркерами событий являются изменения в анатомической структуре древесины (появление: 1 – травматических, или патологических, смоляных ходов, 2 – реакционной древесины, или древесины сжатия у хвойных), которые сопровождают нарушения дерева (Горчаковский, Шиятов, 1985; Stoffel, Bollschweiler, 2008). Установлено, что травматические смоляные ходы формируются в древесине *Larix decidua* Mill., *Picea abies* (L.) H. Karst., *Abies alba* Mill. и не образуются у видов р. *Pinus* (Stoffel, Bollschweiler, 2008; Stoffel, Corona, 2014). В верховьях р. Актру визуальный анализ этих структур показал их редкую встречаемость у лиственницы сибирской (р. *Larix*), а у кедра сибирского (р. *Pinus*) они нами не обнаружены. Анализ дат их образования у лиственницы на Алтае (Мыглан и др., 2015) выявил случайный характер их распределения.

Исследование таких структур требует специальных приемов обработки материала и оборудования (Ballesteros et al., 2010), хотя часть смоляных ходов хорошо видна невооруженным глазом. Интерес может представлять еще один показатель – видимые визуально засмоленные годичные кольца. Так, любое повреждение ствола сосны (*Pinus sylvestris* L.) приводит к изменению количества, строения и расположения смоляных ходов в годичном кольце, а смола начинает заполнять различные структуры древесины (Курьянова и др., 2011), т.е. происходит засмоление последней.

В верховьях р. Актру на всех кернах, взятых через небольшие открытые раны (площадью 10–300 см^2) ствола кедра и лиственницы или рядом с ними, зафиксированы от 1 до 10 засмоленных колец подряд, приходящихся на год травмы и/или до и после нее. Такие раны быстро исчезают, с краев зарастая каллюсной тканью. Деревья с открытыми ранами более 300 см^2 чаще имеют сухую древесину без смолы и длительное время не зарастают, редко имеют 1–2 засмоленных кольца (Николаева и др., 2018). Анализ закрытых (не видимых в настоящее время) механических травм прошлого, обнаруженных на кернах, показал наличие вокруг них уже до четырех десятков таких колец. Следовательно, наличие засмоленных колец на кернах диагностирует раны небольшого размера, со временем заросшие. Такие кольца даже при отсутствии травмы на керне будут указывать на интервал времени (до нескольких десятков лет), когда событие произошло, поэтому их лучше применять для предварительного определения времени воздействия.

Второй маркер – реакционная древесина – обнаружен только у трех относительно молодых деревьев на обвально-осыпном участке склона и не найден на селевом и лавинном (Николаева и др., 2018), поэтому он пока не может быть включен в дендроиндикационный анализ.

При *возрастной дендроиндикации* маркером событий после катастрофических воздействий служит возраст основных генераций древесных видов. Неопределенность датирования этим методом связана с (1) трудностью определения точного возраста дерева по годичным кольцам и (2) видоспецифичностью и локальностью заселения деревьями территории после такого события в прошлом (Горчаковский, Шиятов, 1985; Stoffel, Bollschweiler, 2008; Stoffel, Corona, 2014).

Обычно возраст дерева подсчитывается суммированием количества колец на (1) образце древесины, (2) его отрезке около отсутствующей сердцевины, (3) высоте ствола отбора образца. Определение первых двух слагаемых возраста обычно не вызывает трудностей (Николаева, Савчук, 2020). Третье слагаемое оценить гораздо сложнее из-за видовой специфики роста деревьев в молодом возрасте и изменений микроусловий произрастания в пространстве и во времени. При этом необходимо учитывать возраст не только надземной (высота отбора образца), но и подземной (засыпанная и/или полегшая) частей ствола.

Прибавка к возрасту на высоту отбора образца определялась по обследованным нами в 2015–2017 гг. молодым, хорошо растущим особям. Первые 10 см высоты кедр достигает в 7–16 лет (в среднем за 12.5 лет), на следующие 20 и 30 см требуется еще по 2–5 лет (по 3.5), 1 м высоты они достигают в 24–35 лет (за 25.6).

Прибавка к возрасту на засыпанную вертикальную часть ствола у деревьев зависит от высо-

ты засыпания. Так, по нашим данным, эта высота составляла от 0.6 до 2 м, а по данным М.Ф. Адаменко – до 3–5 м. У одного из обследованных деревьев кедра поправка на возраст засыпанной на 1.2 м ствола – 88 лет (Николаева, Савчук, 2015), то есть около 1.4 года на 1 см высоты. Такие деревья обычно имеют более низкие значения линейного и радиального прироста по сравнению с незасыпанными. Прибавка возраста на засыпанную высоту ствола в 0.6–2 м, по нашим расчетам, составляет 82–280 лет.

Полегшая часть ствола обычно образуется у молодых деревьев под действием снега, воды, обломочного материала и т.п. Определение собственного возраста этой части ствола в литературе не найдено, необходимы дополнительные исследования.

Время заселения деревьями различных зон селевого бассейна и лавинного комплекса составило от одного до пяти десятилетий (см. табл. 1) и, видимо, зависело от внешних условий. Например, в селевом бассейне в мае 2017 г. сошла мокрая лавина, которая привела к частичному освобождению террас нижней части зоны транзита от крупного подроста. Появлению и выживанию хвойных здесь в настоящее время препятствуют (1) регулярный сход лавин в течение ряда лет (только в последнем десятилетии это – 2013, 2016–2018 гг.) и (2) наличие густого травяно-кустарникового покрова. Обследование этой территории подтвердило отсутствие на ней всходов хвойных в 2017 и 2018 гг. Это способствует растянутому по времени заселению ее деревьями и приведет к неопределенности датирования события в будущем – период минимум в два десятилетия: 2010–2020-е годы.

В целом временная “глубина” датирования событий этим методом составила около 200 лет в селевом бассейне и 125 лет в лавинном комплексе, выявлено 3 и 2 события соответственно (см. табл. 1–3).

Первичным результатом лабораторного этапа исследований является **датирование событий прошлого.** В верховьях р. Актру оно проводилось с помощью каждого дендроиндикационного метода отдельно. Если установленные даты и типы событий подтверждались как минимум двумя методами, то они считались надежными.

В селевом бассейне всего выявлено 17 событий (см. табл. 2). Дендроиндикационными методами за последние 220 лет датировано 8 событий: 3 крупных селя (1884, 1939 и 1984 гг.), 5 более мелких селей и лавин (1986, 1994, 1998, 2005, 2017 гг.), 1 пожар (конец XVIII – начало XIX в.). Кроме того, имеется отклик деревьев на события в зоне транзита в XX в. и в зоне аккумуляции в 1950-е годы, вызванные, скорее всего, мелкими ЭГП и повышенной антропогенной активностью при постройке географической станции соответственно. Только недендроиндикационными методами были установлены даты лавин в 2013, 2016, 2018 гг. (непосредственные наблюдения) и наличие 4 событий ранее 1800 г. (седиментационно-стратиграфическая индикация), а также уточнены наличие и размеры селя в 2012 г., тип события в 2005 г. (спутниковые изображения), тип и год события в 1986 г. (метеоданные).

На конусе выноса лавинного комплекса всего за последние 65 лет выявлено 20 лавин, дендроиндикационными – 18. Большинство лет с лавинами подтверждаются 2–3 методами: 1953, 1964, 1967, 1969, 1984, 1987, 1988, 1997, 1998, 2004, 2008, 2009, 2010, 2011, 2013, 2014 гг. (см. табл. 3).

Дендроиндикационные методы, как и любые другие, имеют свои ограничения, главными из которых являются (1) наличие деревьев-индикаторов в зоне датируемых ЭГП и (2) длина древесно-кольцевого ряда (Kogelnig-Mayer et al., 2011; Stoffel, Corona, 2014). Поэтому полученные хронологии селей и особенно лавин в верховьях р. Актру, так же, как и на других горных территориях [см., например, (Kogelnig-Mayer et al., 2011; Trappmann et al., 2013)], являются неполными из-за того, что даже крупные события могут не всегда фиксироваться этими методами. Например, лавина 1966 г., описанная М.А Душкиным (1974), уничтожила деревья в лавинном комплексе на просеке длиной 200 м. Она зафиксирована нами с помощью не очень надежного маркера – одного засмоленного кольца единственного дерева, у остальных растущих деревьев реакция не обнаружена, а погибшие не сохранились. Сель 2012 г. в селевом бассейне остановился в верхней части зоны транзита, не дойдя до деревьев, хотя эти сели были массовыми и крупными не только для верховьев р. Актру (очевидцы, спутниковые изображения), но и Алтая в целом (Абдульмянов, Достовалова, 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье оценены применяемые в дендроиндикационных исследованиях и изложенные в (Николаева, Савчук, 2020) методы датирования прошлых событий, вызванных ЭГП, в конкретных горных условиях – верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай). Как показали наши исследования, здесь возрастная и анатомическая (засмоленные кольца) индикации являются предварительными (приблизительное датирование событий: период), травматическая и дендрометрическая – основными (точное датирование: год), недендроиндикационные методы – дополнительными (уточнение размера, вида и года события). Для оценки применения анатомической (травматические смоляные ходы, реакционная древесина) и деформационной индикаций необходимы дополнительные исследования. Полученные хроноло-

гии селей и лавин как результат датирования событий всегда будут неполными из-за наличия у любого метода объективных ограничений. А комплексное использование всех этих методов в тематическом дендроиндикационном исследовании будет способствовать более полному выявлению событий, повышению точности и достоверности их датирования в прошлом. Получаемые с помощью этих методов хронологии будут полезны для оценки активности ЭГП в прошлом на малоизученных в этом плане территориях и их прогноза.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках госбюджетной темы № АААА-А17-117013050039-4.

FUNDING

The study is supported by the state budget theme no. AAAA-A17-117013050039-4.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят многочисленных очевидцев селей и лавин в верховьях р. Актру.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors thank numerous eyewitnesses of the debris flow and snow avalanche events in the Aktru headwater.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абдульмянов С.Н., Достовалова М.С. Особенности летнего периода 2012 года “Сезон ливней – сезон селей”. 2012. 4 с. http://www.geophotobank.com/altai/article/article-pdf/2012-sommer_mudflow-season.pdf

Барашкова Н.К., Королева Т.В., Шмыглева Г.М. Условия схода селя в долине р. Актру в Горном Алтае 24 июня 1984 г. // Материалы гляциологических исследований. М.: Ин-т геогр. РАН, 1986. Вып. 56. С. 121–124.

Галахов В.П., Назаров А.Н., Харламова Н.Ф. Колебания ледников и изменения климата в позднем голоцене по материалам исследований ледников и ледниковых отложений бассейна Актру (Центральный Алтай, Северо-Чуйский хребет). Барнаул: Изд-во АГУ, 2005. 132 с.

География лавин / ред. С.М. Мягков, Л.А. Канаев. М.: Изд-во МГУ, 1992. 249 с.

Горчаковский П.Л., Шиятов С.Г. Фитоиндикация условий среды и природных процессов в высокогорьях. М.: Наука, 1985. 209 с.

Душкин М.А. Лавины в верховьях долины Актру // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во ТГУ, 1974. Вып. 8. С. 39–59.

Ивановский Л.Н. Экзогенная литодинамика горных стран. Новосибирск: Наука, 1983. 160 с.

Курьянова Т.К., Платонов А.Д., Косиченко Н.Е., Снигерева С.Н., Чеботарев В.В., Макаров А.В. Влияние вида пожара на структуру и качество древесины сосны // Науч. журн. КубГАУ. 2011. № 74 (10). С. 1–14. http://ej.kubagro.ru/2011/10/pdf/69.pdf

Мыглан В.С., Баринов В.В., Назаров А.Н. Построение тысячелетних древесно-кольцевых хронологий Koksu и Tara для территории Алтая // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология. 2015. Т. 8. № 3. С. 319–332.

Назаров А.Н., Мыглан В.С., Орлова Л.А., Овчинников И.Ю. Активность ледника Малый Актру (Центральный Алтай) и изменения границы леса в бассейне Актру за исторический период // Лёд и Снег. 2016. Т. 56. № 1. С. 103–118.

Николаева С.А., Белова (Диркс) М.Н. Фитоценотическая оценка местообитаний в местах схода селей и лавин в верховьях р. Актру (Горный Алтай) // Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология. 2017. № 40. С. 181–201.

Николаева С.А., Савчук Д.А. Методы дендроиндикации экзогенных гравитационных процессов: обзор // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84. № 3. С. 441–450.

Николаева С.А., Савчук Д.А. Морфологические формы кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в высокогорных лесах Северо-Чуйского хребта. Дендрохронологический аспект // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология. 2015. Т. 8. № 4. С. 456–477.

Николаева С.А., Савчук Д.А., Бочаров А.Ю. Влияние различных факторов роста деревьев *Pinus sibirica* в высокогорных лесах Центрального Алтая // Журн. Сиб. федерал. ун-та. Биология. 2015. Т. 8. № 3. С. 299–318.

Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С. Датирование селевой активности в горно-ледником бассейне Актру (Горный Алтай) // Геориск. 2017а. № 2. С. 56–63.

Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С. Особенности датирования селей, лавин и камнепадов в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) по травмам деревьев // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2017б. № 4. С. 35–47.

Николаева С.А., Савчук Д.А., Кузнецов А.С. Особенности камнепадной и лавинной активности в верховьях р. Актру (Горный Алтай) по данным дендроиндикации // Успехи современного естествознания. 2018. № 12. С. 92–97.

Перов В.Ф. Селеведение. М.: Геогр. фак-тет МГУ, 2012. 272 с.

Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1977. 216 с.

Титова З.А., Петкевич М.В. Наблюдения над конусами аккумуляции в долине реки Актру // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во Томск. гос. ун-та, 1964. Вып. 3. С. 115–141.

Шиятов С.Г., Ваганов Е.А., Кирдянов А.В., Круглов В.Б., Мазепа В.С., Наурзбаев М.М., Хантемиров Р.М. Методы дендрохронологии. Ч. 1. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольце-

вой информации. Красноярск: Изд-во КрасГУ, 2000. 80 с.

Ballesteros J.F., Stoffel M., Bodoque J.M., Bollschweiler M., Hitz O., Díez-Herrero A. Changes in wood anatomy in tree rings of *Pinus pinaster* Ait. Following wounding by flash floods // Tree-Ring Res. 2010. V. 66. № 2. P. 93–103.

Chiroiu P. Geomorphological studies of slope processes by the analysis of tree-rings // Cent. Eur. Reg. Pol. Hum. Geogr. 2013. V. 3 (1). P. 93–105.

Kogelnig-Mayer B., Stoffel M., Schneuwly-Bollschweiler M., Hübl J., Rudolf-Miklau F. Possibilities and limitation of dendrogeomorphic time-series reconstruction on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity // Arctic, Antarctic and Alpine Res. 2011. V. 43. № 4. P. 649–658.

Malik I., Wistuba M. Dendrochronological methods for reconstructing mass movements – an example of landslide activity analysis using tree-ring eccentricity // Geochronometria. 2012. V. 39 (3). P. 180–196.

Methods of dendrochronology: Applications in the environmental sciences / Cook E.R., Kairukstis L.A. (Eds.). Dordrecht-Boston-London: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

Stoffel M., Bollschweiler M. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview // Natural Hazards and Earth System Sci. 2008. V. 8. P. 187–202.

Stoffel M., Corona C. Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees // Tree-Ring Res. 2014. V. 70. № 1. P. 3–20.

Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu. Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains // IOP conf. series: Earth and Environmental Science. 2016. V. 48. P. 1–9.

Trappmann D., Corona C., Stoffel M. Rolling stones and tree rings: A state of research on dendrogeomorphic reconstructions of rockfall // Progress in Phys. Geogr. 2013. V. 37. № 5. P. 701–716.

Assessment of Dendrogeomorphological Dating Methods of Past Geomorphic Processes in the Aktru Headwater (the Russian Altai Mountains)

S. A. Nikolaeva[1, *] and D. A. Savchuk[1, **]

[1]*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the SB RAS, Tomsk, Russia*

**e-mail: sanikol1@rambler.ru*

***e-mail: savchuk@imces.ru*

At the present, the dendrogeomorphological methods are widespread to date the past geomorphic processes. In areas that are poorly studied in this regard, they need to be tested for the effectiveness of their use. The article's goal is to evaluate the dendrogeomorphological methods of the past geomorphic events dating in the Aktru headwater (the Severo-Chuisky Range, the Russian Altai Mountains). The peculiarities of the methods were considered, and their effectiveness was evaluated for dating the past debris flows and snow avalanches in the debris flow torrent and snow avalanche path. The injury and the radial increment dendroindications were main and anatomical (tree-rings saturated by resin) and age dendroindications were additional. The non-dendrogeomorphological methods of detection and dating of the past geomorphic events (eyewitnesses, soil profiles, radiocarbon analyses, etc.) appeared to be especially useful. The use of all these methods in a complex made it possible to increase both the past events detection and the accuracy and reliability of their dating. In the debris flow torrent, 13 events (6 debris flows, 5 snow avalanches, 1 wildfire, and 1 unidentified event) were dated during 220 years before the present. In the snow avalanche path, 20 avalanches were dated during 65 years before the present.

Keywords: dendroindication, debris flow, snow avalanche, tree-ring, injury, radial increment

REFERENCES

Abdul'myanov S.N., Dostovalova M.S. Peculiarities of summer period of 2012 "Rainfall season is debris flow season". 2012. 4 p. Available at http://www.geophotobank.com/altai/article/article-pdf/2012-sommer_mudflow-season.pdf (accessed: 10.03.2021). (In Russ.).

Ballesteros J.F., Stoffel M., Bodoque J.M., Bollschweiler M., Hitz O., Díez-Herrero A. Changes in wood anatomy in tree rings of *Pinus pinaster* Ait. following wounding by flash floods. *Tree-Ring Res.*, 2010, vol. 66, no. 2, pp. 93–103.

Barashkova N.K., Koroleva T.V., Shmygleva G.M. Debris flow in the Aktru river valley of the Altai Mountains in 24 June 1984. In *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovanii* [Materials of Glaciological Studies]. Moscow: Inst. Geogr. RAS, 1986, vol. 56, pp. 121–124. (In Russ.).

Chiroiu P. Geomorphological studies of slope processes by the analysis of tree-rings. *Cent. Eur. Reg. Pol. Hum. Geogr.*, 2013, vol. 3, no. 1, pp. 93–105.

Dushkin M.A. Avalanches in the Aktru headwater. In *Glyatsiologiya Altaya* [Glaciology of the Altai Mountains]. Tomsk: Tomsk. Gos. Univ., 1974, vol. 8, pp. 39–59. (In Russ.).

Galakhov V.P., Nazarov A.N., Kharlamova N.F. *Kolebaniya lednikov i izmeneniya klimata v pozdnem golotsene po materialam issledovanii lednikov i lednikovykh ot-*

lozhenii basseina Aktru (Tsentral'nyi Altai, Severo-Chuiskii khrebet) [Glacier Fluctuations and Climate Changes in the Late Holocene According to Materials of Studies of Glaciers and Glacier Sedimentation in the Aktru Basin (the Central Altai Mountains, the North-Chuya Range)]. Barnaul: Altai. Gos. Univ., 2005. 132 p.

Geografiya lavin [Geography of Avalanches]. Myagkov S.M., Kanaev L.A., Eds. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1992. 249 p.

Gorchakovskii P.L., Shiyatov S.G. *Fitoindikatsiya uslovii sredy i prirodnykh protsessov v vysokogor'yakh* [Phytoindication of Environmental Conditions and Nature Processes in High Altitude Mountains]. Moscow: Nauka Publ., 1985. 209 p.

Ivanovskii L.N. *Ekzogennaya litodinamika gornykh stran* [Exogenous Lithodynamics in Mountains]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1983. 160 p.

Kogelnig-Mayer B., Stoffel M., Schneuwly-Bollschweiler M., Hübl J., Rudolf-Miklau F. Possibilities and limitation of dendrogeomorphic time-series reconstruction on sites influenced by debris flows and frequent snow avalanche activity. *Arct. Antarct. Alp. Res.*, 2011, vol. 43, no. 4, pp. 649–658.

Kuryanova T.K., Platonov A.D., Kosichenko N.E., Snegireva S.N., Chebotarev V.V., Makarov F.V. Effect of fire on the structure and quality of pine wood. *Nauchn. Zh. KubGAU*, 2011, vol. 74, no. 10, pp. 1–14. (In Russ.).

Malik I., Wistuba M. Dendrochronological methods for reconstructing mass movements – an example of landslide activity analysis using tree-ring eccentricity. *Geochronometria*, 2012, vol. 39, no. 3, pp. 180–196.

Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. Cook E.R., Kairukstis L.A., Eds. Dordrecht: Kluwer Acad. Publ., 1990. 394 p.

Myglan V.S., Barinov V.V., Nazarov A.N. A millennium-long tree-ring chronologies Koksu and Tara on Altay. *Zh. Sibir. Fed. Univ., Biol.,* 2015, vol. 8, no. 3, pp. 319–332. (In Russ.).

Nazarov A.N., Myglan V.S., Orlova L.A., Ovchinnikov I.Yu. Activity of the Maly Aktru Glacier (the Central Altai Mountains) and change of upper forest line in the Aktru basin during the historical period. *Led i Sneg*, 2016, vol. 56, no. 1, pp. 103–118. (In Russ.).

Nikolaeva S.A., Belova (Dirks) M.N. Phytocoenotic valuation of sites on avalanche tracks and debris flow deposits in the Aktru headwater. *Vestn. Tomsk. Gos. Univ., Biol.,* 2017, vol. 40, pp. 181–201. (In Russ.).

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A. Assessment of dendrogeomorphological dating methods of past geomorphic processes in the Aktru headwater (the Russian Altai Mountains). *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.,* 2020, vol. 84, no. 3, pp. 441–450. (In Russ.).

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A. Morphological forms of Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour) trees in high altitudinal forests of the North-Chuya Range. Dendrochronological aspect. *Zh. Sibir. Fed. Univ., Biol.*, 2015, vol. 8, no. 4, pp. 456–477. (In Russ.).

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Bocharov A.Yu. Influence of different factors on tree growth of *Pinus sibirica* in the highlands of the Central Altai Mountains. *Zh. Sibir. Fed. Univ., Biol.*, 2015, vol. 8, no. 3, pp. 299–318. (In Russ.).

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznetsov A.S. Dating of debris flow activity in the Aktru mountain glacier basin (the Altai Mountains). *Georisk*, 2017a, no. 2, pp. 56–63. (In Russ.).

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznetsov A.S. Dating of debris flows, avalanches and rockfalls in the Aktru headwater (North-Chuya Range, the Central Altai Mountains) by tree injuries. *Geoekol. Inzhenern. Geol. Gidrogeol. Geokriol.*, 2017b, no. 4, pp. 35–47. (In Russ.).

Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Kuznetsov A.S. Peculiarities of rockfall and avalanche activity in the Aktru headwater (the Altai Mountains). *Usp. Sovr. Estestvozn.*, 2018, no. 12, pp. 92–97. (In Russ.).

Perov V.F. *Selevedenie* [Debris Flow Science]. Moscow: Geogr. Fakul'tet. Mosk. Gos. Univ., 2012. 272 p.

Revyakin V.S., Kravtsova V.I. *Snezhnyi pokrov i laviny Altaya* [Snow Cover and Avalanches of the Altai Mountains]. Tomsk: Tomsk. Gos. Univ., 1977. 216 p.

Titova Z.A., Petkevich M.V. Observations of accumulation cones in the Aktru river valley. In *Glyatsiologiya Altaya* [Glaciology of Altai]. Tomsk: Tomsk. Gos. Univ., 1964, vol. 3, pp. 115–141. (In Russ.).

Shiyatov S.G., Vaganov E.A., Kirdyanov A.V., Kruglov V.B., Mazepa V.S., Naurzbaev M.M., Khantemirov R.M. *Metody dendrokhronologii* [Methods of Dendrochronology]. Vol. 1: *Osnovy dendrokhronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'tsevoi informatsii* [Basics of Dendrochronology. Collection and Determination of Tree Ring Information]. Krasnoyarsk: Krasnoyarsk. Gos. Univ., 2000. 80 p.

Stoffel M., Bollschweiler M. Tree-ring analysis in natural hazards research – an overview. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 2008, vol. 8, no. 2, pp. 187–202.

Stoffel M., Corona C. Dendroecological dating of geomorphic disturbance in trees. *Tree-Ring Res.,* 2014, vol. 70, no. 1, pp. 3–20.

Timoshok E.E., Timoshok E.N., Nikolaeva S.A., Savchuk D.A., Filimonova E.O., Skorokhodov S.N., Bocharov A.Yu. Monitoring of high altitudinal terrestrial ecosystems in the Altai Mountains. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2016, vol. 48, 012008. doi 10.1088/1755-1315/48/1/012008

Trappmann D., Corona C., Stoffel M. Rolling stones and tree rings: A state of research on dendrogeomorphic reconstructions of rockfall. *Prog. Phys. Geogr.*, 2013, vol. 37, no. 5, pp. 701–716.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 405–414

ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ И ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 639.28(265.51+265.53+265.54+268.45)

СОВРЕМЕННАЯ ДИНАМИКА И ПЕРСПЕКТИВЫ КРАБОВОГО ПРОМЫСЛА В РОССИИ

© 2021 г. А. Г. Дворецкий[a], *, П. А. Балыкин[b]

[a] *Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия*

[b] *Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия*

**e-mail: dvoretskiya@mmbi.info*

Поступила в редакцию 28.08.2020 г.
После доработки 09.02.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

Цель работы – дать характеристику использования крабовых ресурсов в России на начало XXI в. и оценить перспективы отрасли на Дальнем Востоке и в Северном бассейне. В морях Дальнего Востока наибольшее количество крабов (37% российского улова) вылавливается в Северо-Охотоморской подзоне. С 2001 по 2017 г. общие уловы возросли на 40%. В подзоне Приморье выросли уловы краба-стригуна опилио, в северной части Охотского моря – равношипого краба и краба-стригуна ангулятуса. В западной части Берингова моря сократился вылов синего краба и увеличился – краба-стригуна опилио. Основные причины указанных тенденций связаны с влиянием промысла и климатическими изменениями. В Северном бассейне добывают интродуцентов, камчатского краба и краба-стригуна опилио. Для камчатского краба отмечено перемещение районов промысла за пределы 12-мильной зоны и смещение районов вылова с запада на восток. Положительная динамика запаса позволяет прогнозировать повышение общего допустимого улова для обоих видов в ближайшие годы.

Ключевые слова: промысловые крабы, Дальний Восток, Северный бассейн, динамика вылова, районы промысла

DOI: 10.31857/S2587556621030055

ВВЕДЕНИЕ

Крабы составляют обособленную и многочисленную группу беспозвоночных отряда десятиногих ракообразных и включают свыше 4 тыс. видов, обитающих преимущественно в тропиках в морских и пресных водах, реже – на суше. Многочисленны крабы также в морях умеренных широт. В мировой добыче ракообразных на долю крабов приходится около 20%. В год их вылавливают от 350 до 400 тыс. т, в том числе в Тихом океане – 250–270 тыс. т, а в Атлантическом – 115–140 тыс. т (Незаконный ..., 2015). По зоологической номенклатуре крабы относятся к подтипу ракообразных, классу высших ракообразных и делятся на таксономически различные группы: настоящие крабы, к числу которых относятся дальневосточные промысловые волосатые крабы и крабы-стригуны, и ненастоящие, или крабоиды, среди которых особую ценность имеют представители семейства королевских крабов: камчатский, синий, колючий и др. Крабоиды отличаются от крабов числом ходильных конечностей: у них три пары ног, а у настоящих крабов – четыре (Слизкин, Сафронов, 2000). В промыслово-отчетной документации все эти ракообразные именуются крабами (Алексеев и др., 2017; Антонов и др., 2016).

Основными объектами отечественного крабового промысла на Дальнем Востоке являются следующие виды: краб-стригун опилио (*opilio snow (tanner) crab, queen crab*), краб-стригун Бэрда (*tanner crab, bairdi tanner crab*), краб-стригун ангулятус (*triangle tanner crab*), краб-стригун красный (*benizuwai crab*), краб четырехугольный волосатый (*horsehair crab*) и крабоиды: краб камчатский (*red king crab*), краб синий (*blue king crab*), краб колючий (*brown king crab*), краб равношипый (*golden king crab, brown king crab, deep water crab*), краб мохнаторукий. Промысловая значимость видов отличается по районам лова. Например, равношипый краб не встречается в Японском море (Слизкин, Сафронов, 2000), а красный краб-стригун, напротив, эндемик Японского моря. В Баренцевом море объектами промысла являются два вида-вселенца – камчатский краб и краб-стригун опилио (Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2015).

В первой половине XX в. на Дальнем Востоке крабов ловили, выставляя на путях миграций или кормовых скоплений на дне крупноячейные сети длиной до 100 м. Оптимальный застой сетей со-

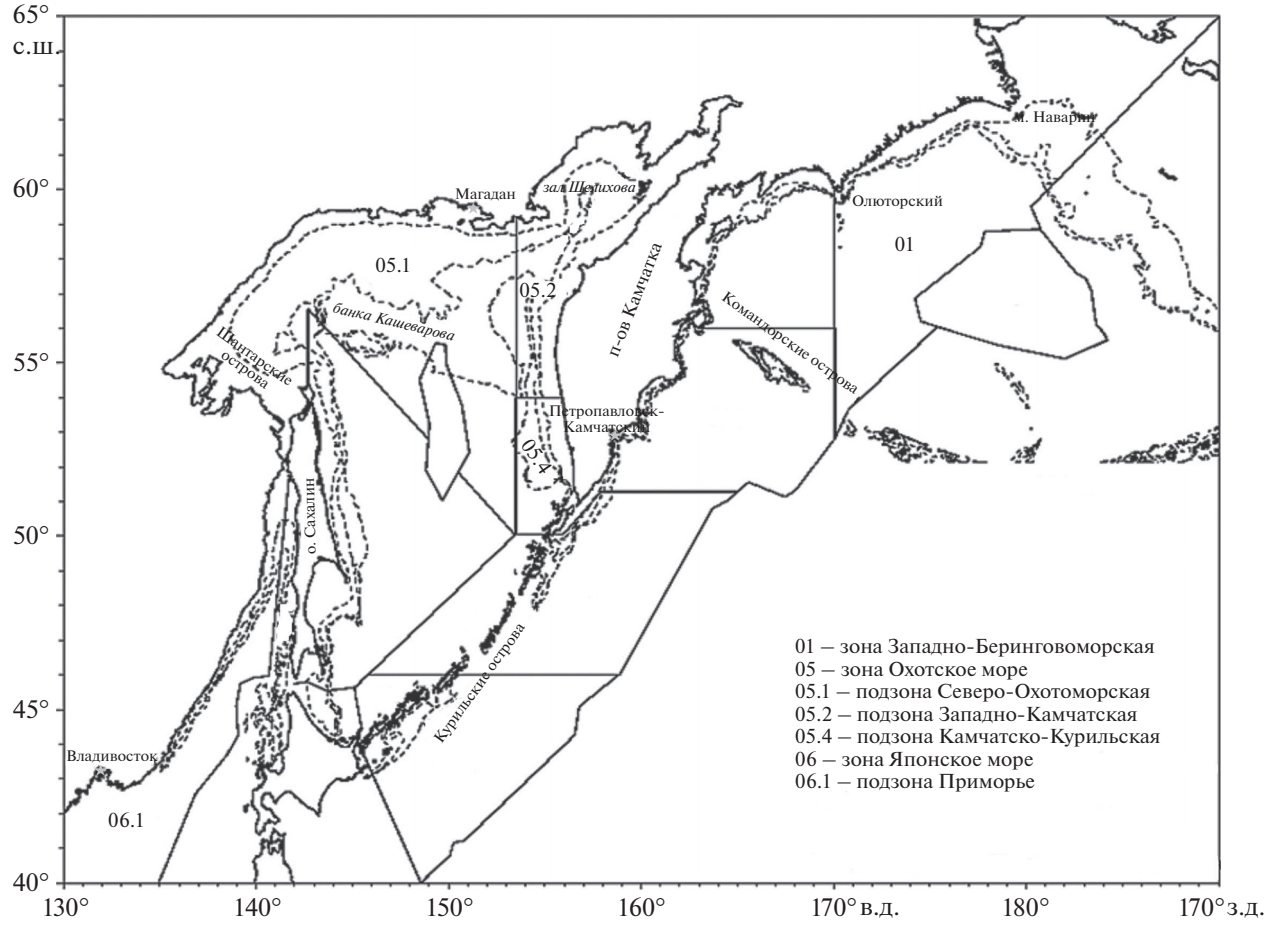

Рис. 1. Промысловое районирование дальневосточных морей России и прилегающих вод Тихого океана. Выделены важнейшие районы промысла крабов (Правила рыболовства для дальневосточного рыбохозяйственного бассейна. Приложение к приказу Минсельхоза России от 21 октября 2013 г. № 385).

ставлял 2–4 сут. При сетном промысле прилов молоди и самок доходил до 70% и практически полностью уничтожался. В результате перехода на добычу крабов ловушками в 1970-е годы снижение запасов прекратилось (Слизкин, Сафронов, 2000).

Прибыль от реализации выловленных водных биологических ресурсов является важной статьей наполнения российского бюджета. Так, оптовая цена варено-мороженных конечностей камчатского краба в Центральном регионе варьирует в зависимости от категории продукции от 2 до 3 тыс. руб./кг, мяса – от 2.5 до 5.5 тыс. руб./кг, для крабов-стригунов эти цены составляют 0.9–1.2 тыс. руб./кг и 1.5–3 тыс. руб./кг соответственно. Розничные цены выше на 10–40%. При этом общий объем экспортного рынка крабовой продукции в России составляет более 120 млрд руб.

Целью нашей обзорной работы является характеристика использования крабовых ресурсов на начало XXI в. и оценка перспектив отрасли на Дальнем Востоке и Северном бассейне.

ДАЛЬНИЙ ВОСТОК

Районы промысла. Дальневосточная экономическая зона России включает в себя акватории Охотского, Японского и Берингова морей, тихоокеанские воды, омывающие восточную Камчатку и Курильские острова. Эти акватории обеспечивают почти 70% ежегодной российской добычи водных биоресурсов. В 2015–2017 гг. в данном регионе добывалось 3.0–3.1 млн т водных биоресурсов. На рис. 1 приводится схема рыбопромыслового районирования дальневосточных вод.

Данное деление было утверждено Приказом Минрыбхоза СССР № 408 от 09.09.1980 г. и в дальнейшем в него несколько раз вносились изменения. Например, в 1989 г. единый прежде Западнокамчатский рыбопромысловый район в интересах промысла краба был разделен на Западнокамчатскую и Камчатско-Курильскую подзоны. В 2008 г. к северу от Анадырского залива из Западноберинговоморской зоны была выделена Чукотская. Со времени введения в действие данной схемы рыбопромыслового районирования в дальневосточ-

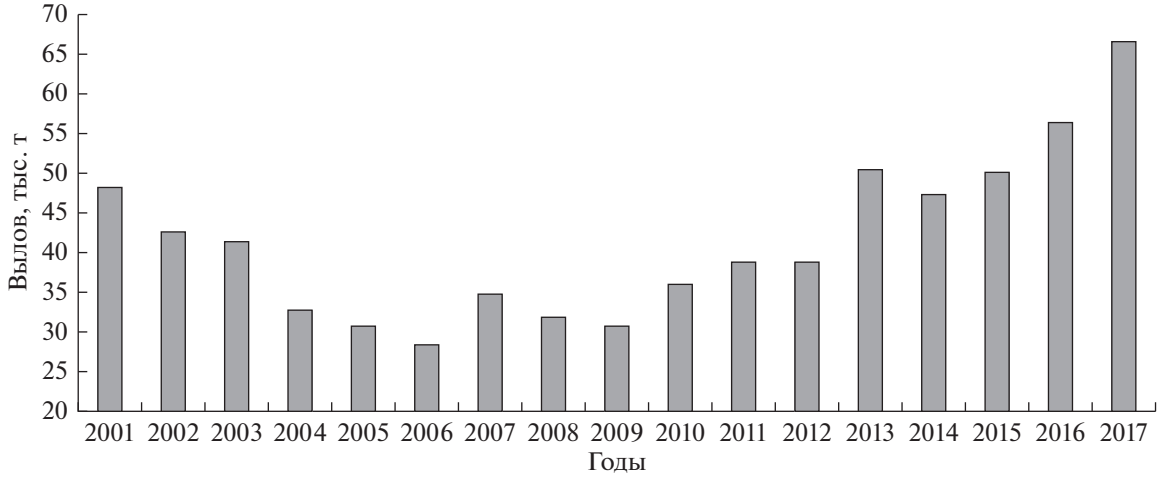

Рис. 2. Вылов крабов российской краболовной флотилией на Дальнем Востоке в 2001–2017 гг.

ном регионе произошли огромные социально-экономические и климатические изменения, обусловившие необходимость ее модернизации в соответствии с современными требованиями (Балыкин, 2009, 2018а).

Результаты промысла. Крабовый специализированный промысел на Дальнем Востоке начался в конце XIX в. в Японском море, однако уже в начале XX в. акватория промысла значительно расширилась и охватила южную часть Охотского моря (Слизкин, Сафронов, 2000). В настоящее время крабовый промысел осуществляется в 11 промысловых районах Японского, Охотского, Берингова морей, тихоокеанских водах Курильских островов и Камчатского полуострова, однако, по данным ТИНРО, в 2015–2017 гг. более 85% годового улова крабов и крабоидов добывалось в следующих зонах и подзонах: Приморье (21%), Камчатско-Курильская (12%), Западно-Камчатская (21%), Северо-Охотоморская (37%), Западно-Беринговоморская (9%).

В текущем столетии краболовной флотилией Дальнего Востока добывалось от 28.5 тыс. т (2006 г.) до 68.8 (2017 г.) тыс. т в год (рис. 2), т.е. вылов варьировал почти в 2.5 раза. В 2001–2006 гг. уловы сокращались, с 2009 г. начался рост объемов добычи. В целом с 2001 по 2017 г., согласно промысловой отчетности, уловы возросли на 40%.

Есть основания полагать, что фактические уловы намного больше сообщаемых. Так, по оценкам Росрыболовства, за 2011 г. стоимость незаконно добытого в российских водах сырца оценивается в 800 млн долларов, а в 2010 г. эта цифра была в несколько раз выше – 2.5 млрд долларов. Доля Дальнего Востока в этом показателе – не ниже 40%.

При этом более 60% незаконного промысла в этом регионе приходится на крабов. Например, российский общий допустимый улов (ОДУ) камчатского краба в 2012 г. был превышен более чем в два раза (Балыкин, 2018а). Для предотвращения незаконного промысла водных биоресурсов принимаются многочисленные программы и концепции, заключаются межправительственные соглашения между странами Северо-Тихоокеанского региона (Незаконный..., 2015), однако пока решить эту проблему не удается.

Рассмотрим динамику уловов в трех промрайонах, различающихся географическим местоположением: Приморье, Северо-Охотоморская подзона (самая значимая для промысла крабов), Западно-Беринговоморская зона. В целях выявления тренда величины улова и его состав осреднялись для 3-летних промежутков.

Наибольшие уловы крабов в Японском море (подзона Приморье) имели место в первые годы XXI в., средний объем добычи в 2001–2003 гг. превышал 10.5 тыс. т. К концу первой декады века средние уловы снизились до 3.4 тыс. т, после чего стали увеличиваться и в 2015–2017 гг. достигли 9.4 тыс. т. При этом существенным образом изменился видовой состав уловов (рис. 3): в период лет с максимальными уловами (2001–2003 гг.) вылов более чем на 80% состоял из красного краба-стригуна.

Вторым по доле в уловах был камчатский краб (12%), суммарный вклад других видов составил 7%. Когда уловы упали до минимума (2007–2009 гг.), доля красного краба-стригуна осталась на прежнем уровне, резко уменьшился вклад камчатского краба (вследствие запрета его промысла), и в несколько раз увеличилась доля краба-стригуна опилио. В 2015–2017 гг. этот показатель достиг 1/3 общего улова, тогда как вклад красного краба-стригуна сократился до 50%. Значимым объектом промысла стал колючий краб (4%), а в 2008 г. в промысловой отчетности впервые появился японский

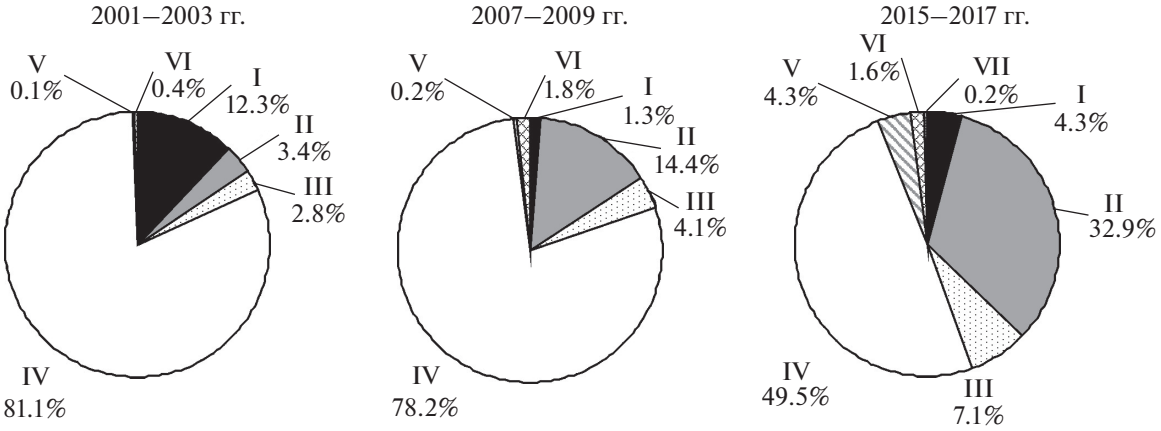

Рис. 3. Изменения видового состава крабовых уловов в подзоне Приморье: I – краб камчатский, II – стригун опилио, III – краб синий, IV – стригун красный, V – краб колючий, VI – краб волосатый, VII – мохнаторукий краб.

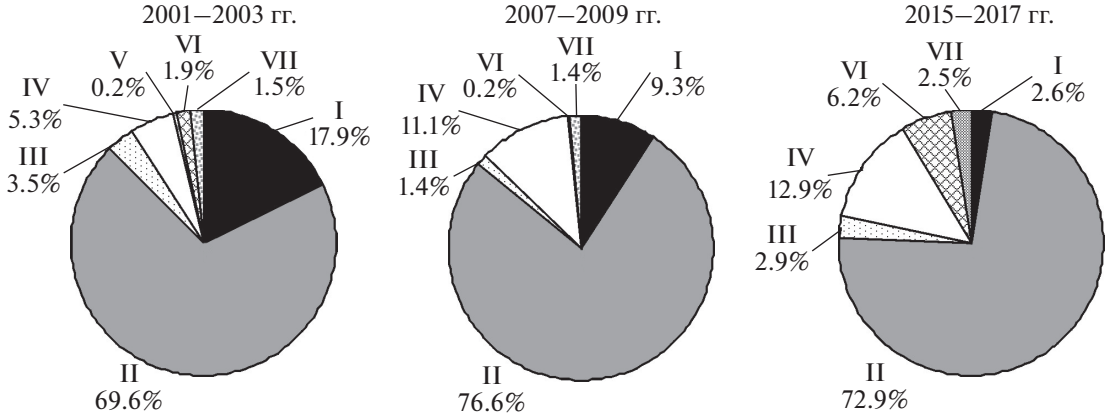

Рис. 4. Изменения видового состава крабовых уловов в подзоне Северо-Охотоморская: I – краб камчатский, II – стригун опилио, III – краб синий, IV – краб равношипый, V – стригун Бэрда, VI – стригун ангулятус, VII – краб колючий, VIII – краб волосатый.

мохнаторукий краб. Уловы этого вида к 2017 г. увеличились с 1 до 50 т. Эти изменения величины и состава крабовых уловов, очевидно, свидетельствуют о переменах, происходящих в экосистеме Японского моря.

Ситуацию в Охотском море характеризует информация о крабовом промысле в Северо-Охотоморской подзоне. Наименьший средний улов зафиксирован в 2004–2006 гг. (10.7 тыс. т), наибольший – в 2010–2012 гг. (19.2 тыс. т). В данном районе улов состоит, главным образом, из краба-стригуна опилио (70% и более). Доля других видов была наибольшей в 2001–2003 гг. В 2007–2009 гг. соотношение видов изменилось – вклад равношипого краба увеличился вдвое, а доля синего и камчатского примерно так же уменьшилась. В 2015–2017 гг. относительное количество равношипого краба еще более возросло, а третьим по доле в уловах оказался краб-стригун ангулятус. Вклад камчатского, синего и колючего краба – на одном уровне (менее 3%) (рис. 4).

В западной части Берингова моря (Западно-Беринговоморская зона) промысловые скопления образуют только 3 вида крабов: синий и стригуны опилио и Бэрди (Балыкин, Карпенко, 2010). Наименьшие уловы в этом регионе регистрировались в 2004–2006 гг., наибольшие – в 2015–2017 гг., когда средняя добыча составила почти 4.6 тыс. т в год. В XX в. главным объектом промысла являлся синий краб, уловы которого иногда достигали порядка 7–10 тыс. т (Балыкин, Карпенко, 2010) – рис. 5. Как можно видеть, в течение первых 17 лет текущего столетия доля синего краба снизилась с 59% до менее половины улова, а краба-стригуна Бэрди – с 11 до 7%, тогда как вклад краба-стригуна опилио вырос с 30 до 45% добычи.

В целом в морях Дальнего Востока на рубеже XX–XXI вв. изменилась видовая структура ОДУ

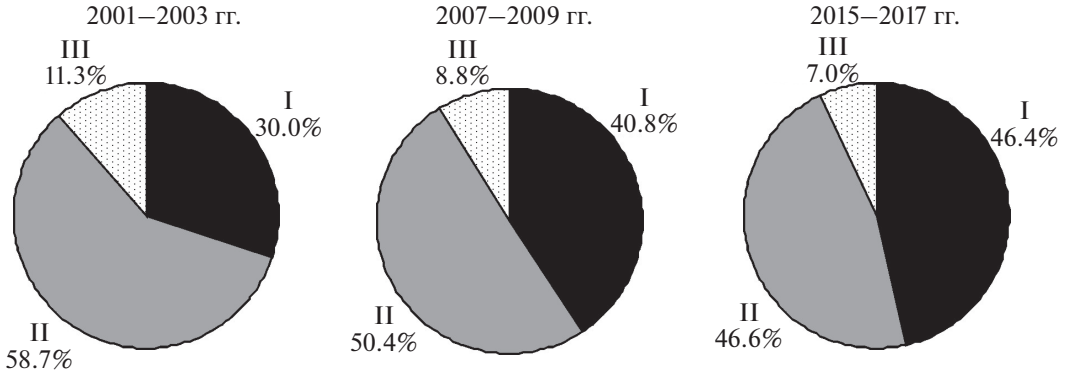

Рис. 5. Изменения видового состава крабовых уловов в зоне Западно-Беринговоморская: I – стригун опилио, II – синий краб, III – стригун Бэрда.

крабов. Если до 2000 г. в объеме ОДУ 50% и более занимали камчатский, синий и равношипый крабы, то с 2001 г. начинается доминирование крабов-стригунов. К 2010 г. доля указанных крабов составляет всего 18% от ОДУ, а камчатского краба – только 3.6%. Тем не менее суммарный вылов крабов в последние годы заметно вырос (Алексеев и др., 2017). Выполненный ранее анализ результатов российского рыболовства на Дальнем Востоке, а также промысла основных видов – минтая, трески и лососей – позволил выдвинуть гипотезу о влиянии глобального потепления на состояние сырьевой базы рыбной промышленности (Балыкин, 2018б).

СЕВЕРНЫЙ БАССЕЙН

Районы промысла. Схема рыбопромыслового районирования была разработана Главком "Севрыба" в 1974 г. (рис. 6). После установления в 1976 г. де-юре и в 1978 г. де-факто на акватории Баренцева моря и сопредельных вод 200-мильных экономических зон данный регион оказался под юрисдикцией двух прибрежных стран – России и Норвегии. С этого времени рыболовная деятельность ежегодно осуществляется на двусторонней основе в рамках межправительственной Смешанной Российско-Норвежской комиссии по рыболовству (СРНК), которая гарантирует обеим сторонам право промысла в водах друг друга. Схема 1974 г. не совпадает с районированием, принятым в Международном совете по исследованию моря, с границами реальных морских экосистем и не учитывает внутривидовой популяционный состав эксплуатируемых гидробионтов (Балыкин, 2018а).

Вселение и распространение крабов. Мероприятия по массовой интродукции камчатского краба в Баренцево море проводились в 1960-х годах (Кузьмин, Гудимова, 2002). Основное количество крабов было отловлено в зал. Петра Великого (Японское море). Только одну партию (в 1965 г.) доставили из Озерновского рыбокомбината (западное побережье Камчатского полуострова). За период основного вселения в 1961–1969 гг. в Баренцево море было выпущено около 3 тыс. крабов в возрасте 6–15 лет, 10 тыс. экземпляров молоди и около 1.6 млн личинок. Первый случай поимки камчатского краба (крупная икряная самка) зарегистрирован в 1974 г. В течение последующих лет количество находок краба возрастало, а к середине 1990-х годов камчатский краб сформировал независимую от дальневосточных баренцевоморскую популяцию (Кузьмин, Гудимова, 2002). В настоящее время ареал камчатского краба простирается вплоть до 71°30′ с.ш., до Финмаркенской банки на западе и Южного склона Гусиной банки на востоке (рис. 7а) (Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2018). Молодь обитает в прибрежье (Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2013, 2020), тогда как промысловые особи преобладают в открытом море (Бизиков и др., 2018; Дворецкий А., Дворецкий В., 2010; Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2018).

В мае 1996 г. на Северном склоне Гусиной банки (72°10′ с.ш., 46°13′ в.д.) в улове донным креветочным тралом был обнаружен первый в Баренцевом море экземпляр краба-стригуна (самка без икры) (Кузьмин и др., 1998). В последующие годы количество находок вида возрастало. Большая часть попаданий крабов в промысловые тралы была зарегистрирована в юго-восточной части Баренцева моря (Краб-стригун..., 2016, Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2015). С 2011 г. отмечено стремительное повышение общей численности популяции и плотности поселения крабов в приновоземельских водах (Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2015). Наиболее обоснованным способом инвазии краба-стригуна в Баренцево море считается занос личинок с балластными водами судов из Тихого океана или из Северо-Западной Атлантики (Краб-стригун..., 2016). В Баренцевом море современный ареал краба-стригуна простирается в восточной части

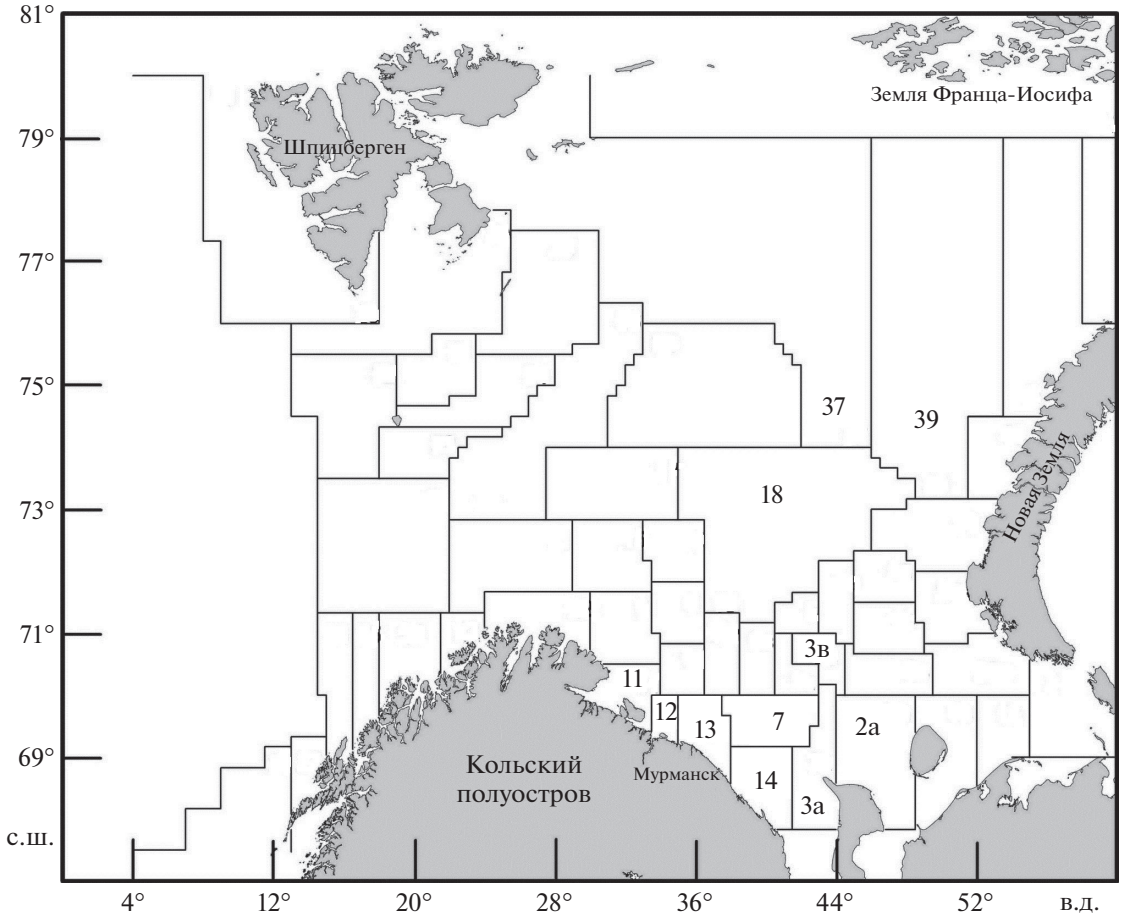

Рис. 6. Схема рыбопромыслового районирования Северного бассейна (Карта..., 1957). Выделены важнейшие районы промысла крабов: 2а – Канино-Колгуевское мелководье; 3а – Канинская банка; 3в – Северо-Канинская банка; 7 – Мурманское мелководье; 11 – Рыбачья банка; 12 – Кильдинская банка; 13 – Западный Прибрежный район; 14 – Восточный Прибрежный район; 18 – Центральный желоб; 37 – Возвышенность Персея; 39 – Новоземельская банка (Карта промысловых районов Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1957. Вып. 10. С. 281).

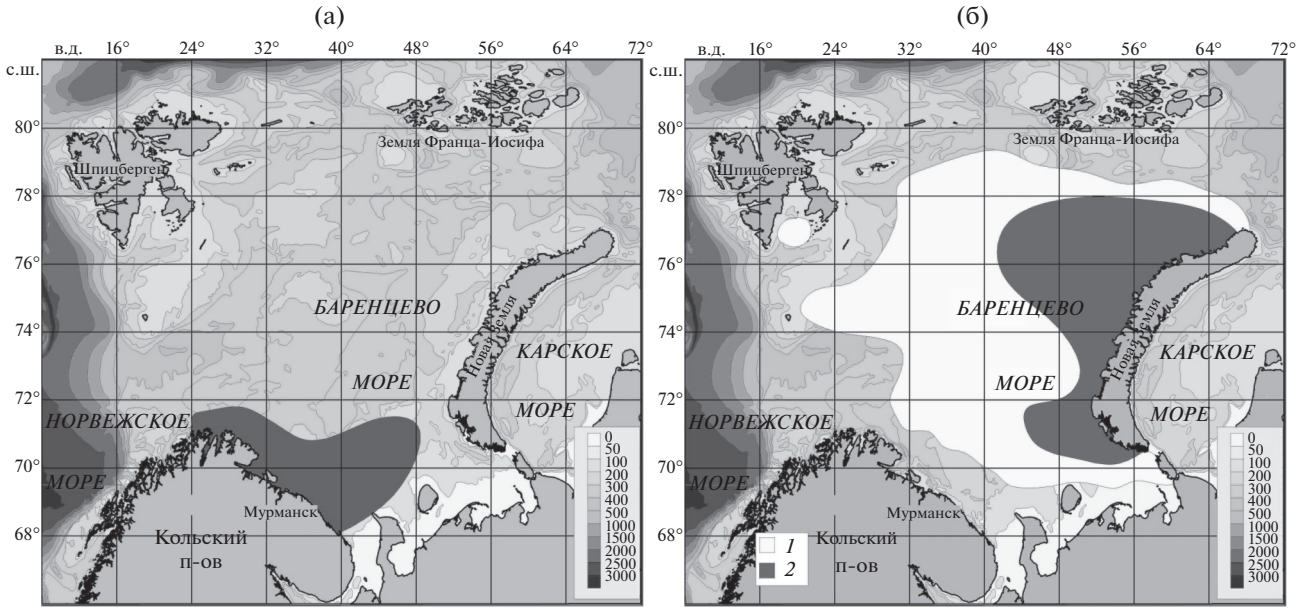

Рис. 7. Ареал камчатского краба (а) и краба-стригуна опилио (б) в Баренцевом море. *1* – общая граница распространения, *2* – локализация массовых скоплений.

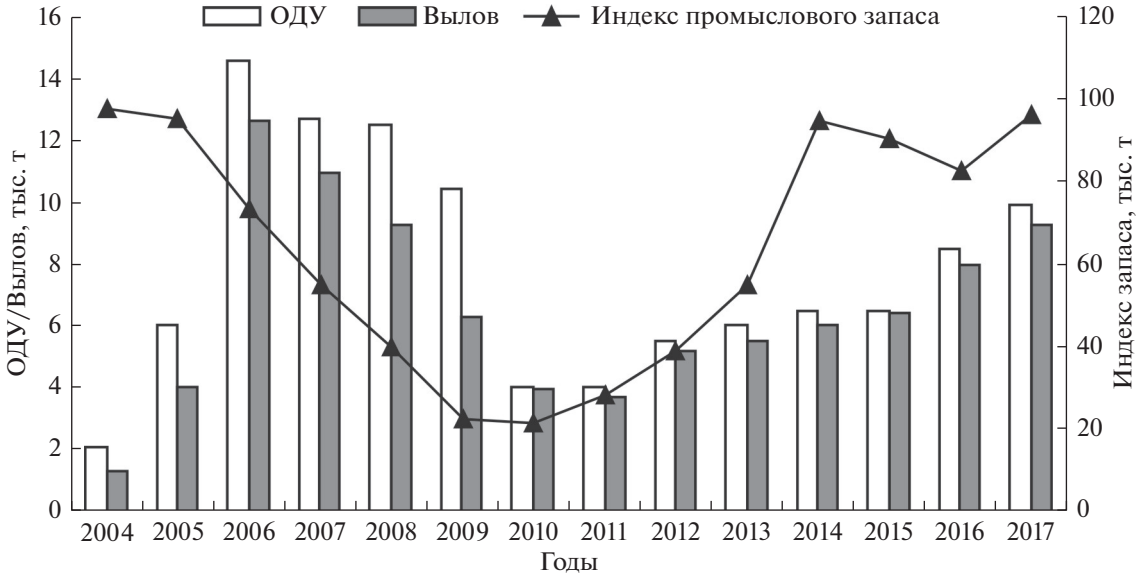

Рис. 8. Динамика биомассы промыслового запаса, общего допустимого улова и официального вылова камчатского краба в исключительной экономической зоне России в 2004–2017 гг.

Баренцева моря от о. Колгуев на юге до архипелага Франца-Иосифа на севере (рис. 7б) (Краб-стригун..., 2016).

Динамика запаса и промысел. Камчатский краб. В первые годы исследований добыча осуществлялась тралами и ловушками в Мотовском заливе, губах Малая и Большая Волоковые, на смежных участках прибрежья п-овов Рыбачий и Средний, на акватории к югу и юго-востоку от Айновых островов (за границей заповедника) и склонах Айновской банки. Позднее промысел сместился к Западному и Восточному Прибрежным районам и Мурманскому мелководью. За период экспериментального промысла (1994–2003 гг.) величина национальной квоты возрастала по мере роста запаса краба с 22 тыс. экз. в 1994 г. до 600 тыс. экз. в 2003 г. Российский вылов камчатского краба повысился с 6 до 600 тыс. экз. Суммарно за 1994–2003 гг. официальный вылов составил 1.125 млн экз. (3.631 тыс. т) (Камчатский краб..., 2003).

Промышленная добыча камчатского краба в российских водах Баренцева моря берет свое начало с 2004 г. Добыча осуществлялась на Рыбачьей и Кильдинской банках, в Западном и Восточном Прибрежных районах, на Мурманском мелководье. ОДУ составлял 2.1 тыс. т. Всего было добыто 1.281 тыс. т камчатского краба (Бизиков и др., 2018; Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2018). Высокий уровень эксплуатации запаса в 2005–2006 гг., в том числе и нелегальный промысел (Дворецкий А., 2011; Дворецкий А., Дворецкий В., 2010; Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2018), оказал негативное воздействие на численность промысловой части популяции и привел к вынужденному сокращению вылова: с 12.639 тыс. т в 2006 г. до 3.702 тыс. т в 2011 г. В связи с негативными тенденциями (Бизиков и др., 2018) в 2010 г. был введен запрет на добычу камчатского краба в территориальном море (Бизиков и др., 2018; Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2018). Благодаря этому, в 2011 г. численность промысловой части популяции в исключительной экономической зоне России увеличилась почти в 2 раза. Производительность промысла в 2014 г. достигла исторического максимума. ОДУ равнялся 6.5 тыс. т, суммарный вылов – 5.995 тыс. т (Бизиков и др., 2018). В 2017 г. эти показатели возросли, составив соответственно 9.94 и 9.285 тыс. т (2.3 млн экз.). Основная часть улова была получена на юго-востоке Мурманского мелководья (Бизиков и др., 2018; Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2018). В 2018 и 2019 гг. уловы составили 9.187 и 9.836 тыс. т соответственно (Dvoretsky A. et al., 2021). Динамика промысловых показателей камчатского краба за период коммерческого промысла обобщена на рис. 8.

Краб-стригун опилио. В годы первых поимок биомасса промысловых самцов была крайне низка, а межгодовая динамика не имела определенного тренда. В 1996–2002 гг. промысловая биомасса выросла в 10 раз – с 0.06 до 0.62 тыс. т. Начиная с 2002 г. наблюдается устойчивый рост запаса с периодом скачкообразного увеличения биомассы в 2004–2005 гг. (Краб-стригун..., 2016). Динамику запаса можно разделить на 3 периода (рис. 9): низкая численность краба-стригуна опилио в 2005–2008 гг., активное увеличение численности в 2009–2014 гг. и высокую численность в 2015–2017 гг., когда промысловая биомасса составляла 410–490 тыс. т.

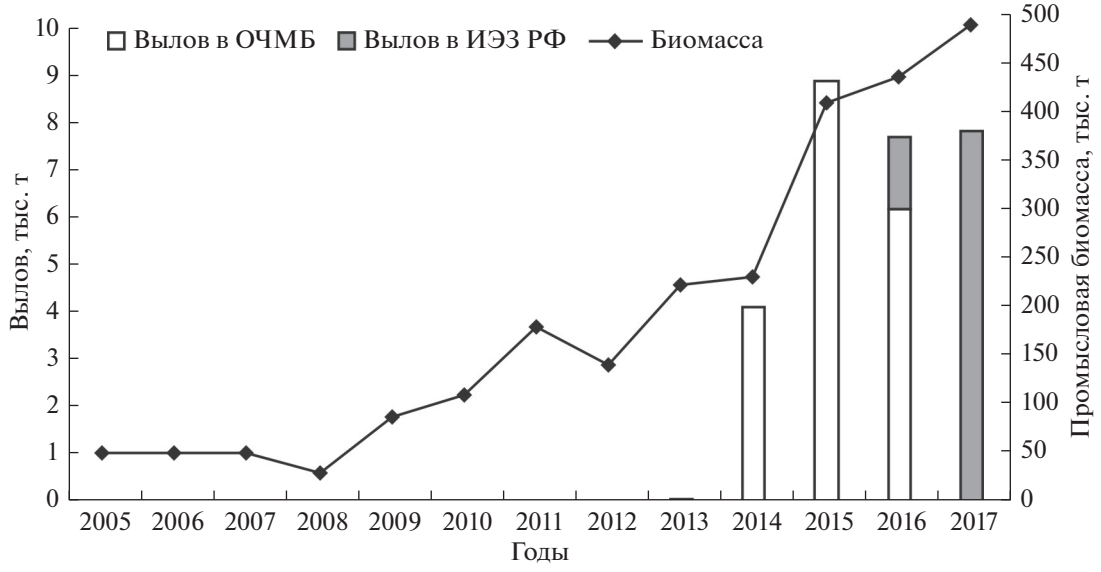

Рис. 9. Динамика биомассы промыслового запаса и официального вылова камчатского краба в открытой части (ОЧБМ) и в исключительной экономической зоне России (ИЭЗ РФ) в Баренцевом море.

В 2013 г. в открытой части Баренцева моря был начат международный промысел краба-стригуна опилио, в котором участвовало 1 испанское, 2 норвежских и 2 российских судна (Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2015). Иностранными судами в первый сезон промысла было выловлено более 600 т краба. Российский промысел проводился в ноябре–декабре 2013 г., добыто 62 т (Краб-стригун..., 2016; Dvoretsky A., Dvoretsky V., 2015). В 2014–2016 гг. российские суда выловили 19.2 тыс. т. В 2017 г. российский промысел в этой части моря не осуществлялся. В 2016 г. вылов краба-стригуна опилио был начат в российской исключительной экономической зоне моря, общий вылов составил 1.5 тыс. т (рис. 9). В 2017 г. он возрос до 7.84 тыс. т. Положительная динамика запаса позволяет делать прогноз о значительном увеличении ОДУ краба-стригуна в ближайшие годы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в трех из пяти наиболее значимых районах крабового промысла Дальневосточного бассейна наблюдаются изменения величины и состава уловов. Если в подзоне Приморье максимум уловов пришелся на начало XXI в., то в северной части Охотского моря – на 2010–2012 гг., а в западной части Берингова моря – на 2015–2017 гг. Поскольку подъемы уловов сменяются спадами, следует ожидать снижения добычи крабов в Беринговом и, вероятно, Охотском морях в ближайшие годы. В Японском море уменьшился вклад глубоководного красного краба-стригуна и возрос – краба-стригуна опилио. В промысловой отчетности появился ранее отсутствующий японский мохнаторукий краб. В северной части Охотского моря заметно возросла доля глубоководных равношипого краба и краба-стригуна ангулятуса. В западной части Берингова моря сократился вклад синего краба, избегающего вод с отрицательной температурой, и увеличился – краба-стригуна опилио, устойчивого к холодным водам. Главным фактором этих перемен является промысловое воздействие – повышенная нагрузка на “основные” для данного промрайона виды приводит к увеличению вклада “второстепенных”.

В Баренцевом море российский научно-экспериментальный лов камчатского краба осуществлялся в западной части ареала. С началом промышленного рыболовства в 2004 г. промысел охватывал Мурманское мелководье и Восточный Прибрежный район. Высокий уровень эксплуатации запаса в 2005–2006 гг. послужил причиной снижения численности промысловой части популяции, что, в свою очередь, привело к сокращению промысловой нагрузки в последующие годы. Благодаря запрету на промысел краба в территориальном море, в 2011 г. была отмечена смена тенденции в динамике промыслового запаса с отрицательной на положительную, что послужило основанием для увеличения ОДУ. В 2017–2018 гг. ОДУ составил 9.94 тыс. т, уровень освоения квот – более 90%. После непреднамеренной интродукции краба-стригуна опилио отмечен взрывной рост его численности в Баренцевом море. С 2005 по 2017 г. промысловая биомасса вида выросла на порядок, достигнув 490 тыс. т. В открытой части Баренцева моря российский и международный лов краба ведется с 2013 г., а в исключительной экономической зоне РФ – с 2016 г. Годовой вы-

лов российскими судами в последние годы держится на уровне 8 тыс. т. Имеются хорошие перспективы для увеличения ОДУ промысловых крабов в Северном бассейне.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена за счет финансирования Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственных заданий ММБИ РАН и ЮНЦ РАН.

FUNDING

The study was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state-ordered research themes of MMBI RAS and SSC RAS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Алексеев Д.О., Буяновский А.И., Бизиков В.А. Принципы построения единой стратегии регулирования промысла крабов и крабоидов в морях России // Вопр. рыболовства. 2017. Т. 18. № 1. С. 21–41.

Антонов Н.П., Кловач Н.В., Орлов А.М., Датский А.В., Лепская В.А., Кузнецов В.В., Яржомбек А.А., Абрамов А.А., Алексеев Д.О., Моисеев С.И., Евсеева Н.А., Сологуб Д.О. Рыболовство в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2013 г. // Тр. ВНИРО. 2016. Т. 160. С. 133–211.

Балыкин П.А. Глобальное потепление и российские уловы на Дальнем Востоке // Использование и охрана природных ресурсов России. 2018б. № 4. С. 65–77.

Балыкин П.А. К вопросу о рыбопромысловом районировании западной части Берингова моря // Вопросы рыболовства. 2009. Т. 10. № 1 (37). С. 136–149.

Балыкин П.А. Проблемы рыбопромыслового районирования в Тихом и Северном Ледовитом океанах // Пробл. Дальнего Востока. 2018а. № 6. С. 99–109.

Балыкин П.А., Карпенко В.И. Промысловые беспозвоночные животные // Современное состояние экосистемы западной части Берингова моря. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2010. С. 105–118.

Бизиков В.А., Сидоров Л.К., Алексеев Д.О., Буяновский А.И. Динамика численности и размерного состава камчатского краба в Баренцевом море в период 2003–2016 гг. // Тр. ВНИРО. 2018. Т. 172. С. 91–127.

Дворецкий А.Г. О проведении судебных биологических экспертиз по камчатскому крабу (на примере Баренцева моря) // Вопросы рыболовства. 2011. Т. 12. № 1 (45). С. 175–181.

Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Динамика популяционных показателей камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в губе Дальнезеленецкая Баренцева моря в 2002–2008 гг. // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11. № 1 (41). С. 100–111.

Камчатский краб в Баренцевом море. Мурманск: ПИНРО, 2003. 383 с.

Краб-стригун опилио в Баренцевом и Карском морях. Мурманск: ПИНРО, 2016. 242 с.

Кузьмин С.А., Ахтарин С.М., Менис Д.Т. Первые нахождения краба-стригуна *Chionoecetes opilio* (Decapoda, Majidae) в Баренцевом море // Зоол. журн. 1998. Т. 77. № 4. С. 489–491.

Кузьмин С.А., Гудимова Е.Н. Вселение камчатского краба в Баренцево море. Особенности биологии, перспективы промысла. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 236 с.

Незаконный промысел краба на Дальнем Востоке: история, современное состояние проблемы и пути ее решения: Сб. материалов межведомственного семинара (г. Владивосток, 3 июля 2015 г.). Владивосток: Центр изучения новых вызовов и угроз национальной безопасности РФ, 2015. 27 с.

Слизкин А.Г., Сафронов С.Г. Промысловые крабы прикамчатских вод. Петропавловск-Камчатский: Северная Пацифика, 2000. 142 с.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Commercial fish and shellfish in the Barents Sea: have introduced crab species affected the population trajectories of commercial fish? // Rev. Fish Biol. Fisheries. 2015. V. 25. P. 297–322.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Effects of environmental factors on the abundance, biomass, and individual weight of juvenile red king crabs in the Barents Sea // Front. Mar. Sci. 2020. V. 7. Art. 726.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Population dynamics of the invasive lithodid crab, *Paralithodes camtschaticus*, in a typical bay of the Barents Sea // ICES J. Mar. Sci. 2013. V. 70. P. 1255–1262.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) fisheries in Russian waters: historical review and present status // Rev. Fish Biol. Fisheries. 2018. V. 28. P. 331–353.

Dvoretsky A.G., Bichkaeva F.A., Baranova N.F., Dvoretsky V.G. Fatty acid composition of the Barents Sea red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) leg meat // J. Food Compos. Anal. 2021. V. 98. Art. 103826.

Modern Dynamics and Perspectives of Crab Fishery in Russia

A. G. Dvoretsky[1, *] and P. A. Balykin[2]

[1]Murmansk Marine Biological Institute RAS, Murmansk, Russia

[2]Southern Scientific Centre RAS, Rostov-on-Don, Russia

**e-mail: dvoretskiya@mmbi.info*

In the Russian Far East, the maximum catches of commercial crabs (37%) are registered in the North Okhotsk Sea sub-zone. From 2001 to 2017, the total annual crab catches increased at a 40% level and reached

69 000 t. In the Prymorie sub-zone, landings of snow crab increased considerably, while in the northern part of the Sea of Okhotsk, the same pattern was registered for golden king crab and triangle tanner crab. Snow crab catches' increase and blue king crab catches' decrease were registered in the western part of the Bering Sea. These changes are associated with high fishing pressure and climate change. In the Northern Basin, commercial crab fisheries of the Russian Federation are supported by two non-indigenous species, red king crab and snow crab. The geography of the red king crab local fishery demonstrated displacement of the fishery outside the 12-mile zone and distribution of main fishing areas from the west to the east. In the last years, the total catches reached 9000–10 000 t for king crabs and 8000 t for snow crabs. Positive tendencies in stock parameters let scientists predict further increasing the total allowable catches for both crab species.

Keywords: commercial crabs, Far East, Northern Basin, catch dynamics, geography of fishery

REFERENCES

Alekseev D.O., Buyanovskii A.I., Bizikov V.A. Principles of creating a main strategy of fishery of crabs and craboids in Russian seas. *Vopr. Rybolovstva*, 2017, vol. 18, pp. 21–41. (In Russ.).

Antonov N.P., Klovach N.V., Orlov A.M., Datskii A.V., Lepskaya V.A., Kuznetsov V.V., Yarzhombek A.A., Abramov A.A., Alekseev D.O., Moiseev S.I., Evseeva N.A., Sologub D.O. Fishery in the Far East fishery basin in 2013. *Tr. VNIRO*, 2016, vol. 160, pp. 133–211. (In Russ.).

Balykin P.A. Global warming and Russian catches in the Far East. *Ispolz. Okhrana Prir. Resur. Ross.*, 2018a, no. 4, pp. 65–77. (In Russ.).

Balykin P.A. Problems of fishing zoning in the Pacific and Arctic oceans. *Probl. Dal'nego Vostoka*, 2018b, no. 6, pp. 99–109. (In Russ.).

Balykin P.A. To the question of the fisheries zoning of the Western part of the Bering Sea. *Vopr. Rybolovstva*, 2009, vol. 10, no. 1(37), pp. 136–149. (In Russ.).

Balykin P.A., Karpenko V.I. Commercial invertebrates. In *Sovremennoe sostoyanie ekosistemy zapadnoi chasti Beringova morya* [Current State of the Ecosystem of the Western Part of the Bering Sea]. Rostov-on-Don: YuNTs RAN, 2010, pp. 105–118. (In Russ.).

Bizikov V.A., Sidorov L.K., Alekseev D.O., Buyanovskii A.I. Changes in abundance and size composition of the Red King Crab in the Barents Sea during the period from 2003 till 2016. *Tr. VNIRO*, 2018, vol. 172, pp. 91–127. (In Russ.).

Dvoretsky A.G. On the processing of judicial biological expertise on red king crab (in the Barents Sea as an example). *Vopr. Rybolovstva*, 2011, vol. 12, no. 1 (45), pp. 175–181. (In Russ.).

Dvoretsky A.G., Bichkaeva F.A., Baranova N.F., Dvoretsky V.G. Fatty acid composition of the Barents Sea red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) leg meat. *J. Food Compos. Anal.*, 2021. vol. 98, 103826.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Commercial fish and shellfish in the Barents Sea: have introduced crab species affected the population trajectories of commercial fish? *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 2015, vol. 25, no. 2, pp. 297–322.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Dynamics of population characteristics of the red king crab, *Paralithodes camtschaticus* in Dalnezelenetskaya bay (Barents Sea) in 2002–2008. *Vopr. Rybolovstva*, 2010, vol. 11, no. 1 (41), pp. 100–111. (In Russ.).

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Effects of environmental factors on the abundance, biomass, and individual weight of juvenile red king crabs in the Barents Sea. *Front. Mar. Sci.*, 2020. vol. 7, 726.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Population dynamics of the invasive lithodid crab, *Paralithodes camtschaticus*, in a typical bay of the Barents Sea. *ICES J. Mar. Sci.*, 2013, vol. 70, pp. 1255–1262.

Dvoretsky A.G., Dvoretsky V.G. Red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) fisheries in Russian waters: historical review and present status. *Rev. Fish Biol. Fisheries*, 2018, vol. 28, pp. 331–353.

Kamchatskii krab v Barentsevom more [Red King Crab in the Barents Sea]. Murmansk: PINRO Publ., 2003. 383 p.

Krab-strigun opilio v Barentsevom i Karskom moryakh [Snow Crab Opilio in the Barents and Kara Seas]. Murmansk: PINRO Publ., 2016. 242 p.

Kuz'min S.A., Akhtarin S.M., Menis D.T. First findings of the snow crab Chionoecetes opilio (Decapoda, Majidae) in the Barents Sea. *Zool. Zh.*, 1998, vol. 77, no. 4, pp. 489–491. (In Russ.).

Kuz'min S.A., Gudimova E.N. *Vselenie kamchatskogo kraba v Barentsevo more. Osobennosti biologii, perspektivy promysla* [Introduction of the Kamchatka (Red King) Crab in the Barents Sea: Peculiarities of Biology, Perspectives of Fishery]. Apatity: KNTs RAN, 2002. 236 p.

Nezakonnyi promysel kraba na Dal'nem Vostoke: istoriya, sovremennoe sostoyanie problemy i puti ee resheniya: Sb. mater. mezhvedomstvennogo seminara (g. Vladivostok, 3 iyulya 2015 g.) [Illegal Crab Fishing in the Far East: History, Current State of the Problem and Ways to Solve It: Proc. Interdepartmental Seminar (Vladivostok, July 3, 2015)]. Vladivostok: Tsentr Izuch. Novykh Vyzovov i Ugroz Natsional'noi Bezopasnosti RF, 2015. 27 p.

Slizkin A.G., Safronov S.G. *Promyslovye kraby prikamchatskikh vod* [Commercial Crabs in Near Kamchatka Waters]. Petropavlovsk-Kamchatsky: Severnaya Patsifika Publ., 2000. 142 p.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 415–421

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 550,4;504.45

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ГОРНЫХ РЕК КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ

© 2021 г. Г. С. Шилькрот[a], *, Т. М. Кудерина[a], Л. Г. Лобковская[a]

[a] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

**e-mail: g.s.shilkrot@igras.ru*

Поступила в редакцию 10.12.2019 г.
После доработки 12.10.2020 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

Проведенные в мае 2019 г. исследования нескольких горных рек Республики Кабардино-Балкария выявили большую пространственную неоднородность химического состава вод – важнейшей экологической характеристики водотоков. Это обусловлено главным образом природными различиями их водного и вещественного питания в высокогорье и в среднегорье. К первому случаю относится р. Баксан, питающаяся талыми водами снежников и ледников. Вода реки маломинерализованная, гидрокарбонатно-кальциевого состава. Из микропримесей преобладают элементы, характерные для атмосферных осадков и для дренируемых рекой горных пород. Реки среднегорья (Черек, Гунделен и др.) получают уже значительное питание от подземных вод, более насыщенных химическими элементами из карбонатных горных пород и гипсов. Вода этих рек умеренно минерализованная, в ионном составе некоторых рек преобладают сульфаты и кальций. На содержание и состав микроэлементов в речных водах среднегорья влияют как горные породы, так и загрязненные атмосферные осадки и деятельность человека на водосборах. В составе микроэлементов в воде всех исследованных рек преобладают стронций, железо, марганец, барий, цинк, свинец, литий и т.д. Загрязняющего влияния г. Нальчик на микроэлементный состав воды р. Нальчик не обнаружено. Ранее отмечалось воздействие Тырныаузского комбината на воды р. Баксан. В реке ниже г. Тырныауз оказалось повышенным в сравнении с ее верховьем содержание вольфрама и молибдена.

Ключевые слова: горные реки, минерализация, главные ионы, микроэлементы, загрязнение, атмосферные осадки, горные породы, нормативы для питьевых вод

DOI: 10.31857/S2587556621030158

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в исследованиях химического состава речных и озерных вод в ландшафтах любого типа – равнинных и горных – основным лейтмотивом звучит тема их загрязненности. Хотя под этим подразумевается следствие и негативного влияния на водные объекты деятельности человека, и природных особенностей района исследования. При этом естественным источникам химических элементов не всегда уделяется достаточное внимание. Хотя их роль в формировании состава речных вод всегда очень важна, в том числе и для горных рек.

Особенностью горных рек и их отличия от равнинных является более сложный характер формирования химического состава их вод, сильно меняющийся по длине реки от истока к устью, т.е. от высокогорий к предгорью и далее при выходе на равнину. В высокогорье реки питаются, главным образом, талыми водами снежников и ледников и получают с ними современные и накопившиеся со временем в телах снежников и ледников химические элементы. В среднегорье и в предгорьях, где, как правило, возрастает интенсивность биологических и, соответственно, химических процессов превращения веществ в ландшафтах, большую роль играет поступление в раствор химических элементов из горных пород водосборов. В результате растет обогащение ими речных и озерных вод. Но и освоение ландшафтов возрастает в направлении среднегорья и предгорья. Поэтому здесь имеют значение как природные источники поступления химических элементов в водный сток, так и антропогенное загрязняющее воздействие.

Цель исследования

На примере горных рек Республики Кабардино-Балкария охарактеризовать современный химический состав речных вод, показать пространственную неоднородность этой важнейшей экологической характеристики водотоков и оценить роль в ее формировании естественных и антропогенных факторов.

Район исследования

Республика Кабардино-Балкария как горная страна очень разнообразна по природным условиям (орографии, климату, подстилающим горным породам, почвам и растительности и т.д.). Орография горной страны предопределяет неоднородность распределения по высоте температуры воздуха и количества выпадающих осадков. Соответственно, для горной страны характерна вертикальная поясная дифференциация ландшафтов – от нивально-гляциального и альпийского поясов в высокогорьях, до лесного и лесостепного – в среднегорье и степного – в предгорной равнине. Наблюдается и пространственная неоднородность освоения ландшафтов, как по вертикальным поясам, так и в широтном плане.

Исследовались рр. Баксан, Терек, Черек, Нальчик и Гунделен, а также оз. Нижнее Голубое в бассейне р. Черек Балкарский.

Река Баксан является правым притоком р. Малка, впадающей в р. Терек на территории Кабардино-Балкарии. Истоки Баксана находятся в районе г. Эльбрус. Среднегодовой расход воды (с. Заюканово) – 33.6 м^3/с. Воды реки используются в питьевых целях, а в среднегорье для орошения (Баксанская оросительная система). Серьезный антропогенный фактор воздействия на качественный состав речных вод Баксана – Тырныаузский вольфрамово-молибденовый комбинат.

Река Терек – истоки ее находятся на склонах Главного, или Водораздельного, хребта Большого Кавказа. Воды реки несут много взвеси. Река богата рыбой. Воды Терека используются для орошения (Терско-Кумский канал). Водозабор речных вод достигает 60% стока. Среднегодовой расход воды у станицы Каргалинской – 270 м^3/с.

Река Черек – приток р. Баксан, образуется слиянием рр. Черек Балкарский и Черек Хулаский, длина 76 км. Начало рекам дают ледники. Среднегодовой расход воды – 39.5 м^3/с у с. Советское.

Река Нальчик – небольшой водоток, входит в бассейн р. Черек. Может испытывать влияние г. Нальчик (население 239.6 тыс. человек, 2020 г.). Осадков в районе г. Нальчика (высота ~500 м над ур. м.) выпадает от 500 до 2000 мм в год.

Река Гунделен – левый приток Баксана; истоки рек, образующих р. Гунделен, – на северных склонах хребта Шаукам.

Озеро Нижнее Голубое – небольшое по площади водной поверхности, расположено на высоте около 900 м над ур. м. По-балкарски оно называется либо Чирик-кель (т.е. “Голубое”) – из-за красивого бирюзового цвета воды и ее большой прозрачности (до 30 м), либо Церик-кель (т.е. “Вонючее”) – из-за ощущаемого близ водоема сильного запаха сероводорода. Это озеро – самое глубокое на Северном Кавказе, глубина более 200 м. Особенностью озера является также изливающийся из него мощный поток вод, явно подземных, учитывая большую минерализацию озерной воды (до 1 г/л), отсутствие поверхностных притоков в озеро и малую площадь самого водоема.

Это карстовое озеро изучалось многими исследователями (Гигинейшвили и др., 1983; Кузнецов, 1928; Шилькрот, 1987). Особенности химического состава его вод и их повышенная минерализация свидетельствуют о свойствах питающих озеро подземных вод, характерных для региона исследования.

При оценке качественного состава речных вод рассматриваемого региона следует учитывать фактор обнаружения на северных склонах и в предгорьях центральной части Большого Кавказа значительных месторождений молибдена, вольфрама, сурьмы, висмута, алюминия, олова и свинцово-цинковых руд.

Разнообразие природных условий и характера освоения исследуемой горной страны предопределяет пространственную неоднородность условий водного и вещественного питания рек и может проявляться в интегрированном виде в существенных различиях качественного состава речных вод по территории.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наше исследование базируется на данных синхронно выполненной оценки качественного состава речных вод в ближайшем окружении г. Нальчик, а также р. Баксан в высокогорье и оз. Нижнее Голубое. Наблюдения проводились в мае 2019 г. Пункты наблюдений показаны на рис. 1.

Были отобраны пробы воды для химического анализа – определения макроэлементного состава и содержания в речных водах ~50 микроэлементов, включая токсичные элементы и тяжелые металлы.

На месте наблюдений определялись минерализация воды и активная реакция – pH. То и другое выполнялось с помощью портативных приборов-кондуктометра и pH-метра серий Hanna и pHep. В Москве, в лабораторных условиях, проанализировано содержание в воде анионов (методом титрования), катионов и микроэлементов методом ICP-MS, т.е. методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой на приборе Elan6100.

Результаты химического анализа проб воды представлены в табл. 1 и 2, на рис. 2. При обсуждении полученных результатов используются материалы ранее проведенных исследований в этом регионе: в 1980-х годах (Шилькрот, 1987) и в начале 2000-х годов (Кудерина и др., 2008; Шилькрот, Кудерина, 2012), а также из других литературных источников.

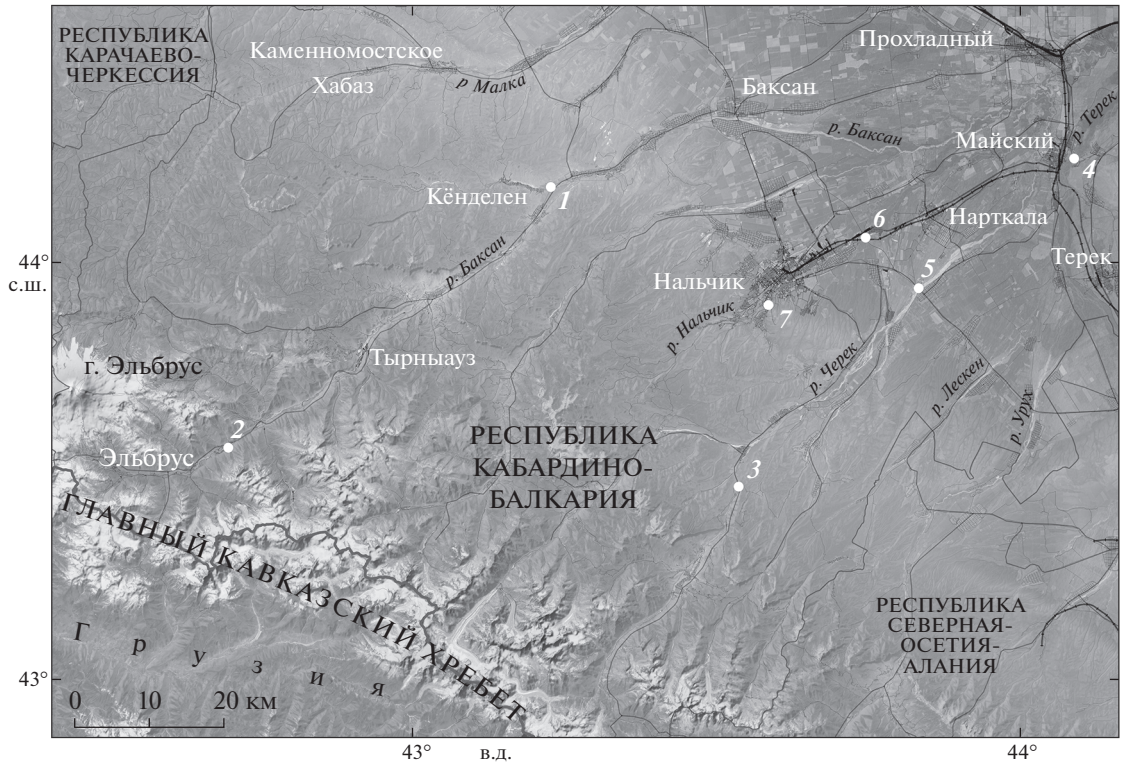

Рис. 1. Картосхема расположения пунктов наблюдения. Пункты: *1* – на р. Гунделен, перед впадением ее в р. Баксан; *2* – на р. Баксан, ниже пос. Нейтрино; *3* – на оз. Нижнее Голубое; *4* – на р. Терек; *5* – на р. Черек; *6* – на р. Нальчик, ниже города; *7* – на р. Нальчик, до города.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные позволяют составить химическую характеристику речных вод региона и таким образом оценить их современное экологическое состояние. Также исследование дает возможность установить связи химического состава речных вод с факторами его формирования, как природными, так и антропогенными.

Макроэлементный состав речных вод. Река Баксан, питающаяся талыми водами снежников и ледников, отличается от других исследуемых рек наименьшей величиной минерализации воды. Состав воды р. Баксан гидрокарбонатно-кальци-

Таблица 1. Гидрохимические показатели речных и озерных вод района исследования, май 2019 г.: минерализация воды (М – как сумма ионов) и основные ионы, мг/л

Место отбора проб*	pH	M	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
1. р. Гунделен	7.8	554	134	277	167	20.2	5.6	2.2
			(2.2)	(5.8)	(8.3)	(1.7)	(0.2)	(0.1)
2. р. Баксан	7.3	149	91.5	22.6	25.3	7.0	7.7	2.3
			(1.5)	(0.4)	(1.3)	(0.6)	(0.3)	(0.1)
3. оз. Нижнее Голубое	7.7	633	122	–	–	–	–	–
			(2.0)					
4. р. Терек	7.0	297	140	51	68.3	11.8	13.2	2.6
			(2.3)	(1.1)	(3.4)	(1.0)	(0.6)	(0.1)
5. р. Черек	7.9	351	91.5	102	74.6	11.0	16.6	2.7
			(1.5)	(2.1)	(3.7)	(0.9)	(0.7)	(0.1)
6. р. Нальчик	8.1	241	104	36.9	58.1	5.5	8.2	1.8
			(1.7)	(0.8)	(2.9)	(0.4)	(0.4)	(0.04)
7. р. Нальчик	7.6	182	91.5	24.6	72.1	4.3	4.4	1.9
			(1.5)	(0.5)	(3.6)	(0.4)	(0.2)	(0.05)

Примечание. В скобках – содержание ионов в мг-экв; * см. рис. 1.

Таблица 2. Экстремальные концентрации растворенных в речных водах микроэлементов: высокие (Sr, Fe) и низкие (W, Bi и др.), мкг/л, май 2019 г.

Место наблюдения*	Sr	Fe	Bi	W	Cd
1	2820	1134	0.004	<0.003	0.06
2	81.3	346	0.007	0.08	0.02
4	425	1745	0.04	0.06	0.71
5	1353	207	0.005	0.01	0.02
6	762	93.1	0.003	0.03	0.02
7	535	2124	0.02	0.01	0.08
Норма СанПин**	7000	300	100	50	1

Примечание. * См. рис. 1; ** СанПин 2.1.4. 1074 – 01. Питьевая вода. Гигиенические нормативы ... (с изменениями на 2 апреля 2018 г.); Sn везде очень мало, <0.02 мкг/л.

евый, при хорошем соответствии между содержанием гидрокарбонатов и кальция (мг-экв), см. табл. 1. Для рр. Черек и Гунделен (см. табл. 1), как и для оз. Нижнее Голубое (Шилькрот, 1987), основными ионами в солевом составе вод являются уже сульфаты и кальций. Это связано с участием в вещественном питании этих объектов гипсоносных пород, обогащающих поверхностные и подземные воды указанными ионами. Реки Гунделен и Черек выделяются среди рек региона наиболее минерализованной водой и повышенной ее жесткостью (сумма ионов кальция и магния), выше 7.0 мг-экв. Из-за показателя жесткости и повышенного содержания сульфатов вода вышеуказанных рек, как и оз. Нижнее Голубое, не соответствует гигиеническим нормам для питьевых вод.

Микроэлементный состав речных вод. Из микроэлементов в речных водах исследуемого региона преобладают стронций, железо, барий, цинк, марганец, литий и др. (см. табл. 2 и рис. 2). Максимум Sr отмечается в водах рр. Гунделен и Черек, Fe – в рр. Нальчик (перед городом, после ливней), Черек и Гунделен, Mn – в рр. Черек и Нальчик – после ливней, Ba – в р. Нальчик (после ливней), Zn – в рр. Черек, Нальчик (после ливней) и Гунделен, Pb – в рр. Черек и Нальчик (после ливней).

Вода р. Черек выделяется среди рек региона более высоким содержанием многих элементов: цинка, лития, марганца, свинца, кадмия и мышьяка. Вместе с тем, содержание всех микроэлементов в воде Терека, за небольшим исключением, как и в других реках, значительно ниже нормативов для питьевых вод. Нормативы превышены по Fe и Mn в нескольких реках: по первому элементу в 4–7 раз для рр. Черек, Гунделен, Нальчик (до города, после ливней) и в 1.5 раза – по второму (рр. Черек и Нальчик – после ливней).

Факторы, определяющие химический состав речных вод. Для р. Баксан характерен в направлении от высокогорья к среднегорью и предгорью рост минерализации речной воды и содержания в ней некоторых микроэлементов – As, Cr и Sr, особенно последнего (Шилькрот, Кудерина, 2012). Это обусловливается, несомненно, влиянием обогащенных стронцием терригенно-карбонатных отложений (Дьяченко, 2004). Но существует влияние на состав вод этой реки и деятельности Тырныаузского комбината. В сравнении с водами верховья Баксана содержание молибдена в речной воде ниже Тырныауза повышалось с 0.08 до 6.3 мкг/л, вольфрама – с 0.01 до 0.13 мкг/л (Шилькрот, Кудерина, 2012). В мае 2019 г. содержание вольфрама в р. Баксан (до Тырныауза) составляло 0.08 мкг/л, молибдена – 1.3 мкг/л.

Заметим, что проведенными ранее наблюдениями (Кудерина и др., 2008; Шилькрот, Кудерина, 2012) в верховье р. Баксан – выше п. Азау – в

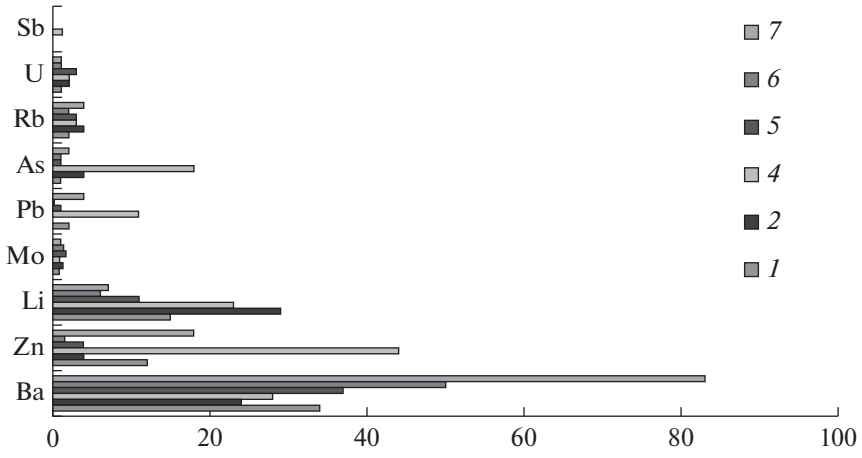

Рис. 2. Содержание растворенных в речных водах микроэлементов, мкг/л, май 2019 г. Пункты *1–2*, *4–7* (см. рис. 1).

речной воде отмечалась незначительная концентрация Zn. То же самое оказалось и в мае 2019 г., в пункте ниже Азау. Однако в снежном покрове южного склона г. Эльбрус (на высоте 2.5 тыс. м и выше) содержание этого элемента всегда было повышенным. Другими авторами обнаружены значительные концентрации цинка (до 8 мкг/л) в зимнюю межень 2018 г. в воде р. Малка, текущей со склонов Эльбруса (Чередник, Жинжакова, 2019).

Данные 2019 г. свидетельствуют в основном о значительной роли природных факторов в формировании качественного состава речных вод в ландшафтах среднегорья. Главными из этих факторов можно считать горные породы и подземные воды. Влияние их отражено как в ионном составе речных вод, так и в составе микроэлементов. На примере р. Нальчик можно оценить влияние на микроэлементный состав речной воды металлоносных месторождений, о которых выше упоминалось.

Наблюдениями на р. Нальчик после ливневых дождей (пункт перед городом) была отмечена большая мутность речной воды, указывающая на высокий смыв в реку взвеси. Из-за ливневого стока могло повыситься в речной воде содержание некоторых микроэлементов в составе взвеси. Но такое повышение произошло и для растворенных форм микроэлементов (см. табл. 2, рис. 2 и далее в тексте).

После ливней содержание многих микроэлементов в воде р. Нальчик возросло в несколько раз в сравнении с наблюдениями до ливней (в пункте ниже города). Концентрация Co и Ni выросла в 25–24 раза, Zr в 10 раз, V в 8 раз, Cr и Nb в 6 раз. Содержание же Mo, наоборот, снизилось в 7 раз.

Об атмосферных осадках как источнике химических элементов для рек рассматриваемого района можно косвенно судить по данным мониторинга за их фоновым составом, осуществляемого Росгидрометом (Обзор..., 2019). По этим данным, современное содержание в осадках Кавказского биосферного заповедника типичных загрязнителей атмосферы – свинца, кадмия, ртути и меди – имеет разброс среднегодовых величин (от минимума до максимума) до 10 и более раз (табл. 3).

Из табл. 3 можно видеть, что в последние годы загрязнение атмосферных осадков рядом тяжелых токсичных металлов не снижается, а, наоборот, возрастает. Следовательно, растет и поступление их в ландшафты и в реки, особенно если учесть, что в высокогорье и в среднегорье рассматриваемого региона количество самих атмосферных осадков значительно. Заметим, что указанные повышенные концентрации меди и ртути в атмосферных осадках не выходят за пределы питьевых нормативов. Но эти же концентрации превышают в 10 и более раз ПДК для рыбохозяйственных водоемов, составляющих 1 и 0.01 мкг/л соответственно.

Таблица 3. Среднегодовые фоновые концентрации Pb, Cd, Hg и Cu в атмосферных осадках, мкг/л

Год	Элемент			
	Pb	Cd	Hg	Cu
1982–2018 гг.	0.3–1.8	0.02–0.13	0.01–2.0	1–10
2018 г.	1.8	0.06	0.43	10
Максимум, год	2011–2018	2009–2010	2017	2018

Составлено по: (Обзор..., 2019).

О степени влиянии загрязненных атмосферных осадков на речные воды можно было бы судить по данным, полученным для р. Нальчик в мае 2019 г. После ливней в воде р. Нальчик (до города) повысились концентрации Pb – в 14 раз, Zn – в 11 раз, Cu – в 7 раз и Cd – в 4 раза в сравнении с их содержанием в речной воде до ливней, в пункте ниже города. Однако этот рост концентраций ряда химических элементов (наряду с другими, отмеченными выше) мог быть вызван не только влиянием загрязненных атмосферных осадков, но и вымыванием этих элементов из горных пород и переносом в реку ливневым стоком. Заметим, что из-за ливней резко повысилось в воде р. Нальчик также содержание железа и марганца, а этих элементов не бывает в большом количестве в составе атмосферных осадков. И концентрация ртути после ливневого стока не менялась в речной воде, оставаясь ниже предела определения, 0.01 мкг/л. Так же мало было Hg в воде всех других рек региона.

Не обнаружилось в период наших наблюдений влияния г. Нальчик на химический состав воды р. Нальчик. Но его отмечают исследователи из г. Нальчика (Жинжакова, Чередник, 2019), осуществляющие с 2011 г. мониторинг за качественным составом вод р. Нальчик в разные сезоны и в створах выше и ниже города. По их данным, основное загрязняющее воздействие города и других поселений проявляется в повышении содержания в речной воде аммонийного азота и нитритов. Эти авторы считают также, что антропогенный фактор добавляет к качественному составу речной воды Pb, Zn, Mo. Они также обращают внимание на значительные колебания концентраций Ag в воде по длине реки – от 0.02 до 0.7 и даже 3.3 мкг/л, с максимумом, как на фоновом участке, где нет антропогенных воздействий, так и в курортной зоне г. Нальчика. По нашим данным, содержание в воде р. Нальчик этого элемента незначительно (0.02 мкг/л) – до и ниже города. Максимум Ag (0.065 мкг/л) был зафиксирован в воде р. Баксан, минимум – в р. Гунделен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования нескольких горных рек (Баксан, Нальчик, Черек, Терек и др.) на территории Кабардино-Балкарии, выполненного в мае 2019 г. и дополненного данными 1980-х и начала 2000-х годов, показали:

– реки региона различаются по химическому составу воды, являющемуся важнейшим экологическим показателем их состояния. Эти различия, или пространственная неоднородность химического состава речных вод, обусловливаются, главным образом, природными особенностями водного и вещественного питания водотоков в условиях высокогорных и среднегорных ландшафтов. По-разному влияет на состав речных вод и антропогенный фактор, действующий через доставку химических элементов с загрязненными атмосферными осадками и со стоками с освоенных водосборов, в частности с территорий городов Тырныауз и Нальчик;

– в высокогорье – р. Баксан получает химические элементы из талых вод снежников и ледников и дренируемых горных пород. Речная вода маломинерализованная, гидрокарбонатно-кальциевого состава;

– в среднегорье – для рр. Нальчик, Черек, Терек и Гунделен значительна в их питании роль подземных вод, насыщенных химическими элементами из дренируемых ими карбонатных отложений и гипсов. Вода многих рек умеренно-минерализованная, ионный состав воды некоторых рек (рр. Гунделен и Черек) сульфатно-кальциевый, и жесткость воды повышенная. Из-за высоких показателей содержания сульфатов и жесткости вода рр. Гунделен и Черек, как и оз. Нижнее Голубое, не соответствуют нормативам для вод питьевого назначения;

– в микроэлементном составе воды всех рек преобладают стронций, железо, марганец, барий, цинк, свинец, литий и др. Вода р. Терек выделяется повышенным содержанием многих микроэлементов;

– состав и содержание микроэлементов в речных водах среднегорья формируются под влиянием горных пород, загрязненных атмосферных осадков и деятельности человека на водосборе. Очень важным фактором оказывается поступление веществ с подземными водами и с ливневым стоком с водосборов;

– содержание большого ряда микроэлементов, присутствующих в речных водах региона, оказалось ниже нормативов для питьевых вод. Исключение составили только концентрации Fe и Mn. По первому элементу нормативы превышены в 4–7 раз для рр. Терек, Гунделен и Нальчик (после ливней, перед городом), а по Mn – в 1.5 раза для рр. Терек и Нальчик (после ливней);

– влияния г. Нальчик на содержание макро- и микроэлементов в воде р. Нальчик не обнаружено. Другими исследователями отмечается заметное присутствие в речной воде ниже города аммонийного азота и нитритов, что свидетельствует о загрязнении реки органическими соединениями. На воды р. Баксан воздействует Тырныаузский вольфрамово-молибденовый комбинат. Ниже г. Тырныауз в речной воде в несколько раз повышено в сравнении с верховьем реки содержание вольфрама и молибдена.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена в рамках государственного задания Института географии РАН № 0148-2019-0007 “Оценка физико-географических, гидрологических и биотических изменений окружающей среды и их последствий для создания основ устойчивого природопользования”.

FUNDING

The research was carried out within the framework of the state-ordered research theme of the Institute of Geography, RAS no. 0148-2019-0007 “Assessment of physical, geographical, hydrological and biotic changes in the environment and their consequences for the foundation of sustainable environmental management”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гигинейшвили Г.Н., Гвахария В.К., Маткава Д.И., Канделаки В.В., Монишвили Д.М. Чирик-кель – глубочайшее карстовое озеро СССР // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1983. № 1. С. 83–90.

Дьяченко В.В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа. Ростов-на-Дону, 2004. 267 с.

Жинжакова Л.З., Чередник Е.А. Компонентный состав загрязнения водотока рек Нальчик – Урвань в периоды зимней межени и летнего половодья // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: Материалы VIII Международ. науч. конф. (Белгород, октябрь 2019) / под ред. М.А. Польшиной. Белгород: ИД “Белгород”, НИУ “БелГУ”, 2019. С. 126–134.

Кудерина Т.М., Шилькрот Г.С., Кудиков А.В. Качество поверхностных вод горных ландшафтов Северного Кавказа // Геоэкологические проблемы современности. Докл. 2-й Международ. конф. (Владимир, сентябрь 2008). Владимир–М., 2008. С. 124–126.

Кузнецов И.Г. Озеро Церик-кель и другие формы карста в известняках Скалистого хребта на Северном Кавказе // Изв. РГО. 1928. Т. 60. Вып. 2. Л.–М.: Гос. изд-во. С. 294–296.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 год / отв. ред. Г.М. Черногаева. М.: Росгидромет, 2019. 227 с.

Чередник Е.А., Жинжакова Л.З. Динамика содержания микропримесей в водах ледниковой реки Малка (Кабардино-Балкария) // Проблемы природо-

пользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях: Материалы VIII Международ. науч. конф. (Белгород, октябрь 2019) / под ред. М.И. Польшиной. Белгород: ИД "Белгород", НИУ "БелГУ", 2019. С. 191–194.

Шилькрот Г.С. Карстовые озера – их свойства и отклик на антропогенные воздействия // Трансформация горных экосистем Большого Кавказа под влиянием хозяйственной деятельности. М.: ИГ АН СССР, 1987. С. 78 – 90.

Шилькрот Г.С., Кудерина Т.М. Геохимия речных и озерных вод разных географических ландшафтов // Вопросы географии. Сб. 133. Географо-гидрологические исследования. М.: ИД "Кодекс", 2012. С. 418–430.

Spatial Heterogeneity of Water Chemical Composition of Mountain Rivers of the Republic of Kabardino-Balkaria

G. S. Shilkrot[1, *], T. M. Kuderina[1], and L. G. Lobkovskaya[1]

[1] *Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

**e-mail: g.s.shilkrot@igras.ru*

The research, conducted in May 2019, of several mountain rivers of Kabardino-Balkaria revealed a large spatial heterogeneity of their waters' chemical composition as the most important environmental characteristic. This is mainly due to natural factors, namely, differences in their water and material feeding in the highlands and the middle mountains. In the first case, the rivers (Baksan River) are fed by snowfield and glaciers' meltwater. Their water is low mineralized, with hydrocarbonate-calcium composition. Of the micro-impurities in river water, elements characteristic of both polluted precipitation and drained rocks predominate. In the middle mountains, rivers receive significant feeding from groundwaters, more saturated with chemical elements from the rocks drained by them. The water of these rivers is the most mineralized (rivers Cherek, Gundelen), its composition is dominated by Ca and SO_4 (calcium and sulfates). The content of trace elements in the water of these rivers reflects the influence of drained runoff rocks. Trace elements enter the river as an underground tributary, as well as with stormwater floodwaters from the catchment. River waters of the study area dominated by Sr, Fe, Mn, Ba, Zn, Pb, Li, etc. No changes in the composition of trace elements in the water of the Nalchik River downstream city of Nalchik were detected. It was noted the influence of the Tyrnyauz plant on the qualitative composition of the Baksan River's water. Downstream the city of Tyrnyauz the W and Mo content was increased several times in comparison with the river upper part.

Keywords: mountain rivers, mineralization, trace elements, rocks, groundwater, precipitation, storm runoff, drinking water standards

REFERENCES

Cherednik E.A., Zhinzhakova L.Z. Dynamics of the content of microimpurities in the waters of glacial river Malka (Kabardino-Balkaria). In *Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeiskoi Rossii i na sopredel'nykh territoriyakh: Materily VIII Mezhd. nauchn. konf.* [Problems of Nature Management and Ecological Situation in European Russia and Adjacent Territories: Proc. VIII Int. Sci. Conf.]. Pol'shina M.A., Ed. Belgorod: Belgorod Publ., Belgorod. Gos. Univ., 2019, pp. 191–194. (In Russ.).

D'yachenko V.V. *Geokhimiya, sistematika i otsenka sostoyaniya landshaftov Severnogo Kavkaza* [Geochemistry, Systematics and Assessment of Landscapes of the North Caucasus]. Rostov-on-Don, 2004. 267 p.

Gigineishvili G.N., Gvakharia V.K., Matkova D.I., Kandelaki V.V., Monishvili D.M. Chirik-Kel lake is the deepest karst lake of the USSR. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.,* 1983, no. 1, pp. 83 – 90. (In Russ.).

Kuderina T.M., Shilkrot G.S., Kudikov A.V. Surface water quality of mountain landscapes of the North Caucasus. In *Geoekologicheskie problemy sovremennosti. Dokl. 2 Mezhdunar. Konf.* [Geoecological Problems of Our Time. Reports of the 2 Int. Conf.]. Vladimir, 2008, pp. 124–126. (In Russ.).

Kuznetsov I.G. Lake Tserik-kel and other forms of karst in the limestone of the Rocky ridge in the North Caucasus. *Izv. Russ. Geogr. O-va,* 1928, vol. 60, no. 2, pp. 294–296. (In Russ.).

Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2018 god [Review of the State and Pollution of the Environment in the Russian Federation for 2018]. Chernogaeva G.M., Ed. Moscow: Rosgidromet, 2019. 227 p.

Shilkrot G.S. Karst lakes – their properties and response to anthropogenic impact. In *Transformatsiya gornykh ekosistem Bol'shogo Kavkaza pod vliyaniem khozyaistvennoi deyatel'nosti* [Transformation of Mountain Ecosystems of the Greater Caucasus under the Economic Activity]. Moscow: Inst. Geogr. Akad. Nauk SSSR, 1987, pp. 78–90. (In Russ.).

Shilkrot G.S., Kuderina T.M. Geochemistry of river and lake waters of different geographical landscapes. In *Voprosy geografii* [Problems of Geography]. Vol. 133*: Geografo-Gidrologicheskie Issledovaniya* [Geographic and Hydrological studies]. Moscow: Kodeks Publ., 2012, pp. 418–430. (In Russ.).

Zhinzhakova L.Z., Cherednik E.A. Composition of pollution of the water course Nalchik – Urvan during period of winter low water and summer high water. In *Problemy prirodopol'zovaniya i ekologicheskaya situatsiya v Evropeiskoi Rossii i na sopredel'nykh territoriyakh: Materily VIII Mezhd. nauchn. konf.* [Problems of Nature Management and Ecological Situation in European Russia and Adjacent Territories: Proc. VIII Int. Sci. Conf.]. Pol'shina M.A., Ed. Belgorod: Belgorod Publ., Belgorod. Gos. Univ., 2019, pp. 126–134. (In Russ.).

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 422–432

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 551.41(265.53)

ТИПИЗАЦИЯ БЕРЕГОВ ЗАПАДНОГО ПРИОХОТЬЯ И ТЕНДЕНЦИИ ИХ РАЗВИТИЯ

© 2021 г. Т. Д. Леонова[a], *, О. В. Белоус[a], **

[a] *Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева, Владивосток, Россия*

**e-mail: leon@poi.dvo.ru*

***e-mail: kseya@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.03.2020 г.
После доработки 05.02.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

В статье представлены результаты исследования рельефа береговой зоны Западного Приохотья – одного из самых малоизученных и труднодоступных районов Охотского моря. Выявлены факторы, оказывающие воздействие на формирование рельефа побережья. Влияние холодного Охотского моря, длительность ледостава, ограничивающая влияние волнового воздействия, сложные гидродинамические условия, обусловленные сильными приливно-отливными и стоковыми течениями – основные факторы современного морфогенеза береговой зоны. Контрастный рельеф побережья обусловлен сложным геологическим строением рассматриваемого района, а речной сток, деятельность льда, абразия морских берегов влияют на поступление осадочного материала. По морфодинамическим признакам и на основе генетической классификации берегов авторами проведены типизация и районирование береговой зоны Западного Приохотья. Установлено, что в пределах района исследования на большей части исследуемых берегов преобладают денудация и вдольбереговой транзит наносов. Участки современной аккумуляции приурочены к вершинам бухт и устьям крупных и средних рек. Сделаны предположения о тенденциях развития рельефа береговой зоны заливов Западного Приохотья. Повышение уровня Мирового океана приведет к значительным изменениям в устьях рек. Активизируется абразия мысов, выступающих в море. Предположительно, произойдет затопление маршей и аллювиальных низменностей, а осушка вдоль бортов заливов будет подвержена размыву. Выполненные исследования могут быть использованы при прогнозировании дальнейшего хозяйственного освоения региона, выявлении экологических последствий все возрастающего антропогенного воздействия на побережье и в целях рекреации.

Ключевые слова: береговой район, абразионно-денудационные берега, течения, осушка, коса

DOI: 10.31857/S2587556621030092

В условиях активно расширяющегося хозяйственного освоения Западного Приохотья крайне актуален вопрос охраны природной среды и изменения ландшафтов береговой зоны Охотского моря.

Данная статья продолжает и обобщает серию публикаций авторов по берегам этого региона (Бровко, Леонова, 2012; Леонова, 2017; Леонова, Белоус, 2015, 2019; Лепешко, Леонова, 2003). В основу работы положены материалы, полученные при проведении экспедиционных работ на научно-исследовательских судах (НИС) “Первенец” (1976 г.), “Бриг” (1989 и 2003 гг.), “Профессор Гагаринский” (2016 г.), “Убежденный” (2009 г.), “Осмотрительный” (2011 г.), “Бухаро” (2013 г.) – наблюдения с борта судна и береговые маршруты. Фактический материал получен при дешифрировании космических и аэроснимков, при морфологическом и морфометрическом анализе топографических и морских карт, фондовых материалов Тихоокеанской экспедиции Всероссийского научно-исследовательского института морской геологии и геофизики (1972–1982 гг.).

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

По схеме тектонического районирования (Геология..., 2002) исследуемая территория расположена в зоне сочленения субширотных элементов Амуро-Охотской палеозойско-мезозойской складчатой системы, Удского юрско-раннемелового вулканогенного пояса и субмеридионально ориентированных структур Сихотэ-Алиня. Береговая линия пересекает структурный комплекс морских терригенных и терригенно-кремнистых пород Торомской, Тугурской, Ульбанской, Усалгинской кайнозойских впадин Амгунь-Амурской и Охотско-Шантарской рифтогенных систем. Впадины осложняют Торомский прогиб, выпол-

ненный триасовыми и юрскими морскими терригенными породами, и Хингано-Охотский раннепозднемеловой вулканический пояс.

По побережью Удской губы и Тугурского залива широко распространены средне-верхнепалеозойские вулканогенно-кремнисто-терригенные образования, прорванные интрузиями позднемеловых гранитоидов. Подобный же комплекс обнажается на Шантарских островах (Геологическая..., 1991).

На побережье Ульбанского залива и залива Николая преобладают юрские терригеннные толщи Ульбанской структурно-формационной зоны, перекрытые позднемеловыми вулканитами Ульбанской и Магуйской вулканических зон Восточно-Сихотэ-Алинского вулканогена (Геологическая..., 1991).

Риасовый тип расчленения заливов Западного Приохотья предопределен разломно-глыбовым строением территории, что отчетливо прослеживается в системах полуостровов и заливов (Кулаков, 1980, 1973). А сложное геологическое строение и контрастный рельеф создают специфические условия развития побережья.

Рельеф рассматриваемого района представляет собой сочетание разделенных обширными депрессиями сводово-глыбовых и горстовых поднятий (Арчиков, Ивашинников, 1978). Горные сооружения суши, в пределах которых развиты денудационно-тектонический, эрозионный и аккумулятивный типы рельефа, представляют собой сложную сеть горных гряд и хребтов. Наиболее крупные из них – Прибрежный, Тайканский, Тыльский, Альский, Тугурский, Укурунру, Магу, Мевочан. Их максимальные абсолютные отметки лежат в интервале 900–1000 м. Глубина эрозионного расчленения хр. Прибрежного превышает 1000 м, а остальных – не более 200–300 м.

Континентальные межгорные впадины заполнены позднекайнозойскими аллювиальными и прибрежно-морскими осадками. Наиболее крупным из них в районе исследования соответствуют холмистые равнины и низменности: Удская, Торомская, Тугурская, Сыранская, Усалгинская, занятые долинами рек: Уды, Торома, Тугура, Сырана, Усалгина и др. Все они продолжаются в море в виде заливов.

Реки играют особую роль в балансе поступления осадков в Западном Приохотье: с речным стоком привносится основное количество терригенного материала [твердая фаза речного стока для р. Уда составляет 966.7 тыс. т/год (Астахов, 1986)].

Климатические условия рассматриваемого региона, находящегося в умеренных широтах, отличаются чертами субарктики. Средняя продолжительность ледового периода в Шантарском регионе составляет 260 сут (Гидрометеорология..., 1998). Лед является активным агентом переноса продуктов денудации: большое количество обломочного материала выносится на припай, а в дальнейшем за пределы береговой зоны.

Длительный ледовый период (7–8 мес.) препятствует волновой абразии: за счет деятельности льда в Шантарском регионе в море поступает 185 т/км берега в год, тогда как абразия поставляет всего 3.5 т/км берега в год (Арчиков и др., 1989). В условиях ослабленного волнового режима увеличивается рельефообразующее значение течений, особенно приливно-отливных. Они создают как эрозионные, так и аккумулятивные формы рельефа, усиливают процессы абразии во время приливов и способствуют перемещению осадочного материала за пределы береговой зоны.

Амплитуды приливо-отливных колебаний уровня моря велики: в Тугурском заливе они достигают 7.3 м в сизигии, в квадратуру – 1.8 м, а наибольшая величина прилива в вершине Удской губы залива – 10.1 м (Гидрометеорология..., 1998).

Скорости приливного течения также значительны: в северной части Тугурского залива (проливе Линдгольма) достигают 7 км/ч, а в южной уменьшаются до 2 км/ч. Наибольшие их значения отмечены в Северо-Восточном проливе – 15 км/ч (Гидрометеорология..., 1998). Приливо-отливные явления сопровождаются водоворотами и играют большую роль в перемещении береговых наносов, а также в подводной денудации.

ТИПИЗАЦИЯ БЕРЕГОВ

Типизация морских берегов, отражающая их современное состояние, динамику и связи между различными типами, необходима для выявления трендов развития береговой зоны района исследования. В ее основу положена генетическая классификация (Ионин и др., 1964), уточненная и расширенная авторами применительно к условиям западной части Охотского моря.

Выделены берега различных морфогенетических типов: абразионно-тектонические, абразионно-денудационные, абразионные, абразионно-бухтовые, абразионно-аккумулятивные бухтовые берега, аккумулятивные лагунные, аккумулятивные ваттовые и т.п.

Абразионно-тектонический тип представлен на севере Прибрежного хребта, где высота береговых обрывов, связанных с серией крутопадающих разломов-сбросов, нередко превышает 150–200 м. В верхних частях обрывов иногда встречаются разделенные глубокими рвами скальные останцы, образование которых обусловлено опусканием блоков пород (Лебедев, 1988). На большей части этих обрывистых скалистых берегов с редкими узкими валунно-глыбовыми и скальными бенчами практически отсутствуют аккумулятивные формы прибрежно-морского рельефа.

Абразионно-денудационные берега приурочены к участкам горного побережья, открытого штор-

Рис. 1. Абразионно-денудационный тип: (а) побережье Удской губы; (б) побережье о. Большой Шантар. Фото авторов.

мовому волнению в заливах Тугурский, Ульбанский, Академии, Константина, северо-запада Удской губы, а также на островах Шантарского архипелага. Уступы берегов этого типа выработаны в разной степени метаморфизованных породах, хорошо противостоящих абразии. В Тугурском заливе и на Шантарских островах высота клифов достигает 50 м, в северо-западной части Удской губы близ устья р. Малый Джелон – 40–70 м (Лебедев, 1988), а в Ульбанском – свыше 100 м.

Ю.С. Липкиным в 1976 г. при изучении трещиноватости абразионно-денудационных берегов Тугурского полуострова установлено, что положение и очертание береговой линии во многом определены разрывными нарушениями (Лепешко, Леонова, 2003). Вертикальное и крутое падение трещин на этих берегах способствует образованию глыбовых навалов, осыпей, оползней и т.д., являющихся особенностью берегов этого типа (рис. 1а). Многие осыпи тянутся вдоль берега на сотни метров и распространяются вверх по склону на 100–200 м. Отчленение от коренных массивов отдельных блоков и обрушение их к подножию клифов часто блокирует последние от волнового воздействия, что приводит к преобладанию на абразионных в прошлом уступах в настоящее время денудационных процессов.

Песчано-галечные или валунные пляжи окаймляют входы в небольшие бухты. Здесь прибойные волны не докатываются до подножия обрывов и поэтому не производят их разрушения. Берега без пляжа распространены на окончании далеко выступающих в море мысов, где особенно энергично протекает абразия. У клифов, сложенных трещиноватыми сильно выветренными породами, отмечены высокие скорости абразии – 0.8–1.0 м/год (Арчиков и др., 1989).

Абразионно-денудационные берега имеют относительно ровный контур и почти на всем своем протяжении окаймлены коренными бенчами (см. рис. 1б). В Тугурском заливе ширина бенча достигает 100 м, и здесь в сизигии при высоте прилива 7 м он располагается на отметках 1.5–2 м над уровнем воды при отливе (рис. 2).

На юго-западном побережье Тугурского залива в тех местах, где к берегу моря подходят устья крупных рек (Эрена и Маймагун), встречаются высокие террасы (8–10 и 15–20 м). Достоверных данных относительно возраста этих террас нет, а их генезис является спорным. Л.И. Красный по характеру, литологии и геоморфологическим условиям залегания относит рассмотренные отложения к аллювиальным, а сами террасы – к речным образованиям (Красный, 1960). Отсутствие какого-либо подобия “лестниц” морских террас отмечено С.С. Воскресенским, С.А Лебедевым и в заливе Николая (Воскресенский, Лебедев, 1980). Другие авторы (Ананьев, 1988; Гершанович, Забелина, 1957) выделяют на материковом побережье Северного и Северо-Западного Приохотья позднеплейстоценовые морские террасы и барьерные формы типа пересыпей в устьях рек на высотах до 10–12 м и относят их к трансгрессии начала позднего плейстоцена (Лебедев, 1988; Лебедева, 1998).

Следует отметить, что чисто *абразионные* берега (без денудационного шлейфа) приурочены к высоким скалистым выступающим в море мысам, хорошо противостоящим абразии. Чаще всего они встречаются на открытом побережье Охотского моря и на Шантарских островах. На этих участках происходит абразионное разрушение берегов с образованием останцов.

Абразионно-бухтовые берега распространены в Ульбанском и Тугурском заливах, Удской губе, а

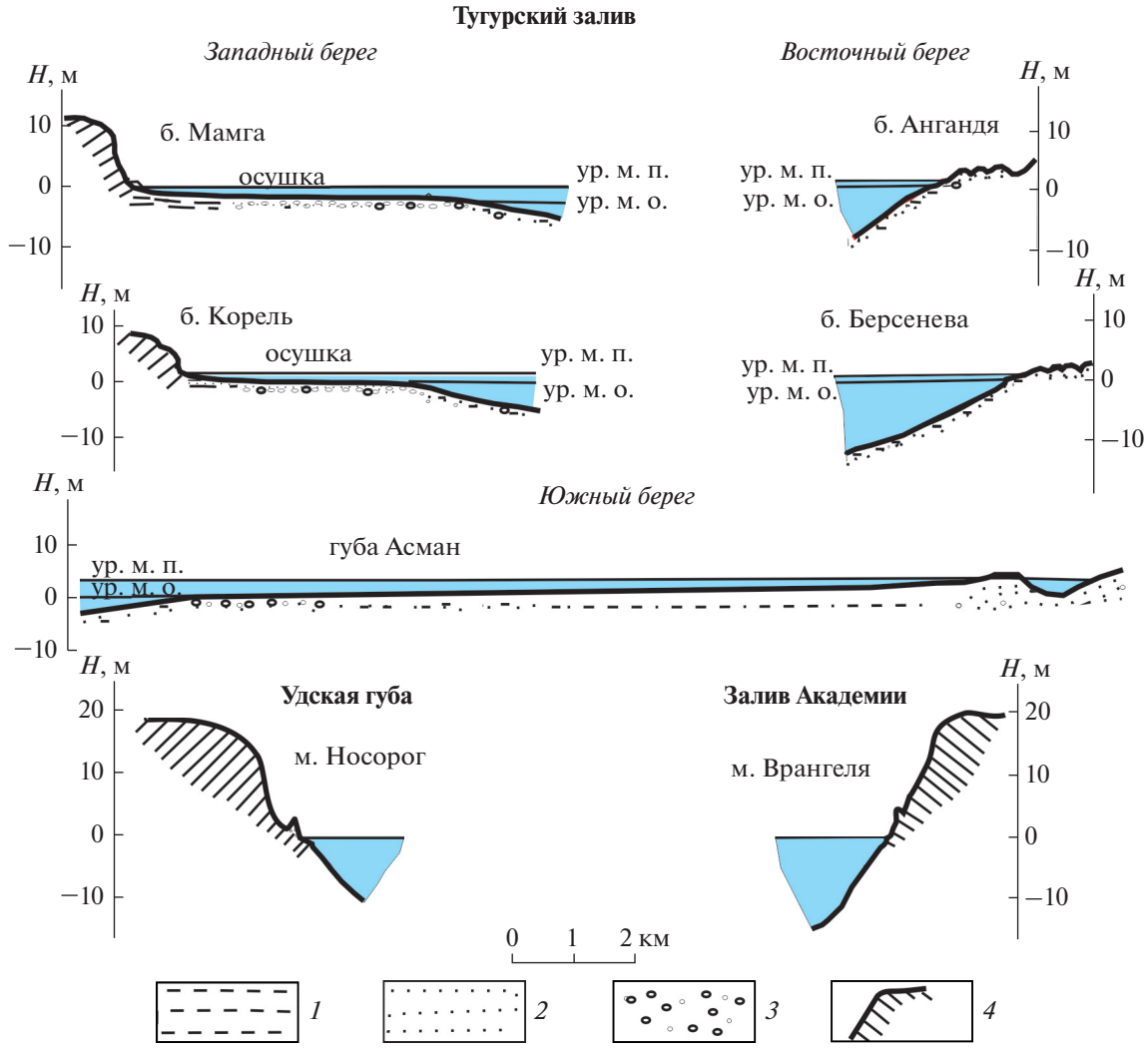

Рис. 2. Береговые профили заливов Западного Приохотья. *1* – ил; *2* – песок; *3* – гравий и валуны; *4* – коренные породы; ур. м. о. – уровень моря во время отлива; ур. м. п. – уровень моря во время прилива.

также на островах Шантарского архипелага. Уже отмершие клифы здесь окаймлены гравийно-галечными и песчано-гравийно-галечными пляжами небольшой протяженности и шириной 40–60 м при средней мощности пляжевых отложений в 1 м.

Формирование таких берегов связано с дефицитом обломочного материала, что обусловлено, в первую очередь, с отсутствием крупных рек, активной гидродинамической обстановкой и направлением потоков наносов (Леонова, Белоус, 2015). Примером являются бухты западной части Тугурского залива (Мамга, Корель, Уйкан и др.) (Бровко, Леонова, 2012), где, несмотря на активное абразионно-эрозионное срезание мысов, накопление осадков в их вершинах не происходит (см. рис. 2).

Развитие *абразионно-аккумулятивно-бухтовых* берегов с примкнувшей современной террасой в исследуемом районе связано с поступлением к урезу воды значительных объемов обломочного материала. Здесь отчетливо проявляется влияние изменения литологического состава горных пород на береговую линию, где легко размываемые породы слагают берега бухт, а устойчивые выдаются в море в виде скалистых мысов. В бухтах Тугурского полуострова и Шантарского архипелага, заливе Люцун поступающий обломочный материал частично аккумулируется в их вершинных частях. Для таких берегов типичны протягивающиеся на расстояние до нескольких километров от берега серии береговых валов и баров, чередующихся с отчлененными ими озерами.

Яркими примерами данного типа побережий являются бухты Берсенева, Ангандя и Первенца в Тугурском заливе (см. рис. 2). Так, в бухте Берсенева абразионные уступы с активным клифом (до 50 м) прослеживаются от выступающих в море входных мысов, окруженных широким бенчем,

до ее вершины. Ширина примкнувшей террасы высотой 2.5–4 м, сложенной галечником и крупнозернистым песком, при приближении к вершинной части бухты увеличивается, достигая 10 м. В 10–12 м от ее основания параллельно берегу на 150 м протягивается широкий подводный вал, осушающийся в момент наибольшего отлива.

Занимающая вершину бухты осушка гравийно-галечниковая; в нижней ее части встречены выходы коренных пород.

Геоморфологическими исследованиями в бухте Первенца внутри современной долины ручья, впадающего в бухту, обнаружены четыре параллельных друг другу и берегу реликтовых морских вала, ширина и высота которых увеличивается при удалении от берега. Наиболее молодой из них расположен у края современной осушки, а три других находятся на расстоянии 100, 200, 300 м от современного берега (Бровко, Леонова, 2012). Они имеют крутые склоны, обращенные к берегу и более пологие, обращенные к морю.

Аккумулятивные берега (лагунные, ваттовые, др.) составляют около 31% от всей протяженности линии берега рассматриваемого района (Игнатов, Кивва, 1979). Их образование происходит в результате сложного взаимодействия нескольких факторов: количества речного стока, интенсивности морского волнения и амплитуды приливов.

Лагунные берега распространены в южной части Ульбанского залива, в заливе Николая и на о. Большой Шантар. Это низменные участки, прорезанные реками, ручьями и осложненные проточными озерами.

В Ульбанском заливе выровненные аккумулятивные *лагунные берега и аккумулятивные берега с примкнувшей современной террасой* сформировались на аллювиально-морской позднеголоценовой равнине (Игнатов, Кивва, 1979).

Аккумулятивные *ваттовые* берега формируются под воздействием приливно-отливных процессов в вершинных частях заливов. Основными элементами этих берегов являются осушка, или ватт, и марши, приуроченные к вершинам заливов и бухт. Осушка – сложенная песчаным, илистым и (или) гравийно-галечным материалом пологая, и почти лишенная растительности, осушаемая поверхность, расчлененная каналами стока отливных вод и крупных рек, отчетливо прослеживающимися на аэрофото- и космических снимках.

В Удской губе осушка песчаная, шириной до 4 км, осложнена разветвленной сетью каналов отливных вод, продолжениями рукавов рек, песчаными грядами и т.д. (Леонова, 2017). В заливе Константина сеть рукавов в верхней части осушки соединяется в единый ствол на ее нижней части.

В Тугурском заливе пологая осушка заканчивается береговым валом, за которым располагается марш (Бровко, Леонова, 2012). Марши также распространены в вершинных частях заливов Константина, Ульбанского, Николая.

Типы ваттов зависят от гидродинамических условий и характера поступающего в береговую зону обломочного материала: в заливах Николая и Ульбанском формируются преимущественно алевритовые ватты, а в заливах Константина и Тугурском – алеврито-песчаные.

Дельты занимают небольшие площади на юге Удской губы. Река Уда сформировала многорукавную и многоостровную дельту; р. Ал – авандельту, в которой огромный береговой бар протягивается от ее устья на расстояние 8 км (Леонова, Белоус, 2019).

В пределах Шантарских островов *аккумулятивные* берега с широкими осушками представлены только в вершинах заливов и бухт, вдающихся в равнинные участки побережья островов (губа Якшина, губа Лебяжья).

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ БЕРЕГОВ

Для объяснения существующей в настоящее время морфологии берегов и выявления тенденций их развития необходимо реконструировать сценарий их развития в позднечетвертичный период.

Исследуя вопросы реконструкции перестройки Тугуро-Ульбанского бассейна, Ю.К. Ивашинников и А.М. Короткий относят формирование новейшего структурного плана исследуемого района к среднему плейстоцену (Ивашинников, Короткий, 2005). Они сопровождались многократными изменениями положения береговой линии на фоне гляциоэвстатических колебаний уровня моря в позднем плейстоцене–голоцене, что подтверждается данными бурения, сейсмо- и электроразведки на современном шельфе (Вейнсберг, 1991; Хершберг, 1982).

Трансгрессия начала позднего плейстоцена, сопровождающаяся наиболее мощной для всего плейстоцена активизацией абразионных процессов, привела к формированию современных очертаний морских побережий и поверхности шельфа (Чемеков, 1975). Е.В. Лебедева считает, что в этот период уровень моря поднимался до +10...+12 м, и в приустьевых частях рек существовали ингрессионные заливы (Лебедева, 1998); но многие исследователи отрицают такую возможность (Кулаков, 1973; Худяков, 1977; Чемеков, 1975). Однако бесспорно, что повышение уровня моря в рассматриваемом районе вызвало заболачивание значительных территорий, а также образование лагун и озер.

В результате сопровождающей период оледенения мощной позднеплейстоценовой

регрессии береговая линия переместилась на отметки 110–130 м ниже современного уровня моря (Арчиков, Ивашинников, 1978; Короткий, Скрыльник, 2007; Хершберг и др., 1982), а глубокий эрозионный врез долин в бассейнах рек и на шельфе в это время достиг максимума вблизи современной береговой линии. По мнению Ю.К. Ивашинникова и А.М. Короткого (2005), подтвержденному результатами буровых и геофизических работ (Троицкий, Кулаков, 1976), в устье р. Уда он составлял 110 м.

Быстрый подъем уровня моря (20–22 м за 2000 лет) во время среднеголоценового климатического оптимума, выделенного в прибрежных районах Северо-Западного Приохотья В.С. Пушкарем (Пушкарь, 1979) и А.М. Коротким с соавторами (Короткий и др., 1997; Короткий, Худяков, 1990), представлял собой несколько последовательных трансгрессий, максимальная из которых (+2...+6 м над современным уровнем) приходится на возраст около 6000 л.н. (Ивашинников, Короткий, 2005; Лебедев, 1988; Лебедева, 1998).

В периоды ускоренного подъема уровня моря зона волнового воздействия перемещалась на новый гипсометрический уровень и сопровождалась активизацией абразионно-аккумулятивной переработки береговой линии. Происходил размыв и отступание берега, а в низовьях рек формировались мелководные лиманы, отгороженные от моря песчаными пересыпями.

Таким образом, неоднократные перемещения береговой линии в пределах от +6 до –100...–130 м привели к формированию современного облика шельфовой зоны и побережий.

В результате проведенных исследований составлена схема типов берегов Западной части Охотского моря (рис. 3) и определены общие тенденции в их развитии.

В вершинах всех заливов рассматриваемого района формируются ваттовые берега с очень широкой осушкой (до 7 км). Продолжается процесс сокращения акватории залива Николая за счет выдвижения дельты р. Усалгин, что подтверждается исследованиями А.П. Кулакова с соавторами (Кулаков, 1975; Кулаков и др., 1975).

Отсутствие крупных рек, активная гидродинамическая обстановка и вдольбереговой поток наносов при унаследованном развитии первичных неровностей берега приводит к тому, что на северо-западе Удской губы, в заливах Тугурском, Ульбанском и Константина аккумуляция происходит лишь на пляжах в немногочисленных бухтах. Здесь сформировались абразионно-денудационные, абразионные и абразионно-бухтовые берега. Общая схема подводного берегового склона для рассматриваемого типа побережий такова: илистую, песчано-илистую осушку сменяет валунно-галечный пляж на уровне отлива.

В южных (Удская губа, залив Константина) и восточных частях заливов (Тугурский, Ульбанский) материал твердого стока рек и разрушения берегов отлагается в виде аккумулятивных форм – пляжей, кос, баров и др., формируя лагунные берега и берега с примкнувшей террасой. Залив Николая отличается от других перечисленных заливов – аккумулятивные берега характерны для всего его побережья, что объясняется потоками наносов, направленными вдоль бортов залива к вершине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования установлено, что для большей части исследуемых берегов характерно преобладание денудации и вдольбереговой транзит наносов; современная аккумуляция приурочена к вершинам бухт и устьям рек. Прогноз развития берегов связан с изменением уровня Мирового океана – в условиях его возможного подъема абразионно-бухтовые берега будут подвержены размыву. Однако скорость абразии отдельных участков будет неодинакова, что обусловлено геологическим строением территории, т.е. различной устойчивостью к размыву геологических формаций, слагающих побережье. Несмотря на значительную активизацию абразии в пределах выступающих в море мысов, высокая прочность пород на этих участках, как и на абразионно-тектоническом и абразионно-денудационном побережье, не приведет к значительному отступанию берега.

Темп разрушения береговых уступов на абразионных, абразионно-денудационных, абразионно-бухтовых берегах с бенчем и приглубым береговым склоном (северо-восточное побережье Шантарского архипелага, заливов Константина и Ульбанского, западное побережье Тугурского залива) прогнозируется близким к современному, поскольку активизация абразионных процессов, связанная с повышающимся уровнем моря, будет компенсироваться уменьшением воздействия нивационных процессов и сдерживаться расширением валунного бенча (за счет пляжей).

Развитие абразионно-аккумулятивно-бухтовых берегов (Тугурского полуострова и Шантарского архипелага, в заливе Люцун), лагунных и берегов с примкнувшей террасой с пологим береговым склоном при поступлении к урезу воды значительных объемов обломочного материала позволит сохранить аккумуляцию в бухтах. Подъем уровня моря здесь будет сопровождаться размывом мористой части аккумулятивных форм (кос и подводных валов) и общим смещением их в сторону суши.

Процесс размыва осушки будет протекать вдоль бортов заливов с вдольбереговым переносом осадков.

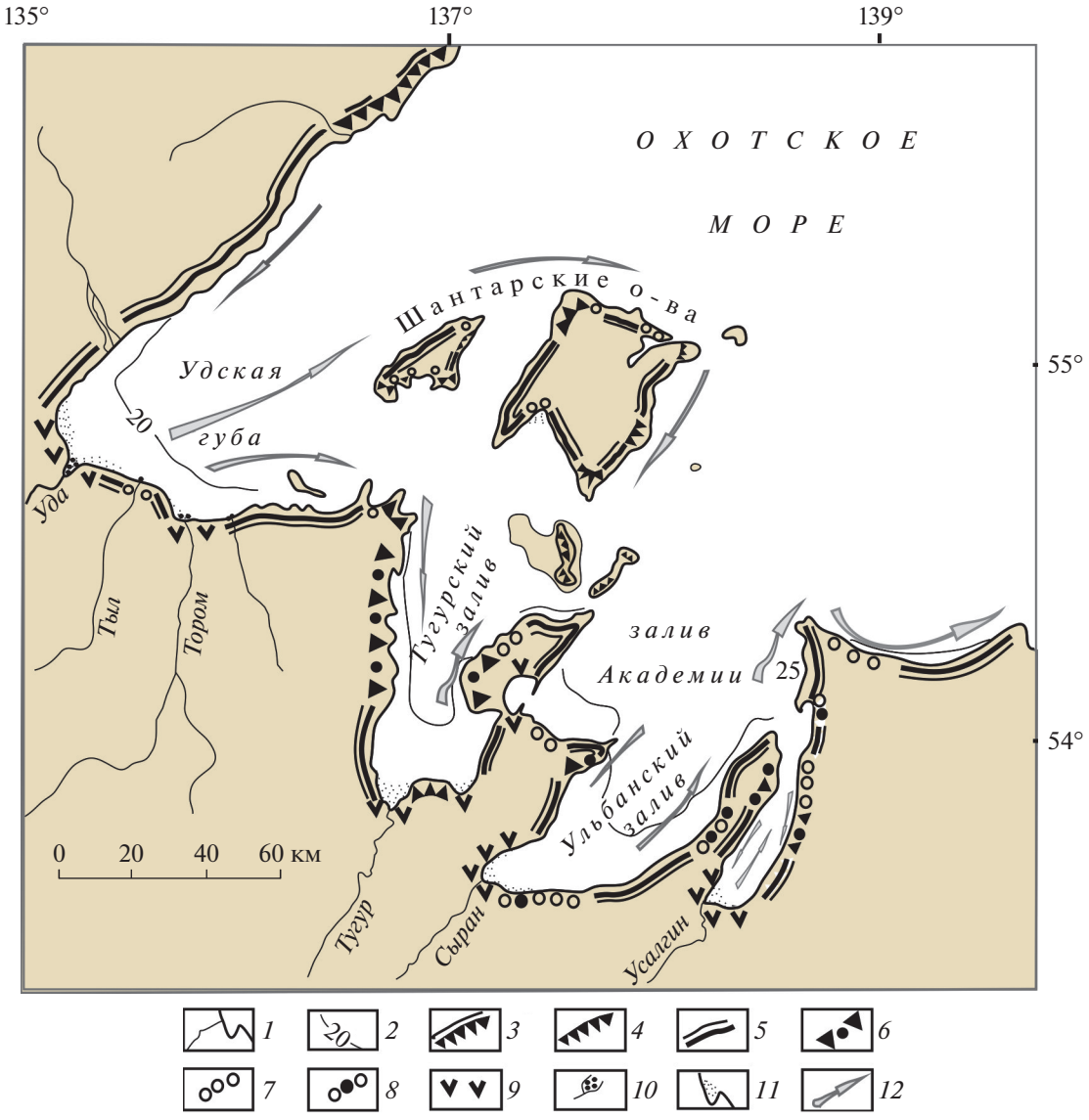

Рис. 3. Типы берегов Западного Приохотья. *1* – реки; *2* – изобата 20 м; типы берегов: *3* – абразионно-тектонические, *4* – абразионные, *5* – абразионно-денудационные, *6* – абразионно-бухтовые, *7* – аккумулятивные с примкнувшей террасой, *8* – аккумулятивные лагунные, *9* – аккумулятивные ваттовые; *10* – дельты; *11* – осушка; *12* – основные потоки наносов.

В кутовой части зал. Николая при подъеме уровня Мирового океана на более чем на 2 м произойдет затопление пойм рек, а выдвижение дельты р. Усалгин, вероятно, будет приостановлено. В вершинных частях заливов Тугурского, Константина и Ульбанского будет затоплен низкий уровень маршей и произойдет заболачивание их высокого уровня. В Удской губе, предположительно, продолжится дальнейшее выдвижение дельты.

Изучение морфодинамики берегов может использоваться для проведения дальнейших прикладных исследований в регионе, в частности при поисках россыпных месторождений, поскольку прибрежно-морские россыпи тяжелых минералов теснейшим образом связаны с рельефом и рыхлыми отложениями побережья. Считается, что прибрежные равнины Западного Приохотья отличаются оптимальными условиями для захоронения прибрежных россыпей (Игнатов, Кивва, 1979). Проведенные ранее исследования позволяют рассматривать плиоцен-четвертичные отложения, заполняющие межгорные депрессии и прибрежные озерно-аллювиальные низменности, как один из важнейших источников полезных ископаемых региона (Прогнозная..., 1976). В частности, залегающие под лагунными осадками грубообломочные континентальные отложения Итканской равнины (Ульбанский залив) являют-

ся перспективным коллектором для погребенных аллювиальных россыпей (Игнатов, Кивва, 1979).

Главными источниками питания небольших, но иногда богатых пляжевых россыпей риасового берега служат выделенные в вершинах бухт приустьевые конусы выноса. Таковыми являются россыпи у мысов Медвежье Одеяло и Дюкчангра (Прогнозная..., 1976). А на подводном продолжении речных долин предполагается обогащение аллювиальных россыпей за счет деятельности волнения, приливо-отливных и других прибрежных течений. Подобная ситуация наблюдается в проливе Шевченко, где, предположительно, происходит обогащение золотоносного аллювия (Прогнозная..., 1976).

Выполненные исследования могут быть использованы при прогнозировании дальнейшего хозяйственного освоения региона, выявлении экологических последствий все возрастающего антропогенного воздействия на побережье и в целях рекреации.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерство науки и высшего образования (тема № 121021700342-9).

FUNDING

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, project no. 121021700342-9.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ананьев Г.С., Ананьева Э.Г., Бодрова О.В., Смирнова Т.Н., Пахомов А.Ю. Особенности рельефа и рыхлых отложений древней береговой зоны Северного Приохотья // Прибрежная зона дальневосточных морей в плейстоцене. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 26–35.

Арчиков Е.И., Ивашинников Ю.К. Особенности строения побережья и шельфа Юго-Западного Приохотья в зависимости от морфоструктурной основы // Геоморфология и палеогеография шельфа: Материалы XII пленума Геоморфологической комиссии. М.: Наука, 1978. С. 66–71.

Арчиков Е.И., Степанова Л.Е., Майоров И.С. Роль ледовых образований в развитии береговых геосистем Охотского моря. Владивосток: Издательство Дальневосточного университета, 1989. 112 с.

Астахов А.С. Позднечетвертичное осадконакопление на шельфе Охотского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 140 с.

Бровко П.Ф., Леонова Т.Д. Факторы рельефообразования и районирование побережья Тугурского залива (Охотское море) // Вестн. ДВО РАН. 2012. № 2. С. 3–8.

Вейнсберг И.Г. Древние морские берега СССР (особенности распространения, генезиса и степень изменения): Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М.: МГУ, 1991. 49 с.

Воскресенский С.С., Лебедев С.А. Геоморфологические условия формирования речных долин в Юго-Западном Приохотье (на примере восточного побережья залива Николая) // Вестн. МГУ. Сер. 5. ВСЕГЕИ, 1980. № 6. С. 51–58.

Геологическая карта Хабаровского края и Амурской области. М-б 1:2 500 000. Объяснительная записка / науч. ред. Л.И. Красный. Хабаровск: Госкомгеология РСФСР; ПГО “Дальгеология”, “Таежгеология”, 1991. 51 с.

Геология и нефтегазоносность Охотско-Шантарского осадочного бассейна / В.Г. Варнавский, А.Э. Жаров, Г.Л. Кириллова, О.А. Кровушкина, Э.Я. Кропп, В.В. Куделькин, В.Б. Троян, Л.С. Чуйко. Владивосток: ДВО РАН, 15.

Гершанович Д.Е., Забелина Э.К. Геоморфологические и литологические исследования аккумулятивного берега Охотского моря в районе г. Охотска // Тр. Океаногр. ин-та, 1957. Вып. 34. С. 93–141.

Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IX. Охотское море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия: Проект “Моря” / ред. Б.Х. Глуховский, Н.П. Гоптарев, Ф.С. Терзиев. СПб.: Гидрометеоиздат, 1998. С. 291–340.

Ивашинников Ю.К., Короткий А.М. Неотектоника и палеогеография кайнозоя Азиатско-Тихоокеанской переходной зоны. Владивосток: ДВГУ, 2005. 392 с.

Игнатов Е.И., Кивва К.В. Геоморфология побережья Южного Приохотья в связи с оценкой его россыпной металлоносности // Регион. геоморфология. М.: Наука, 1979. С. 57–64.

Ионин А.С., Каплин П.А., Медведев В.С. Типы берегов и побережий Мирового океана, их классификация и районирование / Теоретические вопросы динамики морских берегов. М.: Наука, 1964. С. 19–32

Короткий А.М., Пушкарь В.С., Гребенникова Т.А. Морские террасы и четвертичная история шельфа Сахалина. Владивосток: Дальнаука, 1997. 195 с.

Короткий А.М., Скрыльник Г.П. Ведущие природные факторы и аномальные явления юга российского Дальнего Востока: Материалы XIII науч. совещания географов Сибири и Дальнего Востока (Иркутск, 26–30 ноября 2007 г.). Т. 1. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. С. 62–63.

Короткий А.М., Худяков Г.И. Экзогенные геоморфологические системы морских побережий. М.: Наука, 1990. 218 с.

Красный Л.И. Геология и полезные ископаемые Западного Приохотья. М.: Госгеолтехиздат, 1960. 162 с.

Кулаков А.П. Геоморфологическое строение района залива Николая и озера Мухтель (Северо-Западное Приохотье) // Вопросы геоморфологии и четвертичной геологии юга Дальнего Востока СССР. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 46–57.

Кулаков А.П. Морфотектоника и палеогеография материкового побережья Охотского и Японского морей в антропогене. М.: Наука, 1980. 177 с.

Кулаков А.П. Четвертичные береговые линии Охотского и Японского морей. Новосибирск: Наука, 1973. 189 с.

Кулаков А.П., Назаренко Е.М., Пушкарь В.С. О следах четвертичных морских трансгрессий в Северо-Западном Приохотье // Вопросы геоморфологии и четвертичной геологии юга Дальнего Востока СССР. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1975. С. 118–130.

Лебедев С.А., Фишкин О.Н., Лебедева Е.В., Косолапова М.В. Следы морских ингрессий в пределах депрессионных морфоструктур Юго-Западного Приохотья // Прибрежная зона дальневосточных морей в плейстоцене. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. С. 36–52.

Лебедева Е.В. Эволюция рельефообразующих процессов Западного Приохотья в кайнозое // Геоморфология. 1998. № 2. С. 81–90.

Леонова Т.Д. Рельеф дна Удского залива (Охотское море) // Аспирант и соискатель. 2017. № 6. С. 49–52.

Леонова Т.Д., Белоус О.В. Морфодинамическое районирование побережья залива Академии (Охотское море) // География и природные ресурсы. 2015. № 4. С. 142–150.

Леонова Т.Д., Белоус О.В. Морфодинамическое районирование побережья Удской губы (Охотское море) // География и природные ресурсы. 2019. № 3. С. 123–130.

Лепешко В.В., Леонова Т.Д. О тектонических тенденциях в строении рельефа Западного Приохотья // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы: Материалы XXXVI тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2003. Т. I. С. 340–343.

Прогнозная оценка россыпей золотоносных и оловянных рыхлых отложений прибрежной суши и шельфа Японского и Охотского морей / Отчет Тихоокеанской экспедиции ВНИИМоргео / А.А. Рязанцев, М.А. Шпеталенко, В.Г. Шмулев, О.А. Федюкович, Л.Б. Хершберг. Владивосток, 1976. С. 368–580.

Пушкарь В.С. Биостратиграфия осадков антропогена юга Дальнего Востока. М.: Наука, 1979. 140 с.

Троицкий С.Л., Кулаков А.П. Колебания уровня океана и рельеф побережий // Проблемы экзогенного рельефообразования. Кн. 1. М.: Наука, 1976. С. 351–426.

Хершберг Л.Б., Рязанцев А.А., Гуськов Л.Г., Шмулев В.Г., Наумов Ю.А. Древние береговые линии послеледниковой трансгрессии на шельфе Японского и Охотского морей // Колебания уровня морей и океанов за 15000 лет. М.: Наука, 1982. С. 196–207.

Худяков Г.И. Геоморфотектоника юга Дальнего востока. М.: Наука, 1977. 256 с.

Чемеков Ю.Ф. Западное Приохотье. М.: Наука, 1975. 198 с.

Typization and Evolution Trends of Coasts of the Western Part of the Sea of Okhotsk

T. D. Leonova[1, *] and O. V. Belous[1, **]

[1] *Il'ihev Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia*

**e-mail: leon@poi.dvo.ru*

***e-mail: kseya@mail.ru*

The article presents the results of coastal relief research of the Western Okhotsk region, one of the most poorly studied and hard-to-reach areas of the Sea of Okhotsk. Based on morphodynamic characteristics and the shores' genetic classification, it has been typified and zoned the coast of the Western Okhotsk region. The factors affecting the coast relief formation are identified. The complex coastal relief is determined by the region's geological structure, while the river runoff, activity of the ice, and abrasion of the seacoast influence sedimentary material input. It has been established that within the study area, denudation and longshore sediment transit prevail on most of the studied coasts. Sections of modern accumulation are confined to the bays' tops and the rivers' mouths. In the event of a possible sea level rise at the abrasion-bay coast, abrasion becomes more active on the capes protruding into the sea. The World Ocean level rise will lead to a significant estuaries' transformation. Presumably, there will be flooding and erosion of marches and alluvial lowlands. The performed studies can be used in predicting the further region's economic development, identifying the environmental consequences of an increasing anthropogenic impact on the coast and for recreation.

Keywords: coastal area, morphodynamic characteristics, abrasion-denudation shores, currents, foreshore, marches, the Sea of Okhotsk

REFERENCES

Anan'ev G.S., Anan'eva E.G., Bodrova O.V., Smirnova T.N., Pakhomov A.Yu. Peculiarities of relief and loose deposits of the ancient shoreline of the Northern Okhotsk region. In *Pribrezhnaya zona dal'nevostochnykh morei v pleistotsene* [Coastal Zone of the Far East Seas in the Pleistocene]. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1988, pp. 26–35. (In Russ.).

Archikov E.I., Ivashinnikov Yu.K. Structural features of the coast and shelf of the Southwestern Okhotsk region depending on their morphology. In *Geomorfologiya i paleogeografiya shel'fa. Mater. XII plenuma Geomorfologicheskoi komissii* [Geomorphology and Paleogeography of Shelf: Proc. 12th Plenum of Geomorphological Commission]. Moscow: Nauka Publ., 1978, pp. 66–71. (In Russ.).

Archikov E.I., Stepanova L.E., Maiorov I.S. *Rol' ledovykh obrazovanii v razvitii beregovykh geosistem Okhotskogo morya* [The Role of Ice Formations in the Development of Coastal Geological Systems of the Sea of Okhotsk]. Vladivostok: Dal'nevostochnyi Univ., 1989. 112 p.

Astakhov A.S. *Pozdnechetvertichnoe osadkonakoplenie na shel'fe Okhotskogo morya* [Late Quaternary Sediment Accumulation on the Sea of Okhotsk Shelf]. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1986. 140 p.

Brovko P.F., Leonova T.D. Factors of relief formation and zoning of the coast of the Gulf of Tugur (Sea of Okhotsk). *Vestn. DVO RAN*, 2012, no. 2, pp. 3–8. (In Russ.).

Chemekov Yu.F. *Zapadnoe Priokhot'e* [Western Priokhotye]. Moscow: Nauka Publ., 1975. 198 p.

Geological Map of the Khabarovsk Territory and the Amur Region. Scale 1 : 2500000. Explanatory note. Krasnyi L.I., Ed. Khabarovsk: Goskomgeologiya RSFSR, Dal'geologiya, Taezhgeologiya, 1991. 51 p. (In Russ.).

Gershanovich D.E., Zabelina E.K. Geomorphological and lithological studies of the Sea of Okhotsk accumulative coast in the vicinity of the Okhotsk town. *Tr. Oceanogr. Inst.*, 1957, vol. 34, pp. 93–141. (In Russ.).

Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morei [Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas]. Vol. 9: *Okhotskoe more* [Sea of Okhtosk]. Glukhovskii B.Kh., Goptarev N.P., Terziev F.S., Eds. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1998, part 1. 342 p.

Ignatov E.I., Kivva K.V. Geomorphology of the coast of the South Okhotsk region in connection with the assessment of the content of placer metals. In *Regional'naya geomorfologiya* [Regional Geomorphology]. Moscow: Nauka Publ., 1979, pp. 57–64. (In Russ.).

Ionin A.S., Kaplin P.A., Medvedev V.S. Types of shores and coasts of the oceans, their classification and zoning. In *Teoreticheskie voprosy dinamiki morskikh beregov* [Theoretical Questions of the Dynamics of Sea Coasts]. Moscow: Nauka Publ., 1964, pp. 19–32. (In Russ.).

Ivashinnikov Yu.K., Korotkii A.M. *Neotektonika i paleogeografiya Kainozoya Aziatsko-Tikhookeanskoi perekhodnoi zony* [Cenozoic Neotectonics and Paleogeography of the Asian-Pacific Transition Zone]. Vladivostok: Dal'nevostochnyi Univ., 2005. 392 p.

Khershberg L.B., Ryazantsev A.A., Gus'kov L.G., Shmulev V.G., Naumov Yu.A. Ancient coastal lines of postglacial transgression on the Japan and Okhotsk Sea shelf. In *Kolebaniya urovnya morei i okeanov za 15000 let* [Sea and Ocean Level Fluctuations for 15000 Years]. Moscow: Nauka Publ., 1982, pp. 196–207. (In Russ.).

Khudyakov G.I. *Geomorfotektonika yuga Dal'nego vostoka* [Geomorphotectonics of the Southern Far East]. Moscow: Nauka Publ., 1977. 256 p.

Korotkii A.M., Khudyakov G.I. *Ekzogennye geomorfologicheskie sistemy morskikh poberezhii* [Exogenic Geomorphological Systems of the Marine Coasts]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 218 p.

Korotkii A.M., Pushkar' V.S., Grebennikova T.A. *Morskie terrasy i chetvertichnaya istoriya shel'fa Sakhalina* [Marine Terraces and Quaternary Evolution of the Sakhalin Shelf]. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 1997. 195 p.

Korotkii A.M., Skryl'nik G.P. Leading natural factors and anomalous phenomena at the Southern Far East. In *Materialy XIII nauchnogo soveshchaniya geografov Sibiri i Dal'nego Vostoka* [Proceedings of 13th Scientific Conference of Geographers of Siberia and Far East (Irkutsk, November 26-30, 2007)]. Irkutsk: Inst. Geogr. im. V.B. Sochavy, SO RAN, 2007, vol. 1, pp. 62–63. (In Russ.).

Krasnyi L.I. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Priokhot'ya* [Geology and Mineral Resources of the Western Okhotsk Region]. Moscow: Gosgeoltekhizdat Publ., 1960. 162 p.

Kulakov A.P. *Chetvertichnye beregovye linii Okhotskogo i Yaponskogo morei* [Quaternary Coastlines of Okhotsk and the Japan Sea]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1973. 189 p.

Kulakov A.P. Geomorphological structure of the area of Nikolai Bay and Lake Mukhtel (North-West Priokhotye). In *Voprosy geomorfologii i chetvertichnoy geologii yuga Dal'nego Vostoka SSSR* [Problems of Geomorphology and Quaternary Geology of the South of the Far East of the USSR]. Vladivostok: Dal'nevostochnyi Nauchn. Tsentr AN SSSR, 1975, pp. 46–57. (In Russ.).

Kulakov A.P. *Morfotektonika i paleogeografiya materikovogo poberezh'ya Okhotskogo i Yaponskogo morei v antropogene* [Morphotectonics and Paleogeography of the Continental Coast of the Okhotsk and Japan Seas in the Anthropogen]. Moscow: Nauka Publ, 1980. 177 p.

Kulakov A.P., Nazarenko E.M., Pushkar' V.S. On traces of quaternary marine transgression in the Northwestern Okhotsk region. In *Voprosy geomorfologii i chetvertichnoi geologii yuga Dal'nego Vostoka SSSR* [Problems of Geomorphology in Quaternary Geology of Southern Far East of USSR]. Vladivostok: DVNTs Akad. Nauk SSSR, 1975, pp. 118–130. (In Russ.).

Lebedev S.A., Fishkin O.N., Lebedeva E.V., Kosolapova M.V. Traces of marine ingressions within the depressional morphostructures of the Southwestern Okhotsk region. In *Pribrezhnaya zona dal'nevostochnykh morei v pleistotsene* [Coastal Zone of the Far East Seas in the Pleistocene]. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1988, pp. 36–52. (In Russ.).

Leonova T.D. Bottom relief of the Uda Bay (The Sea of Okhotsk). *Aspirant i Soiskatel'*, 2017, no. 6, pp. 49–52. (In Russ.).

Leonova T.D., Belous O.V. Morphodynamical zoning of the Academy Bay coast (the Sea of Okhotsk). *Geogr. Prir. Resur.,* 2015, no. 4, pp. 142–150. (In Russ.).

Leonova T.D., Belous O.V. Morphodynamical zoning of the Uda Bay coast (the Sea of Okhotsk). *Geogr. Prir. Resur.*, 2019, no. 3, pp. 123–130. (In Russ.).

Lepeshko V.V., Leonova T.D. On tectonic tendencies in the relief structure of the Western Okhotsk. In *Tektonika i geodinamika kontinental'noi litosfery: Materialy XXXVI tektonicheskogo soveshchaniya* [Tectonics and Geodynamics of the Continental Lithosphere: Proceedings of the XXXVI Tectonic Meeting]. Moscow: GEOS Publ., 2003, vol. 1, pp. 340–343. (In Russ.).

Pushkar' V.S. *Biostratigrafiya osadkov pozdnego antropogena yuga Dal'nego Vostoka* [Biostratigraphy of Late Anthropogene Sediments in the South of the Far East]. Moscow: Nauka Publ., 1979. 140 p.

Ryazantsev A.A, Shpetalenko M.A., Shmulev V.G., Fedyukovich O.A., Khershberg L.B. Predictive assessment of placers of gold-bearing and tin loose sediments of the coastal land and shelf of the Sea of Japan and the Sea of Okhotsk. In *Otchet Tikhookeanskoi ekspeditsii VNII-Morgeo* [Report of the Pacific Expedition. All-Union Scientific Research Institute of Marine Geology and

Geophysics]. Vladivostok, 1976, pp. 368–580. (In Russ.).

Troitskii S.L., Kulakov A.P. Ocean level fluctuations and coastal topography. In *Problemy ekzogennogo rel'efo-obrazovaniya* [Problems of Exogenic Relief Formation]. Moscow: Nauka Publ., 1976, vol. 1, pp. 351–426. (In Russ.).

Varnevskii V.G., Zharov A.E., Kirillova G.L., Krovushkina O.A., Kropp E.Ya., Kudel'kin V.V., Chuiko L.S. *Geologiya i neftegazonosnost' Okhotsko-Shantarskogo osadochnogo basseina* [Geology and Oil-and-Gas Potential of the Okhotsk-Shantar Sedimentary Basin]. Vladivostok: DVO RAN, 2002. 148 p.

Veinsberg I.G. Ancient sea shores of the USSR (features of distribution, genesis, and degree of change). *Extended Abstract of Doctor. Sci. (Geogr.) Dissertation*. Moscow State Univ., 1991. 49 p.

Voskresenskii S.S., Lebedev S.A. Geomorphological conditions for the formation of river valleys in the South-West Priokhot'e (on the example of the eastern coast of Nikolai Bay). *Vestn. Mosk. Gos. Univ., Ser. 5: Geogr.,* 1980, no. 6, pp. 51–58. (In Russ.).

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 433–445

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 911.52:574.58

ПОДВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ ОСТРОВОВ МАНТСИНСААРИ И ЛУНКУЛАНСААРИ В ЗОНЕ РИФЕЙСКИХ ПОДНЯТИЙ В ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

© 2021 г. Д. С. Дудакова[a, *], В. М. Анохин[a, b, c, **], Ш. Р. Поздняков[a, *], М. О. Дудаков[a], С. Н. Юдин[d]**

[a]*Институт озероведения РАН, Санкт-Петербург, Россия*

[b]*Санкт-Петербургский научный центр РАН, Санкт-Петербург, Россия*

[c]*Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия*

[d]*ООО "Кивиярви", Петрозаводск, Россия*

**e-mail: judina-d@yandex.ru*

***e-mail: vladanokhin@yandex.ru*

****e-mail: lake@limno.org.ru*

Поступила в редакцию 15.09.2020 г.
После доработки 29.01.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

В июне 2019 г. с помощью необитаемого подводного аппарата проведено подводное видеопрофилирование, совмещенное с эхолотированием между двумя крупными островами Валаамско-Салминской островной дуги Ладожского озера – Мантсинсаари и Лункулансаари – для картографирования подводных ландшафтов. Исследования велись методом ключевых участков. Их итогом стала цифровая модель, на основании которой выявлено значительное структурное разнообразие (13 фаций, различающихся типом донных отложений), микрорельеф дна и состав биоты. Фации сгруппированы в 3 типа урочищ, различающихся геологическим, геоморфологическим строением и – частично – составом биоты. Обнаружены существенные различия в размерах площадей выделенных фаций. Пространственное распределение и плотность ландшафтообразующих видов водной флоры и фауны неодинаковы в разных урочищах, что важно учитывать при оценке биологических ресурсов и кормовых запасов. Полученные данные дают возможность на новом уровне проводить изучение пространственных характеристик популяций отдельных крупных ландшафтообразующих видов бентоса и перифитона Ладожского озера.

Ключевые слова: подводные ландшафты, ландшафтная модель, острова Мантсинсаари и Лункулансаари, Валаамско-Салминская островная дуга, Ладожское озеро, подводное видеопрофилирование

DOI: 10.31857/S2587556621030043

ВВЕДЕНИЕ

Изучению донных ландшафтов крупных озер со сложным геологическим строением и разнородным рельефом в настоящее время уделяется недостаточно внимания, в отличие от морских и океанических исследований. Последние с каждым годом все более расширяются и дают обилие информации (Gustafson, 1998; Annual..., 2019; Pitman, 2018), позволяющей проводить зонирование донных природных комплексов для решения различных задач (Пенно, 2014; Harris, Baker, 2012; Seafloor..., 2020). Приоритетными задачами являются: оценка биоресурсов, создание схем рационального природопользования на акватории, учет последствий антропогенного воздействия (Митина, 2005; Seelbach, 2002). Крупные озера являются объектами питьевого водоснабжения. В связи с этим особую актуальность приобретают экологически ориентированные лимнологические исследования с использованием ландшафтного подхода. Результаты этих исследований позволяют делать обоснованный выбор методологии рационального воздействия на экологическую ситуацию (Hawkins, 2000; Learning..., 2017). Ландшафтный подход дает возможность пространственного учета ресурсов (биологических и минеральных) и площадей антропогенного воздействия.

В практике изучения ландшафтов котловины Ладожского озера известно лишь выделение крупных региональных ландшафтных единиц. В.И. Гуревич (1995) на основании изучения всей акватории Ладожского озера (масштаб 1 : 500000) выделил десять ландшафтных физико-географи-

ческих районов и дал характеристики каждого из них. Однако такое крупное ландшафтное деление не дает возможности применения ландшафтных карт для осуществления природно-хозяйственных и экологических оценок на локальных участках акватории. С 2017 г. авторами разрабатывается методика исследования донных ландшафтов озера разных уровней (вплоть до фаций) (Дудакова, 2014; Дудакова и др., 2018), опирающаяся на классические методы подводных ландшафтных исследований (Митина, 2005; Петров, 1989; Поярков, Преображенский, 1980; Harris, Baker, 2012; Learning..., 2017). В данной работе представлены результаты, полученные с применением разработанных подходов.

История развития Ладожского озера влияет на состояние донных ландшафтов (Субетто, 2009; Lebas et al., 2021, Subetto et al., 1998). Одним из элементов, формирующих специфику рельефа котловины озера в северной его части в зоне взаимодействия двух крупнейших геологических структур – Балтийского щита и Русской платформы, является Валаамско-Салминская островная гряда, сформированная валаамским силлом габбро-долеритов (Свириденко, Светов, 2008). Эта субмеридиональная гряда в плане геоморфологии еще слабо изучена (Науменко и др., 2019); не много сведений имеется и по составу биологических сообществ литоральной зоны островов, входящих в ее состав (Барбашова, Курашов, 2011; Курашов, Дудакова, 2011; Распопов, 2011), а также элементов глубоководной зоны валаамского силла (Ладога..., 2013). Более подробно здесь изучены заливы и склоновые участки о. Валаам – самого крупного в этом островном архипелаге (Зуев, Зуева, 2013; Науменко и др., 2019; Saarnisto, 2018).

В то же время, детальных исследований в акватории таких крупных островов, как Мантсинсаари и Лункулансаари, находящихся в восточном отроге валаамского силла, не проводилось. Эти два острова, а также близлежащий современный берег Ладоги также недостаточно исследованы и в палеолимнологическом отношении, хотя работы Т.В. Сапелко с соавторами дали новую информацию о ходе ладожской трансгрессии в этом районе (Сапелко и др., 2018). Имеются данные по изучению биоты на точечных станциях (Литоральная..., 2011). В 2013 г. нами было исследовано распределение мейобентоса и проведено картирование на мелководном участке в заливе Лункуланлахти (Дудакова, 2014).

Участок акватории Ладожского озера в районе о-вов Мантсинсаари и Лункулансаари является интересным объектом для исследования подводных ландшафтов. Район расположен в краевой части Салминского плутона гранитов рапакиви и сложен рифейскими пологопадающими осадочными и вулканогенно-осадочными отложениями салминской свиты, в состав которых входят песчаники, алевролиты, аргиллиты, туфопесчаники и базальты. Значительная площадь участка сложена пластовой субвулканической интрузией – Валаамским силлом габбро-долеритов (Амантов, 2014). С западной стороны о. Мантсинсаари подводный рельеф повторяет морфометрические особенности элементов силла, для которых характерен резкий перепад глубин (Свириденко, Светов, 2008). В то же время участок акватории между островами и заливы, обращенные к материковой части, находятся в пределах развития пород с пологим падением слоев, что приводит к постепенному погружению дна до небольших глубин. В северной части участка по данным магниторазведки (Зуйкова, Шилова, 2000) предполагается наличие нижнепротерозойской купольной структуры в эрозионном окне среди рифейских образований. С легко выветриваемыми нижнепротерозойскими сланцами связано понижение в рельефе.

Четвертичные отложения района на материковой части и островах представлены преимущественно озерно-ледниковыми и озерными песками; моренные супесчано-валунные отложения фиксируются только на возвышенностях вблизи выходов коренных пород (Бискэ, 1959; Гаскельберг и др., 1988; Свириденко, Светов, 2008). На возвышенностях вблизи озерного побережья отмечается серия береговых валов высотой 0.5–3.0 м, фиксирующих отступание береговой линии (Максимов, 2015; Сапелко и др., 2018). В отличие от района о-вов Мантсинсаари и Лункулансаари (Дудакова и др., 2018), вытянутые продольные гряды каменистых ледниковых наносов были отличительным признаком подводных ландшафтов материкового склона восточного берега на плоских и слабонаклонных равнинах, облик которых сформирован поздневендскими и кембрийскими комплексами (Амантов, Амантова, 2014). Таким образом, наличие сложного взаимодействия разновозрастных геологических образований в районе о-вов Мантсинсаари и Лункулансаари создает уникальность и высокую гетерогенность ландшафтных элементов.

Цель работы – выявить и картографировать подводные ландшафты мелководной части Ладожского озера в районе восточного отрога валаамского силла габбро-долеритов между о-вами Мантсинсаари и Лункулансаари для решения задач рационального природопользования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работы проводились с 13 по 18 июня 2019 г. на участке акватории Ладожского озера между о-вами Лункулансаари и Мантсинсаари (рис. 1).

Исследования проведены с использованием известных методик (Митина, 2005; Петров, 1989 и др.).

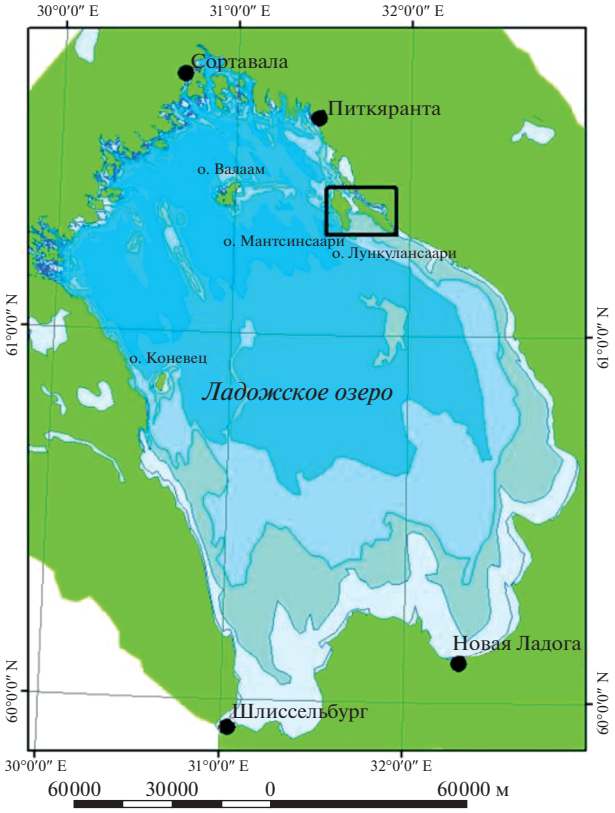

Рис. 1. Схема размещения района исследований.

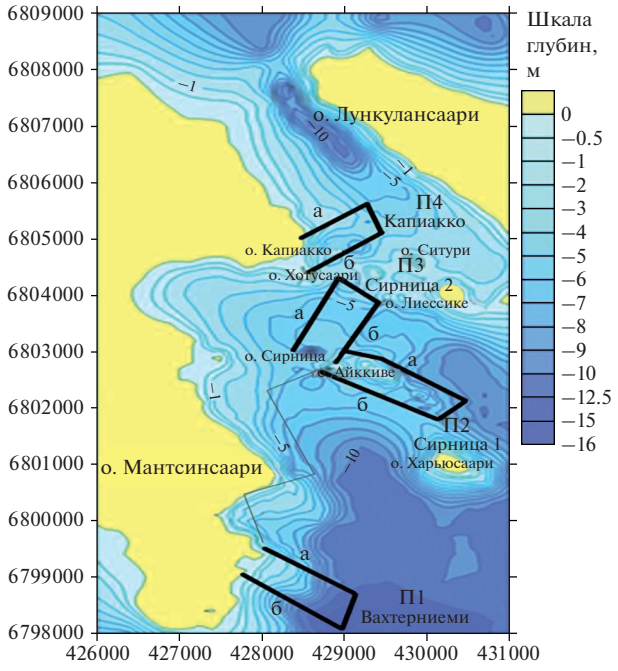

Рис 2. Схема размещения ключевых участков видеопрофилирования.

При детальном изучении ключевых участков выполнено видеопрофилирование, совмещенное с гидроакустической съемкой дна однолучевым эхолотом на нескольких полигонах площадью 300 × 1500 м^2 (рис. 2, табл. 1).

Для проведения видеопрофилирования использовали необитаемый подводный аппарат *Limnoscout-230*, созданный в Институте озероведения РАН (Дудакова и др., 2018), с установленной на нем видеокамерой Yi 4K. Эхолотирование проведено с помощью кардплоттера-эхолота Garmin-585. При построении батиметрической модели применены собственные данные с эхоло-

Таблица 1. Общая характеристика исследованных ключевых участков и профилей

Профиль	Координаты узловых точек профиля (с.ш., в.д.)	Протяженность профиля, м	Диапазон глубин, м
П1 Вахтерниеми_а	61°17′45.67″С 31°39′38.74″В–61°17′24.43″С 31°40′32.12″В	1000	0–15.7
П1 Вахтерниеми_б	61°17′32.60″С 31°39′24.05″В–61°17′13.31″С 31°40′27.37″В	1000	0–12.0
П2 Сирница1_а	61°19′37.16″С 31°40′20.64″В–61°19′12.22″С 31°42′14.54″В	2000	0–10.0
П2 Сирница1_б	61°19′31.45″С 31°40′1.71″В–61°19′4.91″С 31°41′56.22″В	1900	0–7.8
П3 Сирница2_а	61°19′37.67″С 31°40′16.90″В–61°20′9.71″С 31°40′54.34″В	1200	0–6.8
П3 Сирница2_б	61°20′27.49″С 31°40′24.42″В–61°19′41.63″С 31°39′55.12″В	1400	3.9–5.8
П4 Капиакко_а	61°20′29.54″С 31°39′52.09″В–61°20′53.89″С 31°40′46.78″В	1100	0–5.0
П4 Капиакко_б	61°20′42.02″С 31°39′52.10″В–61°21′4.00″С 31°40′37.34″В	1000	0–6.9

та, навигационные карты Главного управления навигации и океанографии Министерства обороны СССР (1 : 200000, 1 : 50000), Топокарты Министерства обороны СССР (1 : 200000), ВКФ ЛенВО (1992). Для уточнения площадного распределения зарослей тростников и прибрежных песчаных пляжей использована картография программы *Google Earth*. Геологическая основа прибрежной части суши составлена на основе данных цифровой геологической карты масштаба 1 : 500000 (Гуревич, 1995), для акватории – карты дна Ладожского озера, созданные отделом региональной геоэкологии и морской геологии ВСЕГЕИ (Амантов, 2014; Максимов, 2015). При уточнении геологического строения участка использованы данные аэромагнитных съемок ГП ПГЭ (Зуйкова, Шилова, 2000).

В камеральных условиях результаты видеонаблюдений оформлены графически в виде ландшафтного профиля, основу которого составляет батиметрическая кривая. Различными условными знаками на профиле отображены элементы геологического строения, фации современных донных отложений, фитоценозы, крупные представители малакофауны и некоторые другие элементы. Вертикальными линиями, разделяющими профиль на серию отрезков, отмечены границы фаций – минимальных единиц ландшафтов, которые с точки зрения биоцентрического подхода соответствуют биотопам. Далее проведено построение ландшафтной картосхемы донных комплексов исследованного участка акватории. Основной единицей горизонтального расчленения ландшафтов выступают урочища. Под урочищем понимается участок дна, связанный с мезоформами рельефа одинаковых по происхождению и составу слагающих пород, развитых в сходных гидрологических условиях, населенных жизненными формами донных организмов, образующих специфичные биоценозы (Панкеева, 2014). Выделенные ландшафтные комплексы на профиле вынесены на батиметрическую карту, где оконтурены участки с одинаковыми параметрами.

Для оценки площадного распространения прибрежных зарослей тростника использовалась как собственная фотовидеосъемка с воздуха с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) *Phantom-2*, так и картографические данные ресурса *Google Earth*. При дешифрировании аэрофотоснимки с БПЛА совмещались с картами *Google Earth*, далее с помощью инструментов программы проводились площадные измерения.

Для целей картирования применены средства программы *Surfer*. При построении моделей пространственных переменных для интерполяции данных выбран метод естественной окрестности "*Natural Neighbor*" (Мальцев, Мухарамова, 2014). Плотность расселения крупных двустворчатых моллюсков семейства *Unionidae* оценена по числу организмов в кадре, пересчитанных на площадь поверхности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Вертикальное расчленение подводных ландшафтов тестовых полигонов. Для составления ландшафтной карты донных комплексов использованы ландшафтные профили по исследованным с помощью подводной видеосъемки полигонам (рис. 3) (представлены отрезки, соответствующие профилям "а" для П1–П3 и "б" – для П4).

Аквальные ландшафты между о-вами Мантсинсаари и Лункулансаари представлены абразионно-аккумулятивными подводными склонами, с небольшой крутизной (не более 3°), пологими (2°–3°) – в южной, северной части изучаемого участка и у гряды мелких островов в центральной части и плоскими и слабо пологими (0.1°–2°) – в западной части. Абразионные участки относятся к верхней части профиля и сложены валунным материалом, гравием, галькой, щебнем. В южной части о. Мантсинсаари выявлены гряды окатанного обломочного материала, спускающиеся до глубин 12.5 м и простирающиеся в СЗ–ЮВ направлении. Вероятнее всего на дне представлена ледниковая морена, которая обильно встречается на наземной поверхности островов и материковой части (Бискэ, 1959; Ладожское..., 1978). С глубин 4 м отмечаются пески, приуроченные к наиболее пологим и плоским элементам рельефа. С песчаными отложениями связаны несколько форм микрорельефа, отражающие особенности придонной гидродинамики разных частей изучаемого участка акватории. На трех полигонах дно покрыто рифелями – симметричными или слабо асимметричными волнообразными неровностями, образованными в результате воздействия волн или течений (рис. 4а–г). Согласно "Атласу подводных ландшафтов ..." (Арзамасцев, Преображенский, 1990), на исследованных полигонах по характеру развития рифелей (отсутствие раздвоения гребней, их обрывание и переход из одного гребня в другой) данные формы микрорельефа следует отнести к ряби течения. Наличие придонных течений можно объяснить сложным морфометрическим строением исследуемого района. Рифели в основном были вытянуты вдоль ЮЗ–СВ направления, что может свидетельствовать о преобладании ЮВ–СЗ течений. Преобладание СЗ течения по результатам измерений с буйковой станции за несколько лет указывается также в (Ладожское..., 2015) для близлежащей к о-вам Мантсинсаари и Лункулансаари части акватории.

На участке (П2 Сирница1), в условиях вытянутой в СЗ–ЮВ направлении равнины, вероятно, происходило перераспределение водных потоков

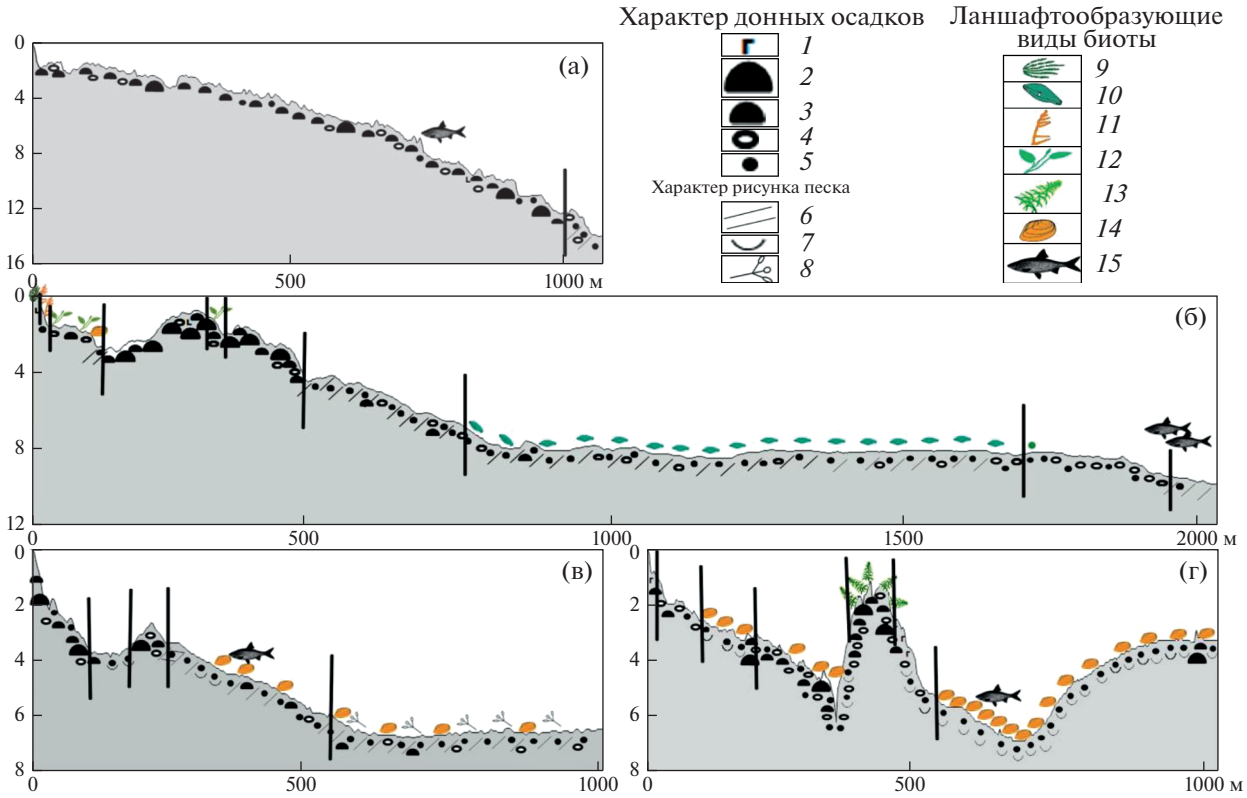

Рис. 3. Ландшафтные профили разных участков исследованной акватории: (а) П1 Вахтерниеми; (б) П2 Сирница 1; (в) П3 Сирница 2; (г) П4 Капиакко. *1* – коренная порода, *2* – крупные валуны и глыбы, *3* – валунчики, *4* – галька и щебенка, *5* – песок, *6* – знаки ряби (рифели), *7* – ямки, *8* – отмершие растительные остатки, *9* – нитчатые водоросли, *10* – водоросли фитопсаммона, *11* – тростник, *12* – рдесты, *13* – элодея, *14* – крупные моллюски, *15* – рыба.

вдоль гряды мелких островов, направление которой определяется формой силла. В этих условиях образовался необычный микрорельеф пересекающихся песчаных гребней, при котором поперек основных шли более частые и мелкие гребни (рис. 4в). На последнем полигоне рифели отсутствовали, однако на поверхности дна отмечены ямки не совсем ясной природы (рис. 4д–з). Предположительно, эти ямки являются элементами биоосложненной поверхности: в области их развития отмечена высокая плотность крупных двустворчатых моллюсков и, местами, гастропод, а также многочисленные следы перемещения моллюсков (рис. 4ж–з). Крупные ямки, возможно, частично сформированы рыбой, питающейся бентосными беспозвоночными. Все встреченные у дна во время подводных видеосъемок представители ихтиофауны отмечены в диапазоне глубин от 4 до 8 м в зоне распространения песков (см. рис. 3). На некоторых участках характер поверхности дна осложняется перекрыванием песчаного грунта крупнообломочным материалом – мелкими валунами, галькой и щебнем (рис. 4и–к). На этих участках часто накапливаются крупные растительные остатки (см. рис. 4к).

Развитию макрофитов на мелководье, вероятно, препятствует высокая гидродинамическая активность.

Горизонтальное расчленение. Выделение урочищ при ландшафтном расчленении базировалось на основании четырех основных компонентов: геологического строения и обусловленного им рельефа, типа поверхностных донных осадков, гидродинамического режима и распределения ландшафтообразующих видов гидробионтов (рис. 5).

В пределах обследованного участка выделено три урочища (см. рис. 5г): I. Плоская равнина с пологими бортами в южной части; II. Система хребтов с поднятиями, выходящими на поверхность воды в виде мелких островов в центральной части; III. Су́женная ложбина между двумя крупными островами в северно-западной части о. Лункулансаари.

В *южном урочище* (I) более 75% площади занимает песчаное дно, испытывающее, судя по характеру поверхности, покрытой гребнями ряби течения, значительное гидродинамическое воздействие. Развитие крупной ландшафтообразующей биоты здесь относительно невысокое. Зарос-

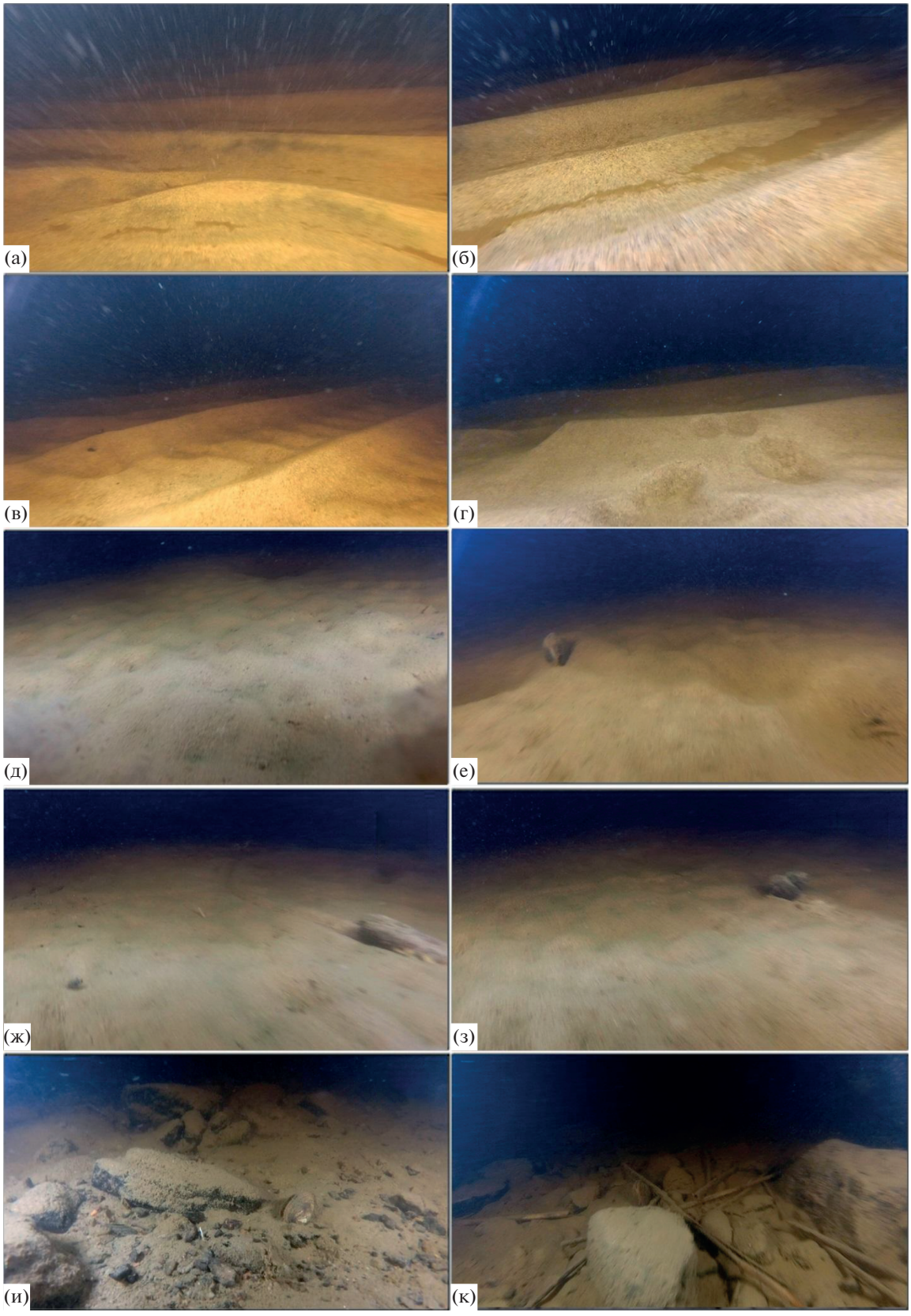

Рис. 4. Характер микрорельефа поверхности песчаного и смешанного грунта.

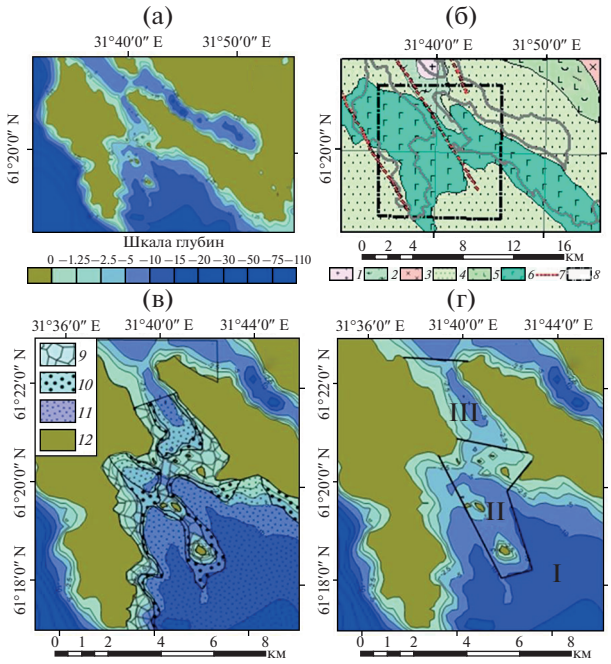

Рис. 5. Компоненты ландшафтной модели (батимет-рия (а), геология (б), донные осадки (в)) и картосхема ландшафтов изученного участка акватории (г). Коренные породы: *1* – сланцево-карбонатно-толеитобазальтовые образования в обрамлении куполов, *2* – граниты ядерных частей куполов, *3* – комплекс гранитов рапакиви, *4* – конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты, *5* – туфопесчаник-базальтовые образования, *6* – габбро-долеритовый Валаамский комплекс. *7* – разломы; *8* – контур врезки. Рыхлые четвертичные отложения: *9* – крупные обломки на массивах коренных пород, сменяющиеся с увеличением глубины смешанным валунным и мелкообломочным материалом; *10* – галька, щебень и отдельные редкие валуны на песках; *11* – пески, алевропески; *12* – суша. I – южное урочище; II – центральное урочище; III – северо-западное урочище о. Лункулансаари.

ли макрофитов, в частности воздушно-водных видов, таких как тростники, – очень скудные и простираются вдоль береговой линии о. Мантсинсаари узкими редкими полосами и только в зонах заливов; развитие фитоценозов тростников вдоль береговой линии восточной части о. Лункулансаари более выраженное. При видеопрофилировании погруженных и полупогруженных форм макрофитов не выявлено. В восточной части урочища на довольно больших площадях на глубинах 8 м было отмечено развитие водорослей фитопсамона. Однако невыясненным остается физиологическое состояние этих водорослей, были ли это живые организмы или отмершие клетки, скопившиеся в зонах увеличения глубин. С твердым обломочным материалом, слагающим борта равнины, образующей урочище, связано развитие фито- и зооперифитона. На валунах многочисленны небольшие колонии губок (рис. 6). Встречаемость унионид и крупных гастропод, как на каменистом субстрате, так и на песках, редка, что свидетельствует об их низкой роли в ландшафте. Здесь на глубинах более 1 м не отмечено массового присутствия характерных для озера эпибентосных ракообразных – амфипод.

Грядово-островной характер поднятий *центрального урочища* (II) обусловлен геологическим строением (см. рис. 5б). Эта часть является зоной внедрения валаамского силла, породы которого (габбро-долериты) устойчивы к разрушению (рис. 7а, 7б). Уточнение геологической карты исследуемого участка акватории показало, что особенности рельефа дна здесь зависят от вещественного состава дочетвертичных комплексов:

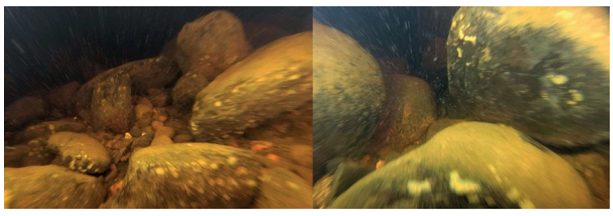

Рис. 6. Колонии губок на валунах.

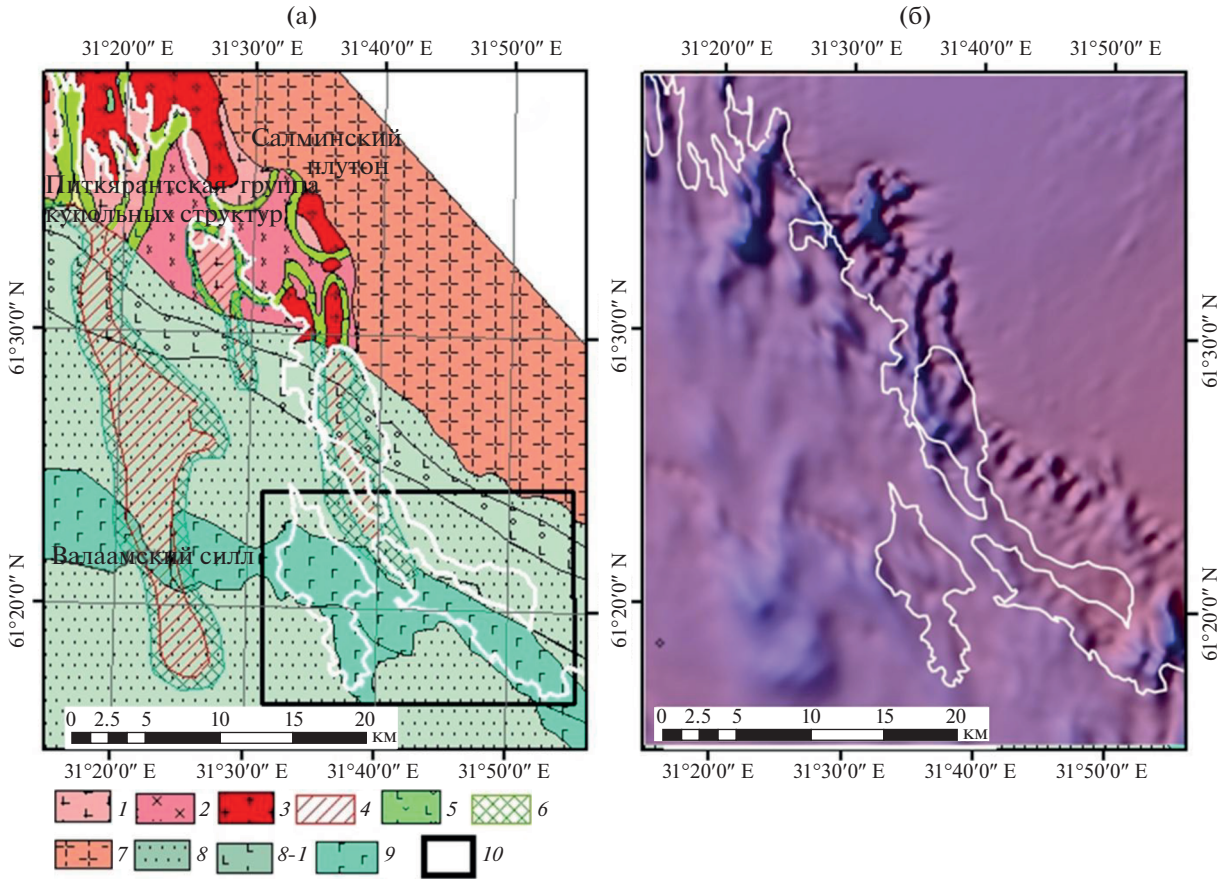

Рис. 7. (а) Геологическая схема северо-восточной части Ладожского озера.
Архей-протерозой. Гранитоиды куполов: *1* – плагиограниты, *2* – гранодиориты, *3* – граниты; в акватории *4* – гранитоиды нерасчлененные (по геофизическим данным). *Нижний протерозой*. Вулканогенно-осадочные образования обрамления куполов: *5* – базальты, андезибазальты, их туфы, доломиты, сланцы графитовые, *6* – сланцы нерасчлененные (по геофизическим данным); *Рифей*: *7* – комплекс гранитов-рапакиви Салминского плутона; *8* – конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты; *8-1* – покровы базальтов; *9* – габбро-долериты Валаамского комплекса; 10 – контур участка исследований.
(б) Карта магнитных аномалий северо-восточной части Ладожского озера (совмещенная: тоновая и теневого рельефа магнитного поля).

осадочных и вулканогенных пород раннерифейского возраста (граниты рапакиви салминского плутона, габбро-долериты пластовой валаамской интрузии) и раннепротерозойских кристаллических образований (см. рис. 7). Контрастный рельеф северной части дна Ладоги также связывают с активным проявлением разломной тектоники (Амантов, 2014; Свириденко, 2019; Свириденко, Светов, 2008). Залегание рифейских образований полого наклонное, близкое к горизонтальному (Амантов, 2014). Колебания рельефа в пределах развития рифея связаны с литологическим составом пород. Раннепротерозойские породы в пределах акватории по составу аналогичны образованиям питкярантской группы куполов. Ядра куполов сложены гранитами, окаймляются вулканогенно-осадочными образованиями людиковия, смяты в складки с субмеридиональной ориентировкой шарниров, крутым падением слоев. Породы людиковия, развитые по краям куполов, в магнитном поле выделяются интенсивными положительными аномалиями, обусловленными наличием в разрезе высокомагнитных пород: графитистых и пирротинсодержащих метаалевролитов, отдельных горизонтов скарнов и кварцитов. Следует отметить, что эти магнитные аномалии часто приурочены к понижениям в рельефе на суше. В пределах акватории цепочки магнитных аномалий прослеживаются в меридиональном направлении на юг в район исследований (Зуйкова, Шилова, 2000), в целом, совпадая с понижениями рельефа дна озера. С ними, предположительно, связывается наличие сланцев людиковия в эрозионных окнах среди рифейских пород. В северной части участка исследований в углублениях рельефа выявлены магнитные аномалии, ориентированные несогласно к слоистости рифейских пород, интерпре-

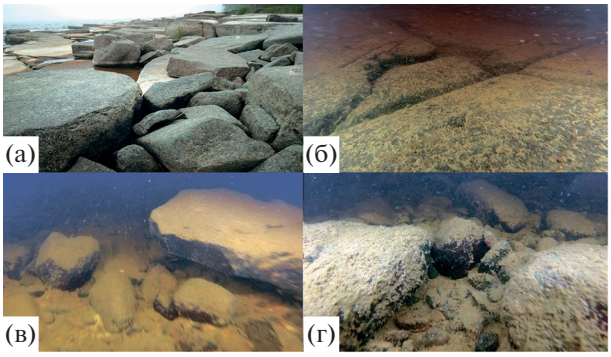

Рис. 8. Надводные и подводные обнажения габбро-долеритов валаамского силла и смешанные обломки на поверхности дна, составленные коренной породой и мореной.

тируемые как нижнепротерозойские и людиковские сланцы.

Преобладающим типом отложений (до 80% площади) в центральном урочище являются обломки разной степени крупности (рис. 8в–г), лежащие на подстилающей коренной породе. Последняя местами также открывается на дне (рис. 8б). Среди макрофитов, помимо тростника, образующего заросли на мелководьях в островных заливах, на небольших глубинах (до 2 м) встречаются виды, относящиеся к погруженным и полупогруженным формам: элодея, рдесты. В составе зооперифитона отмечены колонии губок, однако их количество меньше по сравнению с южным урочищем. Каменистые поверхности во многих случаях покрыты сестоном и бактериально-водорослевыми образованиями (Harrison, Hildrew, 2001). Присутствие таких сообществ эпилитона, по-видимому, препятствовало развитию колоний губок. На мелководье мелких островов до глубин менее 1 м среди каменистых обломков местами встречаются массовые скопления литоральных амфипод *Gmelinoides fasciatus*. Из крупных бентосных видов среди гальки и щебенки отмечены двустворки унионид. Большая их плотность характерна для каменисто-песчаного субстрата глубже 4 м. Наиболее высоким потенциалом биоресурсов обладает зона к северу от гряды мелких островов: максимальная плотность унионид наблюдается в зонах скопления заиленных песков, заполняющих впадины между островами на участках с минимальными значениями гидродинамической активности.

Наименее изученным осталось *северо-западное урочище о. Лункулансаари* (III). Здесь отмечены высокая степень гидродинамического воздействия на дно, высокая мутность и плотность сестона по сравнению с другими частями и отсутствие двустворчатых моллюсков. Однако анализ аэро- и космических снимков указывает на большую роль литоральных макрофитов в этом урочище: гораздо сильнее развиты фитоценозы тростника, что создает основу для более высоких показателей развития бентоса в прибрежной зоне (Литоральная..., 2011). Исследования в этом урочище требуют продолжения для уточнения характеристик биоты и распределения донных отложений.

Таким образом, сложное взаимодействие коренных пород, выявленное присутствие и распределение четвертичных гляциальных отложений, разнообразие донных осадков и типов их поверхности, гидрологический режим в разных частях акватории, различия в сообществах гидробионтов привели к высокой мозаичности дна и разнообразию фаций (рис. 9).

Площади, занимаемые отдельными фациями, значительно разнятся. Если растительные пояса в прибрежной зоне представлены скудно (фации нитчатки, тростников, рдестов, элодеи – менее 1% от общей площади дна), то песчаные фации более глубоких участков имеют наибольшее площадное распределение (например, фация чистых песков с рифелями занимает 65% площади). Промежуточное положение занимает фация галечно-песчаных отложений с отдельными валунами.

ВЫВОДЫ

1. Для ландшафтов, сформированных на рифейских поднятиях между о-вами Лункулансаари и Мантсинсаари, характерно значительное структурное разнообразие, что в данной работе было показано для валаамского силла габбро-долеритов и интрузий более раннего возраста, различающихся по устойчивости к водной абразии.

2. На исследованном участке выделены тринадцать фаций, различающихся типом донных отложений, микрорельефом дна и составом биоты.

3. Фации сгруппированы в три типа урочищ, различающихся геологическим, геоморфологическим строением и – частично – составом биоты.

4. Обнаружены существенные различия в размерах площадей распространения выделенных фаций.

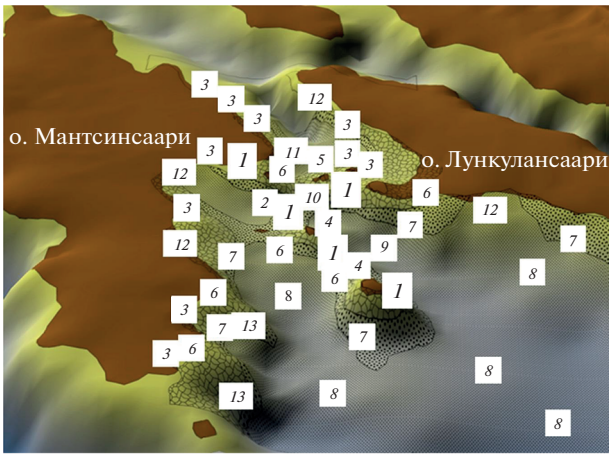

Рис. 9. Распределение фаций на исследованном участке акватории. Фации: *1* – подводных выходов коренных пород и крупных глыб; *2* – прибрежных коренных пород, глыб и крупновалунных отложений с нитчатыми водорослями на глубинах до 0.5 м; *3* – тростниковых зарослей на песчано-галечно-валунном грунте на глубинах до 1.5 м; *4* – рдестов на песчано-галечно-валунном грунте на глубинах 1.5–2 м*; *5* – прибрежных и мелководных крупновалунных отложений с бактериально-водорослевыми обрастаниями и присутствием элодеи канадской на глубинах до 1.5 м*; *6* – чистых прибрежных и мелководных крупновалунных отложений с колониями пресноводных губок до 2.5 м глубины; *7* – галечно-песчаных отложений с редкими валунами на глубинах до 6 м; *8* – чистых песков со знаками ряби с редкими щебенкой и валунами на глубинах более 4 м; *9* – песков с рифелями с редкими щебенкой и валунами и с водорослями фитопсаммона на поверхности на глубинах более 8 м; *10* – песков с рифелями с редкими щебенкой и валунами и с растительным опадом на поверхности, поступающем из верхних горизонтов, на глубинах более 6 м; *11* – песков с ямками на поверхности, заселенными крупными моллюсками на глубинах 3–7 м; *12* – прибрежных песчаных пляжей с серией подводных валов; *13* – моренных валунно-галечных отложений, простирающихся до глубин 12.5 м. * Фации 4 и 5 показаны для участков, исследованных при подводном видеопрофилировании; возможна их большая представленность в прибрежной мелководной зоне исследованного участка акватории.

5. Пространственное распределение и плотность ландшафтообразующих видов водной флоры и фауны неодинаковы в разных урочищах, что важно учитывать при учете биологических ресурсов и оценке кормовых запасов.

Полученные результаты позволят на новом уровне проводить изучение пространственных характеристик популяций отдельных крупных ландшафтообразующих видов бентоса и перифитона в Ладожском озере.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена по теме госзадания ИНОЗ РАН № 0154-2019-0001 “Комплексная оценка динамики экосистем Ладожского озера ...”.

FUNDING

The work was performed within the framework of the state assignment of the Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, no. 0154-2019-0001 “Comprehensive assessment of the dynamics of the ecosystems of Lake Ladoga ...”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Амантов А.В. Геология дочетвертичных образований и тектоника Ладожского озера // Региональная геология и металлогения. 2014. № 58. С. 22–32.

Амантов А.В., Амантова М.Г. Развитие котловины Ладожского озера с позиций ледниковой теории // Региональная геология и металлогения. 2014. № 59. С. 5–14.

Арзамасцев В.А., Преображенский Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. М.: Наука, 1990. 224 с.

Барбашова М.А., Курашов Е.А. Макрофауна литоральной зоны Ладожского озера // Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Наука, 2011. С. 219–252.

Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. Петрозаводск, 1959. 308 с.

Гаскельберг Л.А., Кофман В.С., Горянский В.Ю. Составление геологической карты Карело-Кольского региона и Северо-Запада Восточно-Европейской плиты масштаба 1 : 500000. Л.: ПГО “Севзапгеология”, ТКЭ, 1988. 817 с.

Гуревич В.И. Районирование донных ландшафтов // Геоэкология Ладожского озера / под ред. В.Л. Иванова и В.И. Гуревича. СПб.: ВНИИ Океангеология, 1995. 210 с.

Дудакова Д.С. Картирование распределения мейобентоса на участке затишной литорали с высоким видовым богатством макрофитов в восточной части Ладожского озера // География: традиции и инно-

вации в науке и образовании: Материалы ежегодной Международной науч.-практ. конф. LXVII Герценовские чтения, Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена, 17–20 апреля 2014 г. СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2014. С. 227–231.

Дудакова Д.С., Дудаков М.О., Анохин В.М. Опыт применения глубоководного телеуправляемого аппарата для изучения подводных ландшафтов Ладожского озера // Рос. журн. прикладной экологии. 2018. № 4 (16). С. 51–55.

Зуев Ю.А., Зуева Н.В. Опыт исследования макрозообентоса каменистой литорали Ладожского озера // Уч. Зап. Рос. Гос. гидромет. ун-та. 2013. № 30. С. 134–147.

Зуйкова Ю.Л., Шилова Т.М. Геологический отчет, ТЭД, ТЭО, ТЭС. 27064. Составление сводных аэрогеофизических карт на Ладожско-Онежскую площадь в масштабе 1 : 200000 в 1995–2000 годах. ГП ПГЭ. СПб., 2000. 76 с.

Курашов Е.А., Дудакова Д.С. Развитие и распределение мейобентосного сообщества в литоральной зоне / Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Наука, 2011. С. 261–275.

Ладога / под ред. В.А. Румянцева, С.А. Кондратьева. СПб.: Нестор-История, 2013. 467 с.

Ладожское озеро (развитие рельефа и условия формирования четвертичного покрова котловины) / отв. ред. Г.С. Биске. Петрозаводск: Карелия, 1978. 208 с.

Ладожское озеро и достопримечательности его побережья: Атлас / ред. В.А. Румянцев. СПб.: Нестор-История, 2015. 200 с.

Литоральная зона Ладожского озера / под ред. Е.А. Курашова. СПб.: Нестор-История, 2011. 416 с.

Максимов А.В. Литологическая карта поверхности дна акватории Государственная геологическая Российской Федерации масштаба 1 : 1000000 Н.А. / Третье поколение Балтийская серия. P-(35), 36 (Петрозаводск) / ред. Ю.В. Богданов. Роснедра; ФГУП “ВСЕГЕИ”, 2015.

Мальцев К.А., Мухарамова С.С. Построение моделей пространственных переменных (с применением пакета Surfer): Учеб. пособие. Казань: Казан. ун-т, 2014. 103 с.

Митина Н.Н. Геоэкологические исследования ландшафтов. М.: Наука, 2005. 197 с.

Науменко М.А., Гузиватый В.В., Нестеров Н.А., Субетто Д.А. Морфометрические особенности подводного склона юго-западной части острова Валаам // ДАН. 2019. Т. 486. № 3. С. 371–374.

Панкеева Т.В., Миронюк О.А., Панкеева А.Ю. Исследования донных ландшафтов прибрежной зоны Тарханкутского полуострова (Крым, Черное море) // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 800–805.

Пенно М.В. Развитие научных представлений о морских ландшафтах // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. № 1. С. 166–172.

Петров К.М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования. Л.: Наука, 1989. 126 с.

Распопов И.М. Видовое и ценотическое разнообразие высших водных и прибрежно-водных растений в литоральной зоне Ладожского озера / Литоральная зона Ладожского озера. СПб.: Наука, 2011. С. 52–64.

Сапелко Т.В., Терехов А.В., Амантов А.В. Ладожская трансгрессия: реконструкция финальной стадии и последующего спада в северной части озера // Регион. геология. 2018. № 75. С. 23–34.

Свириденко Л.П. Ладожская вулкано-тектоническая структура (геология, вулканоплутанизм, тектоника). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. 98 с.

Свириденко Л.П., Светов А.П. Валаамский силл габбродолеритов и геодинамика котловины Ладожского озера. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. 123 с.

Субетто Д.А. Донные отложения озер: палеолимнологические реконструкции. СПб.: Изд-во РГПУ, 2009. 348 с.

Annual conference GEOHAB 2019. Marine geological and biological habitat mapping: Abstracts (Russia, St. Petersburg, May 13–17, 2019). SPb.: VSEGEI Press, 2019. 240 p.

Gustafson E. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? // Ecosystems. 1998. V. 1. P. 143–156.

Harris P.T., Baker E.K. Seafloor Geomorphology as Benthic habitat: GEOHAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats – synthesis and lessons learned / P.T. Harris, E.K. Baker (Eds.). GEOHAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats (1st ed.). 2012. P. 871–890.

Harrison S.S.C., Hildrew A.G. Ephilithic communities and habitat heterogeneity in lake littoral // J. of animal ecol. 2001. № 70. P. 692–707.

Hawkins C.P., Norris R.H., Gerritsen J., Hughes R.M., Jackson S.K., Johnson R.K., Stevenson R.J. Evaluation of landscape classifications for biological assessment of freshwater ecosystems: synthesis and recommendations // J. North American Benthological Society. 2000. V. 19. P. 541–556.

Learning landscape ecology. A practical guide to concepts and techniques / S.E. Gergel, M.G. Turner (Eds.) (2nd ed.). N.Y.: Springer, 2017. 368 p.

Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., Görtz C., Averes T., Subetto D., Naumenko M., Melles M. Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga // Quat. Sci. Rev. 2021. V. 251. https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2020.106637

Pitman S. Seascape ecology. Honoken, NJ: Wiley Blackwell, 2018. 495 p.

Seafloor geomorphology as benthic habitat: GEOHAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats (2nd ed.) / P.T. Harris, E.K. Baker (Eds.). Amsterdam: Elsevier, 2020. 1030 p.

Seelbach P.W., Wiley M.J., Soranno P.A., Bremigan M.T. Aquatic Conservation Planning: Using Landscape Maps to Predict Ecological Reference Conditions for Specific Waters. In: K.J. Gutzwiller (Ed.). Applying Landscape Ecology in Biological Conservation. N.Y.: Springer, 2002. P. 454–478.

Underwater Landscapes of Mantsinsaari and Lunkulansaari Islands in the Zone of Riphean Uplifts in the Eastern Part of Lake Ladoga

D. S. Dudakova[1, *], V. M. Anokhin[1, 2, 3, **], Sh. R. Pozdnyakov[1, *], M. O. Dudakov[1], and S. N. Yudin[4]**

[1]*Institute of Limnology of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

[2]*St. Petersburg Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia*

[3]*Herzen University, St. Petersburg, Russia*

[4]*LLC "Kiviyarvi," Petrozavodsk, Russia*

**e-mail: judina-d@yandex.ru*

***e-mail: vladanokhin@yandex.ru*

****e-mail: lake@limno.org.ru*

In June 2019, using the remotely operated underwater vehicle Limnoscout-230, underwater video profiling combined with sonar in the part of the water area between the two large islands of the Valaam-Salma islands arc of Lake Ladoga—Mantsinsaari and Lunkulansaari—was conducted. The work aims to identify and map underwater landscapes of the Lake Ladoga shallow part in the eastern spur area of the Valaam sill of gabbro-dolerites between Mantsinsaari and Lunkulansaari islands. The research was conducted using the key sites method. The work result was a digital landscape model, which presents a number of bottom landscapes mapped on a bathymetric basis. To identify the vertical distribution of bottom landscapes, landscape profiles were constructed, on which separate facies were distinguished. The analysis of the horizontal stretch and the spatial ratio of facies allowed us to identify three landscapes within the studied area of the water area. Landscapes were distinguished based on four main components: the geological structure and its associated relief, types of bottom sediments, hydrodynamic regime, and bottom biota. The presented landscape model can be used as a reference for the landscape within the eastern spur of the Valaam sill of the gabbro-dolerites. Information on the area distribution of landscape-forming species of bottom flora and fauna between the Mantsinsaari and Lunkulansaari islands is important for accounting for the biological resources and forage reserves of Lake Ladoga, as well as for studying the spatial characteristics of individual populations.

Keywords: underwater landscapes, landscape model, Mantsinsaari and Lunkulansaari islands, Valaam-Salma island arc, Lake Ladoga, underwater video profiling

REFERENCES

Amantov A.V. Geology of pre-Quaternary formations and tectonics of Lake Ladoga. *Reg. Geol. Metallogeniya*, 2014, no. 58, pp. 22–32. (In Russ.).

Amantov A.V., Amantova M.G. Development of the Ladoga Lake basin from the positions of glacial theory. *Reg. Geol. Metallogeniya*, 2014, no. 59, pp. 5–14. (In Russ.).

Annual Conference GEOHAB 2019. Marine Geological and Biological Habitat Mapping: Abstracts. (Russia, St. Petersburg, May 13–17, 2019). St. Petersburg: VSEGEI Press, 2019. 240 p.

Arzamastsev V.A., Preobrazhenskii B.V. *Atlas podvodnykh landshaftov Yaponskogo morya* [Atlas of Underwater Landscapes of the Sea of Japan]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 224 p.

Barbashova M.A., Kurashov E.A. Macrofauna of the littoral zone of Lake Ladoga. In *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral Zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2011, pp. 219–252. (In Russ.).

Biske G.S. *Chetvertichnye otlozheniya i geomorfologiya Karelii* [Quaternary Deposits and Geomorphology of Karelia]. Petrozavodsk, 1959. 308 p.

Dudakova D.S. Mapping the distribution of meiobenthos in the area of the lull littoral with high species richness of macrophytes in the Eastern part of Lake Ladoga. In *Geografiya: traditsii i innovatsii v nauke i obrazovanii* [Geography: Traditions and Innovations in Science and Education]. St. Petersburg: RGPU im. Gerzena, 2014, pp. 227–231. (In Russ.).

Dudakova D.S., Dudakov, M.O., Anokhin V.M. Experience of application of a deep water remotely operated vehicle (ROV) for studying the underwater landscapes of the Lake Ladoga. *Ross. Zh. Priklad. Ekol.*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 51–55. (In Russ.).

Gaskel'berg L.A., Kofman V.S., Goranskii V.Yu. *Sostavlenie geologicheskoi karty Karelo-Kol'skogo regiona i Severo-Zapada Vostochno-Evropeiskoi plity masshtaba 1 : 500000* [Creating a 1 : 500000 Scale Geological Map of the Karelia-Kola region and the North-West of the East European Plate]. Leningrad: Sevzapgeologiya Publ., 1988. 817 p.

Gurevich V.I. Zoning of bottom landscapes. In *Geoekologiya Ladozhskogo ozera* [Geoecology of Lake Ladoga]. Ivanov V.L., Gurevich V.I., Eds. St. Petersburg: VNII Okeangeologiya, 1995. 210 p.

Gustafson E. Quantifying landscape spatial pattern: what is the state of the art? *Ecosystems*, 1998, vol. 1, no. 2, pp. 143–156.

Harris P.T., Baker E.K. GEOHAB Atlas of seafloor geomorphologic features and benthic habitats – synthesis and lessons learned. In *Seaflor Geomorphology as Benthic Habitat: GEOHAB Atlas of Seafloor Geomorphologic Features and Benthic Habitats*. Harris P.T., Baker E.K., Eds. Elsevier, 2012, pp. 871–890.

Harrison S.S.C., Hildrew A.G. Ephilithic communities and habitat heterogeneity in lake littoral. *J. Anim. Ecol.*, 2001, vol. 70, no. 4, pp. 692–707.

Hawkins C.P., Norris R.H., Gerritsen J., Hughes R.M., Jackson S.K., Johnson R.K., Stevenson R.J. Evaluation of landscape classifications for biological assessment of freshwater ecosystems: synthesis and recommendations. *J. North Am. Benthol. Soc.*, 2000, vol. 19, pp. 541–556.

Kurashov E.A., Dudakova D.S. Development and distribution of the meiobenthos community in the littoral zone. In *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral Zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2011, pp. 261–275. (In Russ.).

Ladoga [Ladoga]. Rumyantsev V.A., Kondrat'ev S.A., Eds. St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2013. 467 p.

Ladozhskoe ozero (razvitie rel'efa i usloviya formirovaniya chetvertichnogo pokrova kotloviny) [Ladoga Lake (Development of the Relief and Conditions for the Formation of the Quaternary Cover of the Basin)]. Biske G.S., Ed. Petrozavodsk: Kareliya Publ., 1978. 208 p.

Ladozhskoe ozero i dostoprimechatel'nosti ego poberezh'ya: Atlas [Ladoga Lake and the Attractions of its Coast: Atlas]. Rumyantsev V.A., Ed. St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2015. 200 p.

Learning Landscape Ecology. A Practical Guide to Concepts and Techniques. Gergel S.E., Turner M.G., Eds. New York: Springer Publ., 2017, 2nd ed. 368 p.

Lebas E., Gromig R., Krastel S., Wagner B., Fedorov G., Görtz C., Averes T., Subetto D., Naumenko M., Melles M. Pre-glacial and post-glacial history of the Scandinavian Ice Sheet in NW Russia – Evidence from Lake Ladoga. *Quat. Sci. Rev.*, 2021, vol. 251, 106637. doi 10.1016/j.quascirev.2020.106637

Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera [Littoral Zone of Lake Ladoga]. Kurashov E.A., Ed. St. Petersburg: Nestor-Istoriya Publ., 2011. 416 p.

Maksimov A.V. *Lithological Map of the Bottom Surface of the Water Area. State Geological Map of the Russian Federation, Scale 1 : 1000000 (Third Generation). Baltic Series. R-(35), 36 (Petrozavodsk)*. Bogdanov. Yu.B., Ed. VSEGEI, 2015. (In Russ.).

Mal'tsev K.A., Mukharamova S.S. *Postroenie modelei prostranstvennykh peremennykh (s primeneniem paketa Surfer): Uchebnoe posobie* [Building Spatial Models (with the Surfer Package): Textbook]. Kazan: Kazan. Univ., 2014. 103 p.

Mitina N.N. *Geoekologicheskie issledovaniya landshaftov* [Geoecological Research of Landscapes]. Moscow: Nauka Publ., 2005. 197 p.

Naumenko M.A., Guzowaty V.V., Nesterov N.A. Subetto D.A. Morphometric features of the submarine slope of the Southwestern part of Valaam island. *Dokl. Earth Sci.*, 2019, vol. 486, pp. 585–587.

Pankeeva T.V. Mironyuk O.A., Pankeeva A.Yu. Researches of bottom landscapes of the coastal zone Tarkhankut peninsula (Crimea, Black sea). *Geopolitika i Ekogeodinamika Regionov*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 800–805. (In Russ.).

Penno M.V. Progress of scientific conceptions on marine landscapes. *Geopolitika i Ekogeodinamika Regionov*, 2014, vol. 10, no. 1, pp. 166–172. (In Russ).

Petrov K.M. *Podvodnye landshafty: teoriya, metody issledovaniya* [Underwater Landscapes: Theory, Research Methods]. Leningrad: Nauka Publ., 1989. 126 p.

Pitman S. *Seascape Ecology*. Hoboken, NJ: Wiley Blackwell, 2018. 495 p.

Raspopov I.M. Species and coenotic diversity of higher water and coastal water plants in the littoral zone of Lake Ladoga. In *Litoral'naya zona Ladozhskogo ozera* [Littoral Zone of Lake Ladoga]. St. Petersburg: Nauka Publ., 2011, pp. 52–64. (In Russ.).

Sapelko T.V., Terekhov A.V., Amantov A.V. Ladoga transgression: reconstruction of the final stage and consequent decline in the northern part of the lake. *Reg. Geol.*, 2018, no. 75, pp. 23–34. (In Russ.).

Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GEOHAB Atlas of Seafloor Geomorphologic Features and Benthic Habitats (Second Edition). Harris P.T., Baker E.K., Eds. Amsterdam: Elsevier, 2020. 1030 p.

Seelbach P.W., Wiley M.J., Soranno P.A., Bremigan M.T. Aquatic conservation planning: using landscape maps to predict ecological reference conditions for specific waters. In *Applying Landscape Ecology in Biological Conservation*. Gutzwiller K.J., Ed. New York: Springer, 2002, pp. 454–478.

Sviridenko L.P. *Ladozhskaya vulkano-tektonicheskaya struktura (geologiya, vulkanoplutanizm, tektonika)* [Ladoga Volcano-tectonic Structure (Geology, Volcanoplutanism, Tectonics)]. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2019. 98 p.

Sviridenko L.P., Svetov A.P. *Valaamskii sill gabbro-doleritov i geodinamika kotloviny Ladozhskogo ozera* [Valaam Sill of Gabbro-dolerites and Geodynamics of the Ladoga Lake Basin]. Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2008. 123 p.

Subetto D.A. *Donnye otlozheniya ozer: paleolimnologicheskie rekonstruktsii* [Lake Bottom Sediments: Paleolimnological Reconstructions]. St. Petersburg: RGPU, 2009. 348 p.

Zuev Yu.A., Zueva N.V. Research experience of macrozoobenthos rocky littoral zone of Lake Ladoga. *Uch. Zap. Ross. Gos. Gidrometeorol. Univ.*, 2013, no. 30, pp. 134–147. (In Russ.).

Zuikova Yu.L., Shilova T.M. *Geologicheskij otchet, TED, TEO, TES. 27064. Sostavlenie svodnykh aerogeofizicheskikh kart na Ladozhsko-Onezhskuyu ploshchad' v masshtabe 1 : 200000 v 1995–2000 godakh* [Geologic Report, TED, TEO, TES. 27064. Compilation of Consolidated Aerogeophysical Maps for the Ladoga-Onega Area on a Scale of 1 : 200000 in 1995–2000]. St. Petersburg: GP PGE, 2000. 76 p.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 446–457

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

УДК 581.9

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭКСПАНСИИ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ ЗОЛОТАРНИКА В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

© 2021 г. И. Ю. Савин[a, b, *], Е. А. Шишконакова[a]

[a] *Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва, Россия*

[b] *Российский университет дружбы народов, экологический факультет, Москва, Россия*

**e-mail: savin_iyu@esoil.ru*

Поступила в редакцию 19.05.2020 г.
После доработки 07.02.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

Стагнация сельскохозяйственной отрасли России на протяжении последних десятилетий в ряде регионов привела к прогрессирующему росту площадей забрасываемых земель. Во многих областях Северной Евразии на залежных землях происходит внедрение инвазивных видов, вносящих определенные коррективы в сукцессионные процессы, характерные для региональных ландшафтов. С использованием архива спутниковых данных *Landsat* проведен анализ многолетней динамики ареалов инвазивных видов золотарника на землях в центре европейской части России. Установлено, что во многих случаях ареалы золотарника концентрируются вдоль границ между административными районами, что связано со спецификой аграрной активности и забрасывания пахотных земель. На географию золотарника влияют и особенности почвенного покрова территории. Подтверждено, что наибольший прирост площадей, занятых видами золотарника на территории исследований, произошел с 2006 по 2011 г., что может быть связано как с сукцессионными процессами, так и с повышением уровня плодородия заброшенных пашен, а также с климатическими изменениями, которые создали в последние годы для экспансии золотарника более благоприятные условия.

Ключевые слова: род *Solidago*, инвазивные виды, бассейн Оки, *Landsat*, заброшенные земли, динамика растительности

DOI: 10.31857/S2587556621030134

ВВЕДЕНИЕ

Стагнация сельскохозяйственной отрасли в некоторых регионах России привела к прогрессирующему росту площадей забрасываемых земель. В лесной зоне европейской части России на подобных участках развиваются вторичные сукцессии, приводящие к восстановлению луговой, а по прошествии десятилетий – и лесной растительности (Люри и др., 2010). В то же время во многих областях Северной Евразии на залежных и соседних с ними землях происходит внедрение инвазивных видов, вносящих определенные коррективы в сукцессионные процессы, характерные для региональных ландшафтов. К таким растениям относятся и североамериканские виды рода *Solidago* – *S. altissima* L., *S. canadiens* L., *S. gigantea* Ait, а последние два золотарника отмечены в большинстве районов Средней России, на юге Сибири и Дальнего Востока (Гамова и др., 2018; Конспект..., 2012; Маевский, 2014). Являясь исключительно агрессивными видами-трансформерами, они внесены в ряд региональных списков как особо опасные инвазивные растения, а в таких странах, как Белоруссия и Китай, запрещены к выращиванию в культуре (Брагинец, Журсиналина, 2018; Виноградова и др., 2010; Черная..., 2016). В монографии “Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100)” (2018) указанным видам присвоен статус видов инвазионных по полуестественным и естественным местообитаниям в центральной части Европейской России, причем *S. gigantea* специально отмечается в качестве одного из наиболее агрессивных инвазионных растений.

Особый размах инвазии североамериканских золотарников приобрели в последние два десятилетия (Виноградова и др., 2010; Гусев, 2017; Панасенко и др., 2018; Уфимцев, 2018; Шмелев, Панкрушина, 2019). Несмотря на внимание и интерес к инвазиям видов *Solidago* в последние годы, работ по картированию, адекватных масштабам этого явления на территории европейской части России, практически не проводится. Исключением является работа Н.Н. Панасенко с

соавторами (2018) для Брянской области, проведенная на основе наземных геоботанических исследований, в том числе и методом картографирования на сеточной основе.

В то же время полномасштабное картирование распространения инвазивных видов *Solidago* на фоне общей ситуации будет способствовать целям мониторинга как залежных, так и соседствующих с ними земель, исследованию протекания на них сукцессионных процессов. Прогрессирующее разрастание золотарников также может служить в качестве индикатора синантропизации сообществ.

В статье представлены результаты анализа распространения и экспансии североамериканских видов *Solidago* в среднем течении р. Оки – на территории сопредельных районов, расположенных на севере Тульской, юге Московской, западе Калужской областей с использованием архива спутниковых данных *Landsat*.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Североамериканские виды рода *Solidago* – серьезные инвазивные зарастатели нарушенных мезофитных местообитаний. Наибольшее распространение в средней полосе европейской части России получили *Solidago canadensis* L. и *S. gigantea* Ait. – гемикриптофиты до 2 м высотой, формирующие плотные одновидовые травостои. Так, заросли *S. canadensis* имеют плотность более 300 побегов на 1 м^2, отдельные клоны растения могут жить до 100 лет (Гусев, 2017; Шмелев, Панкрушина, 2019). Из этих двух близких видов *S. gigantea* встречается реже (Мининзон, Тростина, 2018; Панасенко и др., 2018). По сравнению с *S. canadensis* он характеризуется более низкими темпами семенного размножения, в то же время скорость захвата новых территорий за счет вегетативного размножения у имеющего более длинные корневища *S. gigantea* выше, чем у *S. canadensis* (Weber, Jakob, 2005).

Североамериканские *Solidago* характеризуются высокой семенной продуктивностью и высокой всхожестью свежесобранных семянок, которые достаточно успешно формируют почвенный банк в различных типах местообитаний (Колдомова, 2018; Kundel et al., 2014).

Фенология *S. canadensis* и *S. gigantea* описана в ряде работ (Виноградова, Куклина, 2016; Панасенко и др., 2018; Шмелев, Панкрушина, 2019). Пик цветения приходится на август–середину сентября, когда оно определяет золотисто-желтый аспект местообитаний, где вид доминирует. По данным Ю.К. Виноградовой, А.Г. Куклиной (2016), *S. gigantea* в Средней России зацветает в середине июля вслед за *S. canadensis*, отставая на 1–1.5 нед., и цветет несколько дольше – до середины октября.

Инвазивные виды рода *Solidago* встречаются в различных нарушенных местообитаниях – обычно там, где ранее происходило механическое повреждение поверхностного покрова – на пашнях, огородах, лугах, пустырях, свалках, карьерах, вырубках, садах, опушках, поймах рек, вдоль транспортных коридоров и т.п. (Булохов, Садик, 2015). Главными источниками заноса диаспор на прилегающие территории являются старые усадьбы, приусадебные участки и кладбища, где золотарник используется в качестве декоративного растения (Дайнеко и др., 2017). Н.Н. Панасенко с соавторами (2018) обратили внимание на то, что в луговых сообществах подселение североамериканских *Solidago* нередко приурочено к участкам с нарушенной дерниной (кротовины, муравейники, эрозионные промоины и обнажения, тропинки). Реже происходит внедрение в естественные ненарушенные местообитания. Как сегетальные растения на сельскохозяйственных землях виды золотарника не приживаются в условиях систематической распашки, поэтому расширение их инвазии часто связано с выводом земель из активного землепользования.

Для фитоценозов с доминированием *S. canadensis* оптимальны сухие и средневлажные, нейтральные и слабощелочные, хорошо обеспеченные минеральным азотом суглинистые почвы. Сообщества с доминированием *S. gigantea* тяготеют к местообитаниям с более высокой влажностью и трофностью почвы (Арепьева, Куликова, 2017; Булохов и др., 2017; Виноградова и др., 2010).

Развитие одновидовых сообществ золотарников происходит довольно быстро (Дайнеко и др., 2017; Панасенко и др., 2018). Появившиеся на заброшенных участках инвазивные золотарники создают монодоминантные ценозы с общим проективным покрытием до 80–100% за период от 2–3 до 4–6 лет (Булохов и др, 2017; Панасенко и др., 2018).

Наземные работы проводились в июне–сентябре 2011 г. в Венёвском, Ленинском, Щёкинском и Ясногорском районах Тульской области на участках заброшенной пашни с преобладанием пахотных серых лесных почв и оподзоленных черноземов. Исследовались залежи, на которых формируются одновидовые или маловидовые заросли *Solidago*. При этом подбирались участки с выраженным доминированием золотарника площадью более 100 × 100 м. Их координаты определялись по GPS и затем фиксировались на ^{tm}Google Earth. Всего было выявлено 25 участков (рис. 1).

После этого был проведен анализ изображения ареалов с золотарником на сцене спутниковых данных *Landsat 5 TM*, полученной в год проведения полевых работ (в период цветения инва-

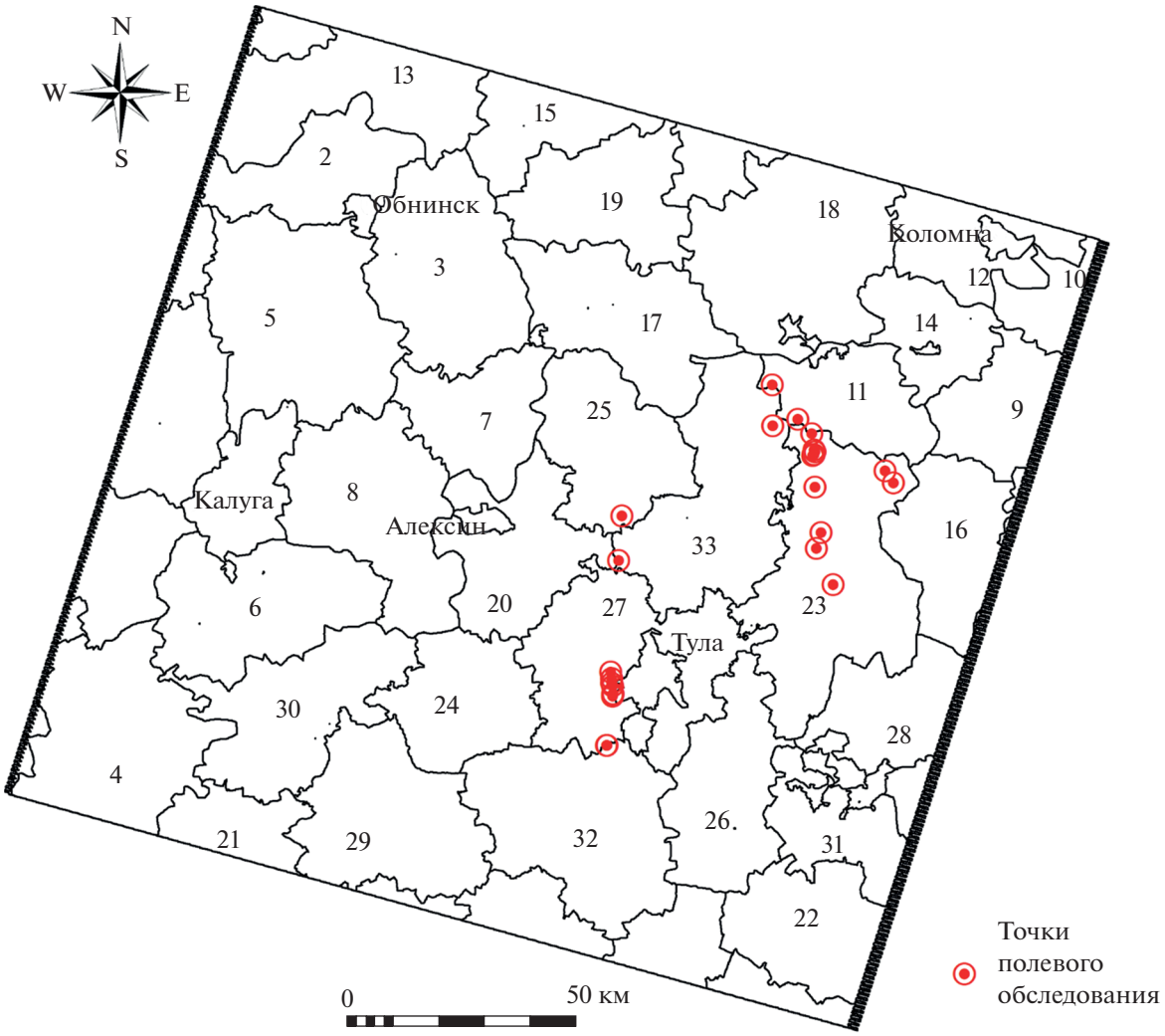

Рис. 1. Точки полевого обследования в Венёвском, Ленинском, Щёкинском и Ясногорском районах Тульской области, июнь–сентябрь 2011 г. (нумерация районов соответствует табл. 4).

зивных видов *Solidago*). Использовалась одна сцена *Landsat 5 TM*, полученная 27 августа 2011 г., прошедшая атмосферную коррекцию и маскирование облачности.

Спутниковые данные *Landsat 5 TM* имеют пространственное разрешение 30 м. Они доступны в 7 каналах съемки видимого и инфракрасного диапазонов спектра электромагнитных волн с периодичностью раз в 15 дней за период с 1984 по 2011 г. (https://landsat.gsfc.nasa.gov/).

Для всех пикселей в пределах ареалов золотарника (всего 643 пикселя) были определены коэффициенты отражения во всех основных каналах сцены *Landsat 5 TM*. После этого весь массив пикселей сцены *Landsat 5 TM* с золотарником был разбит случайным образом на 2 части. Одна часть (420 пикселей) использовалась для выявления специфики отражения ареалов золотарника в разных каналах съемки *Landsat* (обучающая выборка), а вторая часть (223 пикселя) использовалась для оценки качества установленных закономерностей (проверочная выборка). Качество оценивалось по принадлежности пикселей оценочной выборки интервалам отражения, установленным по данным обучающей выборки.

Для каждого канала съемки на основе обучающей выборки пикселей были установлены статистически достоверные диапазоны коэффициентов отражения, соответствующие пикселям с золотарником, и с использованием этих диапазонов была проведена кластеризация каналов на два класса: золотарник и другие объекты наземного покрова.

Затем результаты классификации каждого канала пересекались друг с другом. И анализ результатов пересечения (логическая операция AND) позволил выделить класс “золотарник” для тех пикселей, которые во всех каналах съемки

Таблица 1. Сопоставимость изображений *Landsat 5 TM*, полученных в разные годы

Тестовая точка	Год	Канал *Landsat 5 TM*, коэффициент отражения					
		1	2	3	4	5	7
1	1991	0.111	0.147	0.146	0.261	0.268	0.205
	1994	0.112	0.148	0.148	0.263	0.270	0.208
	2006	0.115	0.148	0.149	0.264	0.271	0.211
	2011	0.113	0.146	0.148	0.265	0.269	0.208
2	1991	0.132	0.177	0.192	0.316	0.325	0.229
	1994	0.131	0.175	0.193	0.317	0.325	0.238
	2006	0.133	0.177	0.193	0.318	0.326	0.238
	2011	0.130	0.174	0.191	0.317	0.324	0.237
3	1991	0.157	0.240	0.248	0.282	0.310	0.296
	1994	0.159	0.239	0.249	0.281	0.312	0.299
	2006	0.158	0.239	0.250	0.282	0.312	0.298
	2011	0.161	0.241	0.251	0.283	0.311	0.302

классифицировались как “золотарник”. Таким образом, была получена карта распространения ареалов золотарника на территории исследований в 2011 г. Ее качество (точность) было оценено по данным проверочной выборки пикселей с золотарником.

После этого был проанализирован архив изображений *Landsat* на территорию исследований за весь период работы сенсора (с 1984 по 2011 г.). Осуществлялся поиск безоблачных изображений, полученных в августе (период цветения золотарника в регионе исследований).

Удалось обнаружить лишь 3 дополнительных изображения: за 1991 (5 августа), 1994 (22 августа) и 2006 (13 августа) гг. Все эти изображения также прошли атмосферную коррекцию. После этого был проведен анализ их сопоставимости между собой. Для этого на территории исследований было установлено 3 объекта с достаточно большим асфальтовым покрытием. Для них были определены величины отражения во всех основных каналах *Landsat 5 TM*. Сопоставление этих данных между собой показало, что величина отражения объектов во всех каналах достаточно стабильна (табл. 1), что является хорошей основой для корректной сопоставимости изображений, полученных в разные годы.

Затем изображение каждого года было подвергнуто такому же анализу, как и изображение 2011 г. (поканальной классификации на основе граничных значений, полученных для 2011 г. с последующим пересечением результатов классификации для каждого канала).

В результате были построены карты распространения золотарника для 1991, 1994 и 2006 гг. Пересечение этих карт и карты 2011 г. позволило построить карту изменений распространения видов *Solidago* с 1991 по 2011 г.

Все работы по детектированию контуров с преобладанием золотарника по изображениям *Landsat 5 TM* были проведены с использованием пакета ГИС ILWIS v.3.31 (https://www.itc.nl/ilwis/).

Таблица 2. Оценка точности детектирования пикселей с преобладанием золотарника в разных каналах съемки

Показатель	Канал съемки *Landsat 5 TM*					
	1	2	3	4	5	7
Доля пикселей с золотарником, отражение которых попало в доверительный интервал, %	98	96	96	93	92	95

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ коэффициентов отражения в разных каналах *Landsat 5 TM* позволяет выявить спектральный облик растительных ассоциаций с преобладанием золотарника в период его цветения (рис. 2).

Результаты проверки выявленных закономерностей в спектральном облике с использованием независимой выборки представлены в табл. 2.

Из материалов таблицы следует, что выявленные закономерности отражения золотарника в фазе цветения достаточно надежны для его детектирования по данным *Landsat* (точность детектирования превышает 92% в любом из каналов съемки).

На рис. 3 и 4 (фрагмент в увеличенном виде) представлены в генерализованном виде результа-

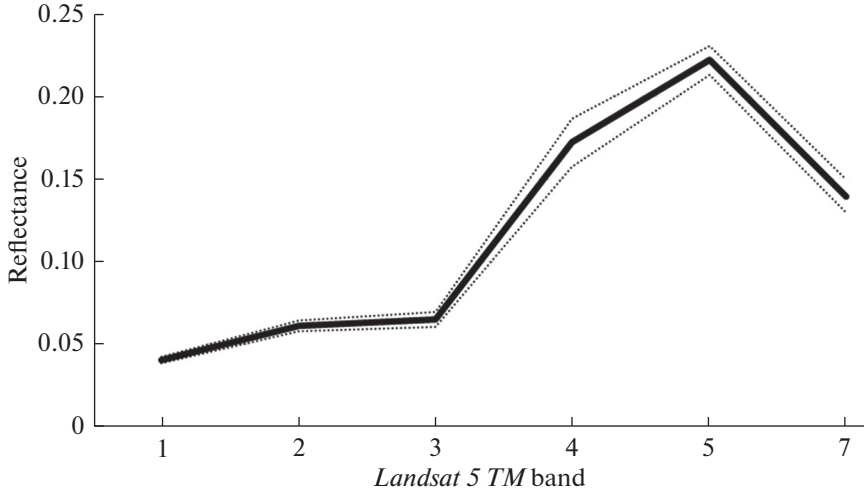

Рис. 2. Спектральный облик растительных ассоциаций с преобладанием золотарника на сцене *Landsat 5 TM* (сплошная линия – среднее значение, пунктирные линии – доверительный интервал с $p = 0.05$).

ты детектирования пикселей с ареалами золотарника по изображениям *Landsat.*

В табл. 3 приведены сведения о доли контуров с золотарником в площади административных районов на территории исследований.

С использованием изложенных выше подходов подобная информация была получена для 1991, 1994 и 2006 гг. После совмещения карт распространения золотарника для всех этих лет и 2011 г. была построена карта изменений ареалов золотарника по этим годам (см. рис. 3, 4).

В разрезе административных районов нарастание площадей под золотарником представлено в табл. 4.

ОБСУЖДЕНИЕ

Распространение инвазивных видов *Solidago* по территории исследований является неравномерным (см. рис. 3). На основе полевых обследований было установлено, что золотарник преобладает там, где больше залежных земель. Заброшенность пашни на данной территории часто была связана с удаленностью пахотных участков от крупных населенных пунктов. Поэтому во многих местах ареалы *Solidago* концентрируются вдоль границ административных районов, где доля заброшенной пашни как правило выше, чем в центральной части районов (Агроэкологическое..., 2008). Подобные участки на рис. 3 отмечены синими овалами. Геостатистический анализ распространения пикселей с золотарником на территории исследований показал, что на расстоянии до 6 км от границ административных районов 5–6% всех пикселей занято золотарником, а на удалении более 10 км пикселей с золотарником в 3 раза меньше (рис. 5).

Наибольшие площади с ассоциациями инвазивных *Solidago* отмечены в Тульской области – в среднем 8030.0 га на район, ниже этот показатель в Московской области – 5049.6 га на район, наименьший в Калужской области – 1565.6 га на район. Если рассматривать такой показатель, как процент площади, занимаемой сообществами видов *Solidago*, от общей площади района, то обращает на себя внимание разница между распространением инвазивных видов золотарника в районах, относящихся к лесной зоне, и в районах, входящих в лесостепную зону. Так, в Калужской области золотарник занимает в среднем в 2.6 раза бóльшие площади в районах, относящихся к лесостепной зоне – Бабынинском, Козельском, Перемышльском, Тарусском, Ферзиковском. Сходная ситуация наблюдается и в Московской области: южные районы – Серебряно-Прудский (лесостепной) и примыкающие к нему Зарайский, Каширский, Луховицкий – в 3.7 раза превосходят по масштабам инвазии золотарников районы, расположенные севернее и западнее (Коломенский, Наро-Фоминский, Озерский, Подольский, Серпуховский, Ступинский, Чеховский). Это может быть объяснено более благоприятными почвенно-климатическими факторами, а также увеличением площадей ранее распахивавшихся угодий. Распространенность золотарника связана и со спецификой преобладающих почв и их плодородием. По данным табл. 3, площадь, занимаемая инвазивными видами *Solidago*, больше в районах с плодородными тяжелосуглинистыми почвами (в частности, серыми лесными и черноземами).

Распространение инвазивных золотарников по районам Тульской области обусловлено следующими причинами. Наиболее низкие показатели присутствия североамериканских *Solidago* харак-

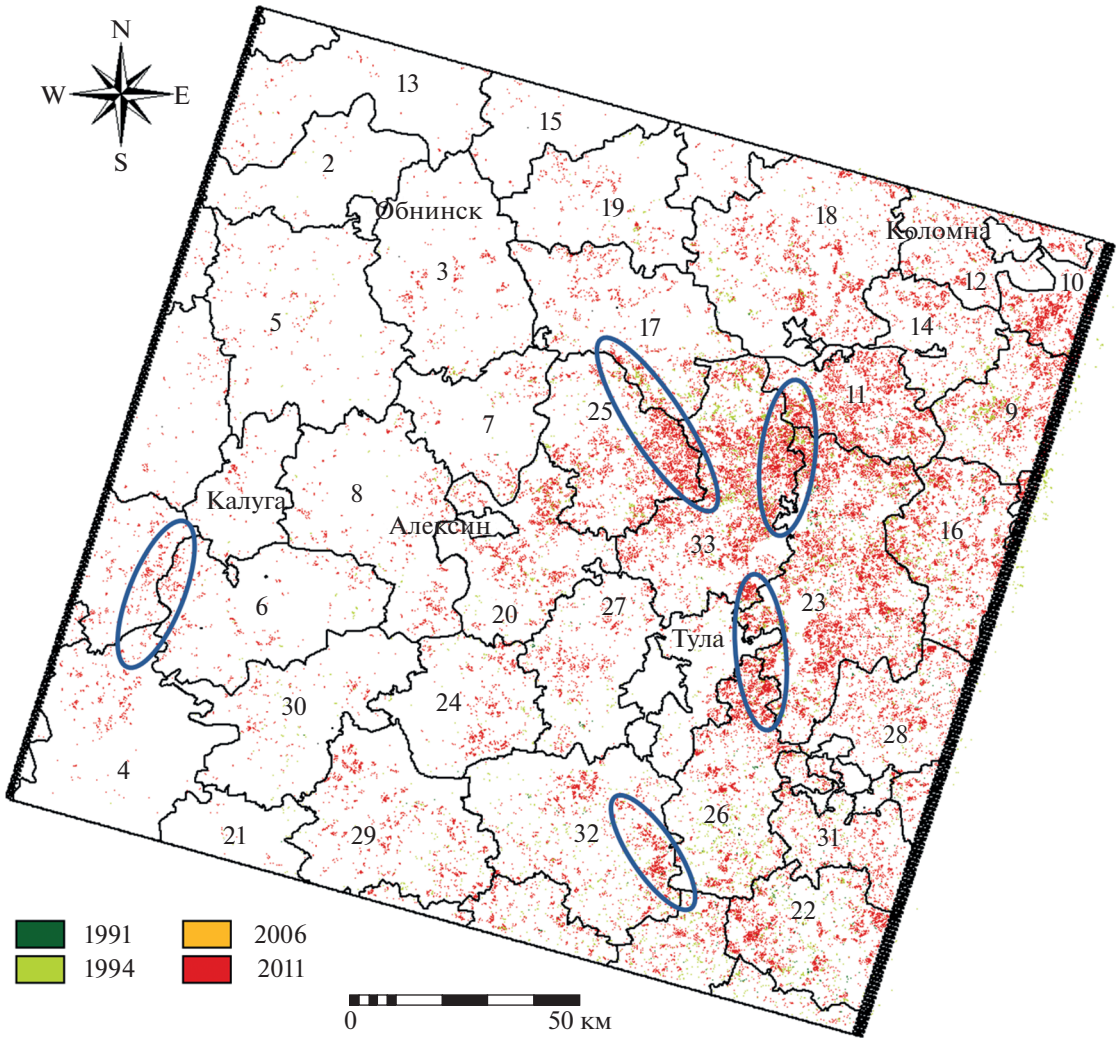

Рис. 3. Результат детектирования пикселей с золотарником (цветом показан год появления золотарника; черные линии – границы административных районов, нумерация районов соответствует табл. 4, синие овалы указывают на места повышенной концентрации золотарника).

терны для самых западных – Алексинского, Белёвского, Одоевского, Суворовского районов, характеризующихся почвенным покровом с участием сравнительно малоплодородных дерново-подзолистых почв. Для оставшихся районов значительной разницы между принадлежностью к лесной или лесостепной зонам не выявлено. В то же время распространение золотарника относительно невелико на регулярно распахиваемых участках с распространением черноземов, находящихся южнее г. Тулы (Щёкинский район) и ее окрестностей. При этом территории с серыми лесными почвами, сконцентрированные преимущественно на севере области, отличаются значительными массивами заброшенных земель и хорошо детектируются с помощью сообществ с золотарником, занимающим здесь максимальные площади.

Анализ изображений *Landsat* за прошлые годы показал, что ареалы золотарника присутствовали на территории исследований и в 1991 г., но они не занимали больших площадей. Площади немного возросли к 1994 г., а наибольший прирост площадей пришелся на период с 2006 по 2011 г. В этот период во многих районах и появилась большая часть (80–90%) растительных ассоциаций с преобладанием золотарника (см. табл. 4). Подобный быстрый рост площадей подтверждает закономерности, ранее установленные исследователями динамики распространения рассматриваемых инвазивных видов (Булохов, Садик, 2015; Гусев, 2017; Пещанская, 2012; Уфимцев, 2018). Следует отметить влияние и таких факторов, как постепенное повышение уровня плодородия заброшенных почв (Агроэкологическое..., 2008), способствующее расселению золотарника, а также связь с наблюдаемыми изменениями климата

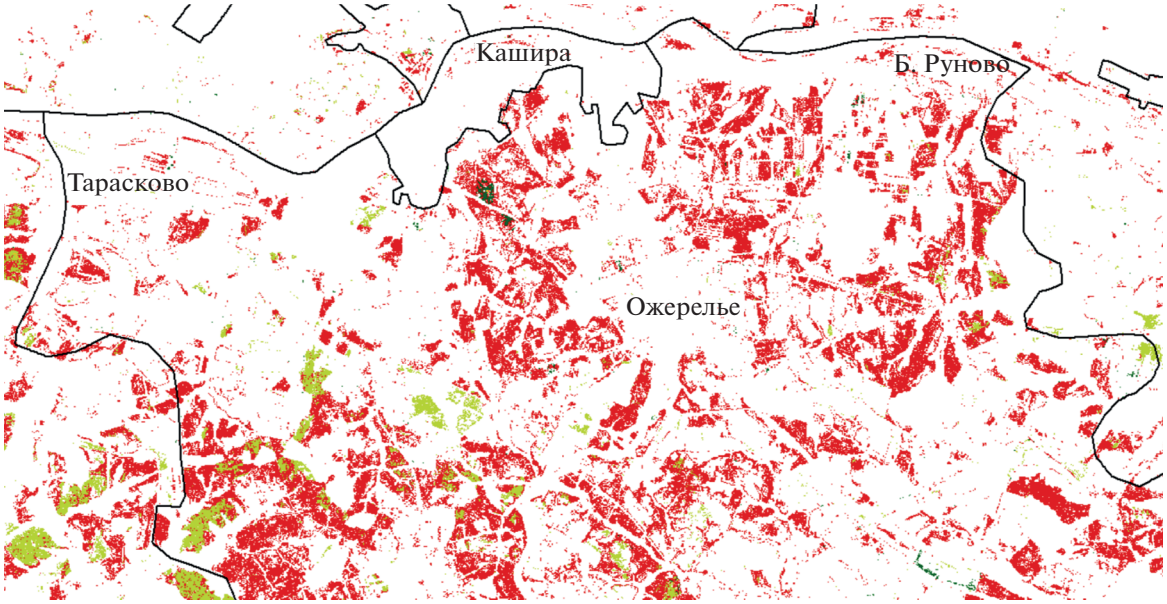

Рис. 4. Фрагмент карты распространения золотарника для северной половины Каширского района Московской области (цветом показан год появления золотарника, см. легенду на рис. 3; черные линии – границы административных районов).

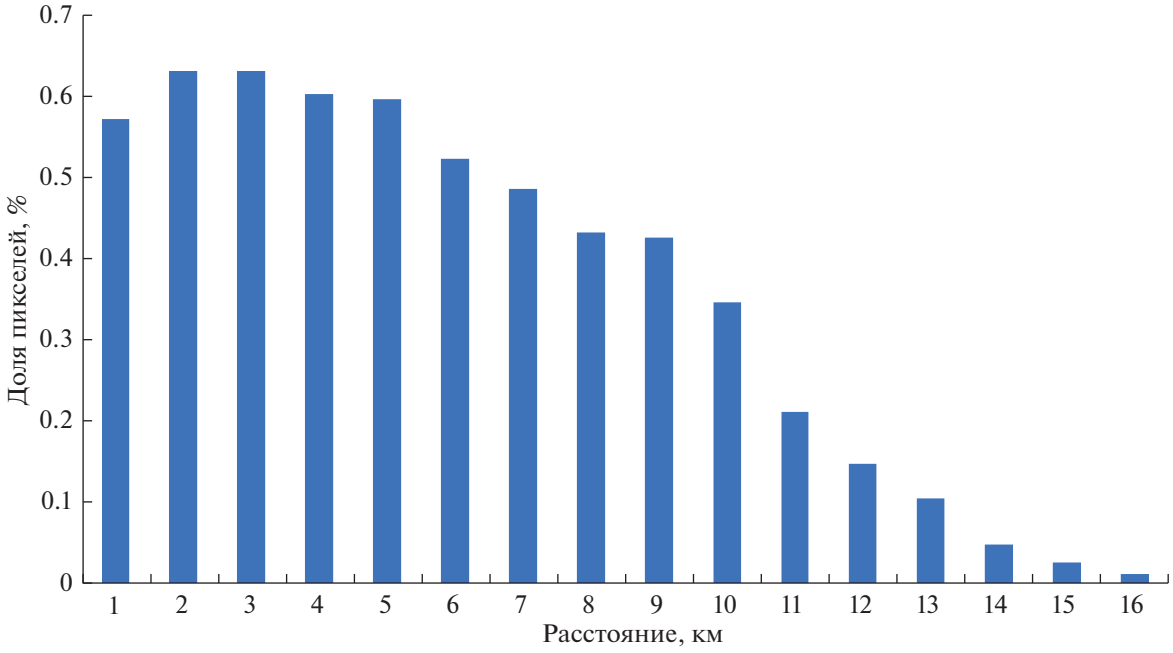

Рис. 5. Доля пикселей с золотарником от общего количества пикселей на разном удалении от административных границ.

(Глобальный..., 2019), который в последние годы на территории исследований стал более благоприятен для североамериканских видов *Solidago* (теплые зимы, большая влажность воздуха и увеличившееся количество атмосферных осадков).

Полученные результаты можно рассматривать лишь как приблизительную оценку пространственных аспектов существующей тенденции распространения золотарника. На точность оценок влияет относительно небольшое пространственное разрешение использованных спутниковых данных, составляющее 30 м на местности. Ареалы золотарника размерами менее 90 м^2 или вытянутые ареалы шириной менее 30 м могли

Таблица 3. Площадь растительных ассоциаций с преобладанием золотарника на территории исследований

Регион	Площадь, га	Доля в общей площади, %	Специфика преобладающих почв
		Калужская область	
Бабынинский	1779	3.15	Низкоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Боровский	242	0.33	Низкоплодородные суглинистые почвы
Жуковский	1601	1.27	Среднеплодородные суглинистые почвы
Козельский	1585	1.20	Низкоплодородные суглинистые почвы
Малоярославецкий	1205	0.77	Низкоплодородные суглинистые почвы
Перемышльский	2133	1.87	Низкоплодородные суглинистые почвы
Тарусский	1301	1.84	Низкоплодородные суглинистые почвы
Ферзиковский	2679	2.12	Низкоплодородные суглинистые почвы
В среднем по районам	1565.6	1.57	
		Московская область	
Зарайский	6854	11.58	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Каширский	11772	18.47	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Коломенский	4100	6.99	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Луховицкий	4676	14.76	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Наро-Фоминский	552	0.51	Низкоплодородные суглинистые почвы
Озерский	3056	5.77	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Подольский	212	0.39	Низкоплодородные суглинистые почвы
Серебряно-Прудский	10369	12.92	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Серпуховский	4864	4.52	Низкоплодородные суглинистые почвы
Ступинский	7736	5.06	Низкоплодородные суглинистые почвы
Чеховский	1355	1.56	Низкоплодородные суглинистые почвы
В среднем по районам	5049.6	7.50	
		Тульская область	
Алексинский	5686	6.36	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Белёвский	167	0.40	Низкоплодородные легкосуглинистые и супесчаные почвы
Богородицкий	7798	9.66	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Венёвский	27415	17.06	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Дубенский	2668	3.41	Среднеплодородные суглинистые почвы
Заокский	11064	11.88	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Киреевский	9866	10.55	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Ленинский	3969	3.05	Низкоплодородные суглинистые почвы
Новомосковский	5403	7.92	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Одоевский	3957	3.37	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Суворовский	1040	0.97	Среднеплодородные суглинистые почвы
Узловский	4015	7.31	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
Щёкинский	6140	4.46	Высокоплодородные тяжелосуглинистые почвы
Ясногорский	23232	17.58	Среднеплодородные тяжелосуглинистые почвы
В среднем по районам	8030	7.43	

Примечание: Цветом показаны лесостепные районы или районы на стыке лесной зоны и лесостепи.

Таблица 4. Доля ареалов, появившихся в разные годы, в общей площади золотарника на территории исследований в 2011 г., %

№ пп	Район	1991	1994	2006	2011
	Калужская область				
1	Бабынинский	0.00	0.09	0.00	99.91
2	Боровский	0.00	16.71	0.00	83.29
3	Жуковский	0.00	8.62	0.00	91.38
4	Козельский	0.03	0.61	0.00	99.35
5	Малоярославецкий	0.00	9.82	0.00	90.18
6	Перемышльский	0.06	5.53	0.00	94.41
7	Тарусский	0.93	13.87	0.01	85.19
8	Ферзиковский	0.30	6.57	0.00	93.13
	Московская область				
9	Зарайский	0.83	17.29	0.00	81.89
10	Луховицкий	0.02	3.12	0.00	96.86
11	Каширский	1.10	7.78	0.02	91.10
12	Коломенский	0.10	4.20	0.00	95.70
13	Наро-Фоминский	0.00	4.32	0.00	95.68
14	Озерский	0.26	13.80	0.00	85.93
15	Подольский	0.00	3.88	0.00	96.12
16	Серебряно-Прудский	2.06	14.66	0.01	83.27
17	Серпуховский	0.02	19.02	0.00	80.96
18	Ступинский	0.72	10.15	0.18	88.96
19	Чеховский	0.02	12.80	0.00	87.17
	Тульская область				
20	Алексинский	0.19	12.52	0.01	87.27
21	Белёвский	2.21	20.93	0.00	76.86
22	Богородицкий	4.62	16.55	0.02	78.81
23	Венёвский	2.00	14.24	0.05	83.71
24	Дубенский	0.13	9.85	0.00	90.01
25	Заокский	0.10	10.61	0.00	89.29
26	Киреевский	1.67	15.45	0.01	82.87
27	Ленинский	2.43	13.28	0.07	84.22
28	Новомосковский	2.84	8.76	0.03	88.37
29	Одоевский	0.27	11.26	0.00	88.46
30	Суворовский	0.49	19.96	0.01	79.53
31	Узловский	2.35	14.25	0.00	83.40
32	Щёкинский	1.40	19.23	0.00	79.37
33	Ясногорский	0.66	15.43	0.01	83.90

быть не детектированы в связи с генерализованностью изображений. Такие размеры ареалов не являются преобладающими, но также, как показали исследования в Брянской области и в Белоруссии, достаточно распространены (Булохов и др., 2011; Гусев, Шпилевская, 2017).

Результаты, представленные в наших исследованиях, отражают лишь большие контуры, где золотарник уже доминирует. Как правило, они приурочены в регионе исследований к заброшенной пашне. Но это означает, что часть небольших контуров растительности с золотарником на других угодьях могла быть нами не выявлена.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что спутниковые данные *Landsat* могут быть использованы для многолетнего мониторинга распространения инвазивных видов *Solidago* в регионе. Для этого необходимо использовать изображения, полученные в фазу цветения золотарника. Одним из существенных ограничений данного метода является влияние облачности на возможность получения изображений в необходимые даты съемки.

Установлено, что во многих случаях контуры растительности, занятые североамериканскими видами золотарника, концентрируются вдоль границ между административными районами, что, вероятно, связано со спецификой забрасывания пахотных земель. Кроме того, на их географию влияют и особенности почвенного покрова территории.

Также подтверждено, что наибольший прирост площадей под инвазивными золотарниками в районе исследований произошел в период с 2006 по 2011 г., что может быть связано как с сукцессионными процессами, так и с повышением уровня плодородия почв на заброшенных полях, а также с климатическими изменениями, которые создали в последние годы для экспансии золотарника более благоприятные условия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (№ 19-05-50063) и Программы стратегического академического лидерства РУДН.

FUNDING

The research was supported by the RFBR (project no. 19-05-50063) and by the RUDN University Strategic Academic Leadership Program.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель, выбывших из активного сельскохозяйственного производства / ред. Г.А. Романенко. М.: РАСХН, 2008. 64 с.

Арепьева Л.А., Куликова Е.Я. Сообщества с участием *Solidago canadensis* и *S. gigantea* в городах Курск,

Брянск и Минск // Бюлл. Брянского отд. Русского ботанического общества. 2017. № 3 (11). С. 38–43.

Брагинец Л.А., Журсиналина Д.С. Инвазийные эунеофиты сорной и рудеральной флоры г. Костаная и его окрестностей / Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Сб. материалов докл. V Международ. конф. 2018. С. 27–29.

Булохов А.Д., Дайнеко Н.М., Харин А.В. Сообщества неофитов Сожско-Ипутьского междуречья, сформированные северо-американскими видами / Географические проблемы сбалансированного развития староосвоенных регионов: Материалы IV Международ. заочной научно-практической конф. / ред. Л.М. Ахромеев. 2017. С. 37–48.

Булохов А.Д., Клюев Ю.А., Панасенко Н.Н. Неофиты и их сообщества в Брянской области // Бот. журн. 2011. Т. 96. № 5. С. 606–621.

Булохов А.Д., Садик О.Н. Фитоценотическая активность *Solidago canadensis* L. в сообществах залежей и суходольных лугов // Вестн. Брянского гос. ун-та. 2015. № 2. С. 383–387.

Виноградова Ю.К., Куклина А.Г. Календарь цветения и морфометрические признаки пыльцы некоторых инвазионных видов растений в Средней России // Hortus Botanicus. 2016. Т. 11. С. 72–84.

Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М.: ГЕОС, 2010. 503 с.

Гамова Н.С., Дудов С.В., Суткин А.В., Краснопевцева А.С. Новые и редко встречающиеся в Бурятии таксоны адвентивных растений из охранной зоны Байкальского заповедника // Turczaninowia. 2018. Т. 21. № 3. С. 12–20.

Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство) / ред. Р.С.-Х. Эдельгериев. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2019. 476 с.

Гусев А.П. Вторжение золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) в антропогенные ландшафты Беларуси // Рос. журн. биол. инвазий. 2017. Т. 10. № 4. С. 28–35.

Гусев А.П., Шпилевская Н.С. Воздействие вторжения золотарника канадского (*Solidago canadensis* L.) на растительное биоразнообразие в условиях ландшафтов Беларуси // Биосфера. 2017. Т. 9. № 4. С. 300–305.

Дайнеко Н.М., Тимофеев С.Ф., Булохов А.Д., Панасенко Н.Н. Онтогенетическая структура ценопопуляций *Solidago gigantea* L. в районах Гомельской области Беларуси, приграничных с территорией Брянской области России // Бюлл. Брянского отделения РБО. 2017. № 3 (11). С. 44–48.

Колдомова Е.А. Некоторые особенности биологии семян инвазионного вида *Solidago canadensis* L. / Изучение, сохранение и восстановление естественных ландшафтов: Сб. статей VIII Всерос. с международ. участием научно-практич. конф. 2018. С. 22–26.

Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения / Л.И. Малышев и др. / под ред. К.С. Байкова. РАН, Сиб. отд-ние, Центр. сиб. бот. сад. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 640 с.

Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.

Маевский П.Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.

Мининзон И.Л., Тростина О.В. Черная книга флоры Нижегородской области: чужеродные виды растений, заносные и культивируемые, активно натурализующиеся в условиях Нижегородской области. Нижний Новгород. 2018. https://dront.ru/wp-content/uploads/2018/02/CHernaya-kniga-NNo-VII.pdf

Панасенко Н.Н., Володченко Ю.С., Холенко М.С., Колесникова Ю.В. Особенности распространения и биологии *Solidago* // Бюлл. Брянского отделения Русского ботанического общества. 2018. № 4 (16). С. 30–38.

Пещанская Е.В. Продуктивность *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) в условиях Ставропольской возвышенности // Бюлл. бот. сада Саратовского гос. ун-та. 2012. № 10. С. 85–89.

Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100) / ред. Ю.Ю. Дгебуадзе, В.Г. Петросян, Л.А. Хляп. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2018. 688 с.

Уфимцев В.И. Особенности распространения *Solidago canadensis* L. в нарушенных сообществах Междуреченского городского округа / Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: Сб. материалов V Международ. конф. 2018. С. 119–120.

Черная книга флоры Сибири / науч. ред. Ю.К. Виноградова, отв. ред. А.Н. Куприянов. Новосибирск: Гео, 2016. 440 с.

Шмелев В.М., Панкрушина А.Н. Особенности распространения инвазионных *Solidago* (*Asteraceae*) и их воздействие на природные виды // Вестн. Тверского гос. ун-та. Сер.: Биология и экология. 2019. № 3 (55). С. 130–135.

Fenesi A., Vagasi C.I., Meldean M., Földesi R., Kolcsar L-P., Shapiro J.T. Török E., Kovacs-Hostyanszki A. Solidago canadiens impacts on native plant and pollinator communities in different-aged old fields // Basic and Applied Ecol. 2015. V. 16. P. 335–346.

Kundel D., van Kleunen M., Dawson W. Invasion by *Solidago* species has limited impacts on soil seed bank communities // Basic and Applied Ecol. 2014. V. 15. № 7. P. 573–580.

Szymura M., Szymura T.H. Interactions between alien goldenrods (*Solidago* and *Euthamia* species) and comparison with native species in Central Europe // Flora – Morphology, Distribution, Function Ecology of Plants. 2016. V. 218. № 2. P. 51– 61.

Weber E., Jakob G. Biological flora of central Europe: *Solidago gigantea* Aiton // Flora – Morphology, Distribution, Function Ecology of Plants. 2005. V. 200. № 2. P. 109–118.

Spatial Features of Goldenrods (Invasive *Solidago* Species) Expansion in Central Regions of European Part of Russia

I. Yu. Savin[1, 2, *] and E. A. Shishkonakova[1]

[1]*Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia*

[2]*RUDN University, Ecological Faculty, Moscow, Russia*

**e-mail: savin_iyu@esoil.ru*

Stagnation in Russia's agricultural sector over the past decades has led to a progressive growth in the number of abandoned lands. In many areas of Europe and Asia, invasive species are being introduced on abandoned lands, making certain adjustments to the successional process's characteristic of regional landscapes. Using the *Landsat* satellite data archive the analysis of long-term dynamics of the range of invasive goldenrods species on the abandoned lands of the center of the European part of Russia has been carried out. It has been established that in many cases the goldenrods ranges are concentrated along the borders between the administrative units, which is associated with the specifics of arable land abandonment. The geography of goldenrods is also affected by the area's specific soil cover. It has been confirmed that the biggest splash of the area under the goldenrod on the territory of the research took place in the period from 2006 to 2011, which can be connected with both the successional changes and the increase of the fertility level of the abandoned arable lands, as well as with the climatic changes, which have created more favorable conditions for the expansion of the goldenrods in recent years.

Keywords: genus *Solidago*, invasion species, Oka basin, *Landsat*, abandoned lands, vegetation dynamics

REFERENCES

Agroekologicheskoe sostoyanie i perspektivy ispol'zovaniya zemel', vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Agroecological Condition and Prospects of Use of Lands Left out of Active Agricultural Production]. Romanenko G.A., Ed. Moscow: Ross. Akad. S-kh. Nauk, 2008. 64 p.

Arep'eva L.A., Kulikova E.Y. Communities with participation of *Solidago canadensis* and *S. gigantea* in Kursk, Bryansk and Minsk. *Byull. Bryansk. Otd. Russ. Bot. O-va*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 38–43. (In Russ.).

Braginets L.A., Zhursinalina D.S. Invasive eunephytes of weed and ruderal flora of Kostanay and its environs. In *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov. Sb. mater. dokl. V Mezhdunar. konf.* [Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions. Proc. V Int. Conf.]. Kemerovo: Inst. Ekol. Cheloveka Sibir. Otd. RAN, 2018, pp. 27–29. (In Russ.).

Bulokhov A.D., Daineko N.M., Kharin A.V. Neophyte communities of Sozhsko-Iputsky interfluve formed by North American species. In *Geograficheskie problemy sbalansirovannogo razvitiya staroosvoennykh regionov. Mater. IV Mezhdunar. zaochn. nauchn.-prakt. konf.* [Geographical Problems of Balanced Development of Old-Developed Regions. Proc. IV Int. Sci. Pract. Conf.]. Akhromeev L.M., Ed. Bryansk, 2017, pp. 37–48. (In Russ.).

Bulokhov A.D., Klyuev Y.A., Panasenko N.N. Neophytes and their communities in Bryansk region. *Bot. Zh.*, 2011, vol. 96, no. 5, pp. 606–621. (In Russ.).

Bulokhov A.D., Sadiq O.N. Phytocoenotic activity of *Solidago canadensis* L. in communities of deposits and dry meadows. *Vestn. Bryansk. Gos. Univ.*, 2015, no. 2, pp. 383–387. (In Russ.).

Chernaya kniga flory Sibiri [Black Book of Siberian Flora]. Vinogradova Yu.K., Kupriyanov A.N., Eds. Novosibirsk: Geo Publ., 2016. 440 p.

Daineko N.M., Timofeev S.F., Bulokhov A.D., Panasenko N.N. Ontogenetic structure of the *Solidago gigantea* L. price populations in the districts of the Gomel region of Belarus bordering the territory of the Bryansk region of Russia. *Byull. Bryansk. Otd. Russ. Bot. O–va*, 2017, vol. 11, no. 3, pp. 44–48. (In Russ.).

Fenesi A., Vagasi C.I., Meldean M., Földesi R., Kolcsar L-P., Shapiro J.T., Török E., Kovacs-Hostyanszki A. *Solidago canadiens* impacts on native plant and pollinator communities in different-aged old fields. *Basic Appl. Ecol.*, 2015, vol. 16, pp. 335–346.

Gamova N.S., Dudov S.V., Sutkin A.V., Krasnopevtseva A.S. New and rarely met in Buryatia taxa of adventive plants from the Baikal reserve conservation area. *Turczaninowia*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 12–20. (In Russ.).

Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: opustynivanie i degradatsiya zemel', institutsional'nye, infrastrukturnye, tekhnologicheskie mery adaptatsii (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo) [Global Climate and Soil Cover of Russia: Desertification and Land Degradation, Institutional, Infrastructural, Technological Adaptation Measures (Agriculture and Forestry)]. Edelgeriev R.S.-Kh., Ed. Moscow: Pochvennyi Inst. im. V.V. Dokuchaeva, 2019. 476 p.

Gusev A.P. Invasion of the Canadian goldsmith (*Solidago canadensis* L.) into the anthropogenic landscapes of Belarus. *Ross. Zh. Biol. Invazii*, 2017, vol. 10, no. 4, pp. 28–35. (In Russ.).

Gusev A.P., Shpilevskaya N.S. Impact of the *Canadian gold-plant canadensis* L. invasion on the vegetative biodiversity in the Belarusian landscapes. *Biosfera*, 2017, vol. 9, no. 4, pp. 300–305. (In Russ.).

Koldomova E.A. Some features of biology of seeds of invasive species *Solidago canadensis* L. In *Izuchenie, sokhranenie i vosstanovlenie estestvennykh landshaftov. Sb. statei VIII vseross. s mezhdunar. uchastiem nauchn.-prakt. konf.* [Study, Conservation and Restoration of

Natural Landscapes. Proc. VIII All-Russian with Int. Participation Sci. and Pract. Conf.]. Volgograd, 2018, pp. 22–26. (In Russ.).

Konspekt flory Aziatskoy Rossii: Sosudistye rasteniya [Collection of Flora of Asian Russia: Vascular Plants]. Baikov K.S., Ed. Novosibirsk: Sibir. Otd. Ross. Akad. Nauk, 2012. 640 p.

Kundel D., van Kleunen M., Dawson W. Invasion by *Solidago* species has limited impacts on soil seed bank communities. *Basic Appl. Ecol.*, 2014, vol. 15, no. 7, pp. 573–580.

Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. *Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti* [Dynamics of Agricultural Lands of Russia in the 21th Century and Postagrogenic Restoration of Vegetation]. Moscow: GEOS Publ., 2010. 416 p.

Maevskii P.F. *Flora srednei polosy evropeiskoi chasti Rossii* [Flora of the Central Part of the European part of Russia]. Moscow: KMK Publ., 2014, 11th ed. 635 p.

Mininzon I.L., Trostina O.V. *Chernaya kniga flory Nizhegorodskoi oblasti: chuzherodnye vidy rastenii, zanosnye i kul'tiviruyemye, aktivno naturalizuyushchiesya v usloviyakh Nizhegorodskoi oblasti* [Black Book of Flora of the Nizhny Novgorod Region: Alien Plant Species, Imported and Cultivated, Actively Naturalized in the Conditions of the Nizhny Novgorod Region]. Nizhny Novgorod, 2018. Available at: https://dront.ru/wp-content/uploads/2018/02/CHernaya-kniga-NNo-VII.pdf (accessed: 12.03.2021).

Panasenko N.N., Volodchenko Yu.S., Kholenko M.S., Kolesnikova Yu.V. Peculiarities of propagation and biology of *Solidago*. *Byull. Bryansk. Otd. Russ. Bot. O-va*, 2018, vol. 16, no. 4, pp. 30–38. (In Russ.).

Peshchanskaya E.V. Productivity of *Solidago canadensis* L. (Asteraceae) in conditions of the Stavropol Upland. *Byull. Bot. Sada Saratov. Gos. Univ.*, 2012, no. 10, pp. 85–89. (In Russ.).

Samye opasnye invazionnye vidy Rossii (TOP-100) [The Most Dangerous Invasive Species of Russia (TOP-100)]. Dgebuadze Yu.Yu, Petrosyan V.G., Khlyap L.A., Eds. Moscow: KMK Publ., 2018. 688 p.

Shmelev V.M., Pankrushina A.N. Peculiarities of the invasive *Solidago* (*Asteraceae*) spreading and their influence on the natural species. *Vestn. Tver. Gos. Univ. Ser.: Biol. Ekol.*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 130–135. (In Russ.).

Szymura M., Szymura T.H. Interactions between alien goldenrods (*Solidago* and *Euthamia* species) and comparison with native species in Central Europe. *Flora*, 2016, vol. 218, no. 2, pp. 51–61.

Ufimtsev V.I. Features of distribution of *Solidago canadensis* L. In the broken communities of the Mezhdurechensky urban district. In *Problemy promyshlennoi botaniki industrial'no razvitykh regionov. Sb. mater. dokl. V Mezhdunar. konf.* [Problems of Industrial Botany of Industrially Developed Regions. Proc. V Int. Conf.]. Kemerovo, 2018, pp. 119–120. (In Russ.).

Vinogradova Yu.K., Kuklina A.G. Calendar of flowering and morphometric signs of pollen of some invasive plant species in Middle Russia. *Hortus Botanicus*, 2016, vol. 11, pp. 72–84. (In Russ.).

Vinogradova Yu.K., Maerov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Srednei Rossii (Chuzherodnye vidy rastenii v ekosistemakh Srednei Rossii)* [Black Book of Flora of Middle Russia (Alien Plant Species in Ecosystems of Middle Russia)]. Moscow: GEOS Publ., 2010. 503 p.

Weber E., Jakob G. Biological flora of central Europe: *Solidago gigantea* Aiton. *Flora*, 2005, vol. 200, no. 2, pp. 109–118.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 458–466

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

УДК 528.9

ПЕРСПЕКТИВНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ ДАННЫХ В ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

© 2021 г. М. Э. Флейс[a], *, М. В. Нырцов[b], **, А. А. Никифорова[c], *, М. А. Солдаткина[b], ****

[a] *Институт географии РАН, Москва, Россия*

[b] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия*

[c] *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, Россия*

**e-mail: fleis.maria@yandex.ru*

***e-mail: nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru*

****e-mail: nikifsoil@gmail.com*

*****e-mail: grita005@gmail.com*

Поступила в редакцию 09.10.2020 г.
После доработки 26.01.2021 г.
Принята к публикации 02.03.2021 г.

Перспективно-цилиндрические проекции в нормальной ориентировке используются во всем мире, описаны в отечественной и зарубежной литературе, включены в списки картографических проекций большинства ГИС-пакетов. Однако разработанные в нашей стране в 1920-х годах косые перспективно-цилиндрические проекции не поддерживаются наиболее популярными картографическими программными продуктами. Это затрудняет интеграцию в ГИС данных многочисленных карт, составленных в нашей стране в этих проекциях. Для включения косых перспективно-цилиндрических проекций в специальную библиотеку картографических проекций, используемую многими ГИС-пакетами, и дальнейшего использования этих проекций в ГИС в статье дано полное их описание. Показана геометрия проекций. Собраны и адаптированы для ГИС существующие формулы и выведены недостающие, написаны программы на языке *Python*. Перспективно-цилиндрические проекции сферы дополнены переходом от поверхности эллипсоида вращения к сфере, что позволяет использовать мелкомасштабную обзорную карту в составе мультимасштабной ГИС как основу для привязки карт более крупного масштаба. Приведены примеры карт, созданных в косых перспективно-цилиндрических проекциях, и карт, преобразованных в другие проекции.

Ключевые слова: интеграция данных, картографические проекции, математическая картография, перспективно-цилиндрическая проекция, проекции в косой ориентировке, пространственная интеграция, трансформирование карт

DOI: 10.31857/S2587556621030067

ВВЕДЕНИЕ

Определение общего понятия “интеграция” можно найти во многих словарях. Например, в (Толковый..., 1935) интеграция, как научный термин, описана следующим образом: “Объединение в целое каких-нибудь частей или элементов в процессе развития”.

В различных областях знания это понятие имеет свои особенности. В частности, интеграция пространственных данных связана с координатными описаниями объектов и их взаимным расположением. Но даже и в этой конкретной области существуют разные подходы. Инвентаризация ресурсов пространственных данных, распределенных, в рамках инфраструктур пространственных данных на основе метаданных рассмотрена в работе (Кошкарев и др., 2010).

При интеграции пространственных данных с целью генерации новых информационных продуктов эффективным инструментом получения единой картографической основы является разбиение поверхности относимости на ячейки регулярной сетки той или иной формы и размера. Описание такого способа представлено много лет назад (Koshkarev, 1979). Примером современного применения такого подхода может служить Единая европейская регулярная сетка CGRS – *Common European Chorological Grid Reference System*[1], использо-

[1] Единая европейская регулярная сетка на портале открытых данных Евросоюза. 2021а. https://data.europa.eu/euodp/en/data/dataset/DAT-101-en (дата обращения 25.01.2021). Единая европейская регулярная сетка на сайте Европейского агентства по окружающей среде. 2021б. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/common-european-chorological-grid-reference-system-cgrs (дата обращения 25.01.2021).

ванная в сервисе "Млекопитающие России"[2] (Сервис..., 2021).

Интеграцию пространственных данных для картографических целей целесообразно начинать с приведения разнородных данных к единой системе координат (Никифорова и др., 2014). При выборе системы координат, а в частности при выборе проекции создаваемой карты, можно задавать различные варианты. Однако при использовании существующей карты необходимо точно знать параметры системы координат, в которой она была составлена. Это важно для мелкомасштабных карт, так как проекции могут сильно отличаться. Кроме того, при включении карты в геоинформационную систему для согласования с данными других карт или для анализа тематической нагрузки необходимо, чтобы используемое программное обеспечение поддерживало проекцию карты.

Для изображения территории нашей страны в основном используются конические проекции в нормальной ориентировке, различные по распределению искажений. Особое место среди них занимает проекция Ф.Н. Красовского, который в 1920-х годах предложил способ получения равнопромежуточных конических проекций исходя из условия сохранения площади широтного пояса, ограниченного заданными параллелями (Гинзбург и др., 1955). В настоящее время под конической проекцией Красовского понимается один из вариантов такой проекции с выбранным широтным поясом, ограниченным параллелями 39°28′42″ и 73°28′42″ северной широты. Эта проекция представлена в Атласе для выбора картографических проекций под номером 11 (Гинзбург, Салманова, 1957). Широты секущих параллелей конуса, обычно используемые при описании проекций в ГИС-пакетах, равны в градусах 66.7251 и 50.6544. В проекции Красовского, первоначально разработанной для изображения европейской части СССР, создавались затем и карты всей территории СССР и России. Конические проекции, также как и азимутальные, используемые для изображения полярной области, поддерживаются практически всеми картографическими программными продуктами. Однако вся территория страны с учетом полярных владений может быть наилучшим образом показана в косых перспективно-цилиндрических проекциях. Именно поэтому такая проекция (проекция ЦНИИГАиК) была использована при создании Национального атласа России (Национальный ..., 2004–2008). В (Гинзбург, Салманова, 1957) эта проекция представлена под номером 13.

Кроме того, другой вариант косой перспективно-цилиндрической проекции – проекция Соловьёва, номер 15 в (Гинзбург, Салманова, 1957) – использовался для школьных карт, так как она дает хорошее представление о шарообразности Земли. На школьные контурные карты некоторые ученые наносили результаты своей работы, что дает возможность включать эти результаты в процесс дальнейших исследований.

Данные о характере искажений вышеупомянутых проекций содержатся в Атласе для выбора картографических проекций (Гинзбург, Салманова, 1957).

Обеспечение поддержки популярными ГИС-пакетами косых перспективно-цилиндрических проекций расширит возможности использования данных с карт, составленных в этих проекциях.

ПЕРСПЕКТИВНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ В НОРМАЛЬНОЙ ОРИЕНТИРОВКЕ

Перспективно-цилиндрические проекции являются проекциями в геометрическом смысле этого слова. Как правило, это проекции сферы. Перспективно-цилиндрические проекции в нормальной ориентировке используются при создании карт довольно давно и описаны как в отечественной, так и в зарубежной литературе (например, проекция Голла в (Snyder, Voxland, 1989)). На рис. 1 представлена плоскость меридианного сечения сферы радиуса R с точкой глаза O, из которой производится проектирование точек противоположного меридиана на противоположную же сторону секущего цилиндра. Здесь D – расстояние от точки глаза до центра окружности, Φ_k – широта (на сфере) параллели сечения. Слева (см. рис. 1а) – случай, когда $D < \infty$, справа (см. рис. 1б) – когда $D = \infty$.

При проектировании точек других меридианов точка глаза описывает окружность радиуса D. Формулы пересчета из географических координат Φ, λ в прямоугольные x_{proj}, y_{proj} для перспективно-цилиндрических проекций сферы в нормальной ориентировке можно найти во многих учебниках по математической картографии, например в последней книге М.Д. Соловьёва (1969). Но обратный пересчет из прямоугольных координат в географические не отражен и потребовался только в эпоху ГИС. В плоскости проекции мы используем прямоугольную систему координат, у которой координатная ось X_{proj} направлена горизонтально вправо, а координатная ось Y_{proj} направлена вертикально вверх (в отличие от принятой в отечественной литературе по геодезии и математической картографии).

Формулы для первого случая (см. рис. 1а):

$$x_{proj} = R(\lambda - \lambda_0)\cos\Phi_k, \quad (1)$$

[2] Сервис "Млекопитающие России". http://rusmam.ru/atlas/index (дата обращения 25.01.2021).

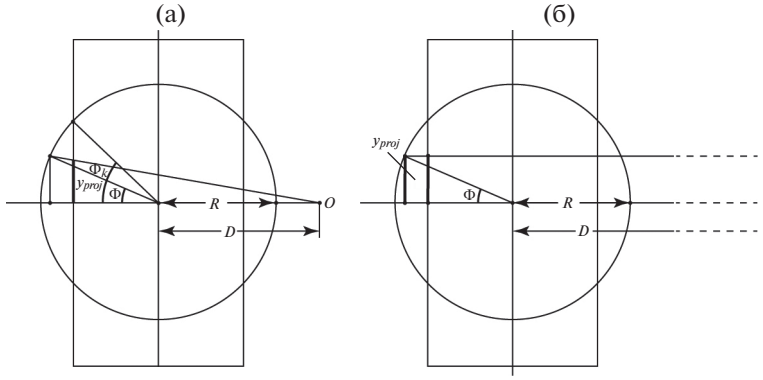

Рис. 1. Перспективно-цилиндрическая проекция в нормальной ориентировке с различным расстоянием от точки глаза.

$$y_{proj} = \frac{R\sin\Phi\left(K+\cos\Phi_k\right)}{K+\cos\Phi}, \qquad (2)$$

где λ_0 – долгота меридиана, проходящего через начало координат в плоскости проекции, $K = \frac{D}{R}$ – отношение расстояния от точки глаза до центра сферы к радиусу сферы.

Для касательного цилиндра $\Phi_k = 0$ и $\cos\Phi_k = 1$.

Формулы для второго случая (см. рис. 1б):

$$x_{proj} = R(\lambda - \lambda_0)\cos\Phi_k, \quad y_{proj} = R\sin\Phi. \qquad (3)$$

Долгота при заданном значении x_{proj} получается из (1):

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{x_{proj}}{R\cos\Phi_k}.$$

Широта при заданном значении y_{proj} при $K < \infty$ получается из (2), при $K = \infty$ из (3).

При $y_{proj} = 0$ широта также равна нулю $(\Phi = 0)$.

При $y_{proj} \neq 0$ и $K < \infty$ (см. (2)) получение обратной формулы сводится к решению квадратного уравнения относительно $\sin\Phi$:

$$\sin^2\Phi\left[\frac{R^2\left(K+\cos\Phi_k\right)^2}{y_{proj}^2}+1\right] - \frac{2KR\left(K+\cos\Phi_k\right)}{y_{proj}}\sin\Phi + K^2 - 1 = 0,$$

$$\sin\Phi = \frac{\dfrac{KR\left(K+\cos\Phi_k\right)}{y_{proj}} \pm \sqrt{\dfrac{R^2\left(K+\cos\Phi_k\right)^2}{y_{proj}^2} - K^2 + 1}}{\dfrac{R^2\left(K+\cos\Phi_k\right)^2}{y_{proj}^2}+1}.$$

При $y_{proj} > 0$ выбирается знак плюс, при $y_{proj} < 0$ выбирается знак минус.

Окончательные формулы пересчета из прямоугольных координат в географические для перспективно-цилиндрических проекций сферы в нормальной ориентировке, выведенные в рамках данной работы:

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{x_{proj}}{R\cos\Phi_k}, \qquad (4)$$

$$\Phi = \arcsin\left[\frac{\dfrac{KR\left(K+\cos\Phi_k\right)}{y_{proj}} \pm \sqrt{\dfrac{R^2\left(K+\cos\Phi_k\right)^2}{y_{proj}^2} - K^2 + 1}}{\dfrac{R^2\left(K+\cos\Phi_k\right)^2}{y_{proj}^2}+1}\right], \qquad (5)$$

$$\Phi = \arcsin\frac{y_{proj}}{R}. \qquad (6)$$

При $K < \infty$ используется (5), при $K = \infty$ используется (6).

На рис. 2 представлен пересчет географических координат (долгота/широта) в проекцию Голла. Слева показаны узлы картографической сетки, причем по горизонтальной оси отложена долгота, а по вертикальной оси – широта. Справа – эти

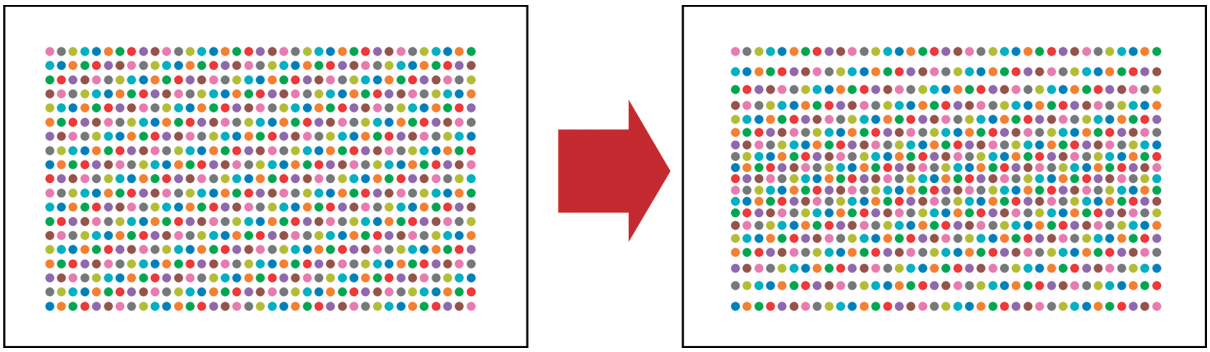

Рис. 2. Пересчет географических координат (долгота/широта) в проекцию Голла.

узлы в перспективно-цилиндрической проекции Голла. Параметры проекции Голла по (Snyder, Voxland, 1989): $\Phi_k = 45°, K = 1$.

Отметим, что такое отображение на плоскости долготы/широты соответствует цилиндрической равнопромежуточной по меридианам проекции для касательного цилиндра в нормальной ориентировке. Другое название этой проекции "квадратная", или "проекция Plate Carrée".

КОСЫЕ ПЕРСПЕКТИВНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Косые перспективно-цилиндрические проекции были получены в нашей стране в 30-е годы XX в., но не вошли в труды американского картографа Дж. Снайдера и, как следствие, в зарубежные геоинформационные программные продукты. Отечественные картографические пакеты "Нева", разработанный в Институте проблем управления РАН, и ГеоГраф, разработанный в Институте географии РАН, поддерживают эти проекции. Однако списки картографических проекций таких популярных программных продуктов, как *ArcGIS* и *QGIS,* не содержат косых перспективно-цилиндрических проекций для эллипсоида вращения.

Наиболее эффективным способом адаптации перспективно-цилиндрических проекций для включения в популярные ГИС-пакеты является их реализация в библиотеке *PROJ*[3]. Эта библиотека используется разработчиками многих программных продуктов для преобразования картографических проекций и геодезических систем координат. Для включения картографической проекции в библиотеку *PROJ*, необходимо дать ее полное описание. Для использования проекции в ГИС-пакетах требуется в дальнейшем получение уникального кода проекции в реестре идентификаторов картографических проекций *EPSG*. Описание проекции включает в себя формулы пересчета из географических координат в прямоугольные и из прямоугольных в географические в текстовом виде и в виде компьютерной программы.

Пересчет географических координат на сфере в косую перспективно-цилиндрическую проекцию проводится в два этапа. Сначала осуществляется переход к географическим координатам в косой ориентировке $\Phi_{obl}, \lambda_{obl}$ и затем пересчет в координаты проекции по формулам для нормальной ориентировки. На рис. 3 показано положение сферы относительно секущего цилиндра в нормальной (см. рис. 3а) и косой (см. рис. 3б, 3в) ориентировке. На рис. 3б – взгляд со стороны меридиана $\lambda_{obl} = 180°$, а на рис. 3в – взгляд со стороны меридиана $\lambda_{obl} = 0°$. Обычно при описании геометрии цилиндрической проекции в косой ориентировке меняют положение цилиндра. Однако поворот сферы относительно неподвижного цилиндра более наглядно иллюстрирует переход к географическим координатам в косой ориентировке. Географический полюс на рисунке обозначен буквой *P*, а полюс косой системы координат обозначен P_{obl}. В нормальной ориентировке координаты P_{obl} равны Φ_0, λ_0. Координаты точки *A* в нормальной ориентировке равны Φ, λ, а при повороте сферы становятся $\Phi_{obl}, \lambda_{obl}$.

Формулы перехода от географических координат в нормальной ориентировке к косой ориентировке есть во многих работах по математической картографии. Как правило, переход осуществляется через полярные сферические координаты (зенитное расстояние и азимут) с использованием сферического треугольника. Например, из формул, представленных в справочной таблице в (Гинзбург и др., 1955), можно получить следующие формулы:

$$\sin\Phi_{obl} = \sin\Phi\sin\Phi_0 + \cos\Phi\cos\Phi_0\cos(\lambda - \lambda_0), \quad (7)$$

$$\cos\Phi_{obl}\cos\lambda_{obl} = \sin\Phi\cos\Phi_0 - \cos\Phi\sin\Phi_0\cos(\lambda - \lambda_0), \quad (8)$$

$$\cos\Phi_{obl}\sin\lambda_{obl} = -\cos\Phi\sin(\lambda - \lambda_0), \quad (9)$$

[3] PROJ. https://proj.org (дата обращения 25.01.2021).

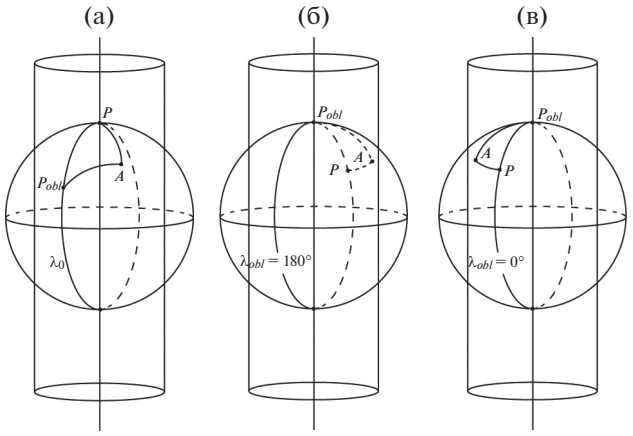

Рис. 3. Поворот сферы относительно цилиндра для перехода к географическим координатам в косой ориентировке.

$$\Phi_{obl} = \arcsin\left[\sin\Phi\sin\Phi_0 + \cos\Phi\cos\Phi_0\cos(\lambda-\lambda_0)\right], \quad (10)$$

$$\lambda_{obl} = -\operatorname{arctg}\frac{\cos\Phi\sin(\lambda-\lambda_0)}{\sin\Phi\cos\Phi_0 - \cos\Phi\sin\Phi_0\cos(\lambda-\lambda_0)}. \quad (11)$$

Если $\Phi_{obl} = \pm 90°$, принимаем $\lambda_{obl} = 0$.

При программировании целесообразно использовать функцию atan2:

$$\lambda_{obl} = -\operatorname{atan2}(\cos\Phi\sin(\lambda-\lambda_0), \sin\Phi\cos\Phi_0 - \cos\Phi\sin\Phi_0\cos(\lambda-\lambda_0)).$$

Это позволяет учесть знаки синуса и косинуса и избежать деления на ноль.

Если не использовать функцию atan2, случай $\Phi = \pm 90°$ надо рассмотреть отдельно. Если $\Phi = 90°$, то $\Phi_{obl} = \Phi_0$, $\lambda = 0$. Если $\Phi = -90°$, то $\Phi_{obl} = -\Phi_0$, $\lambda_{obl} = 180°$.

Те же самые формулы можно использовать и для обратного преобразования с учетом того, что в системе координат, соответствующей косой ориентировке, долгота и широта географического полюса, соответствующего нормальной ориентировке, равны нулю и Φ_0 соответственно (см. рис. 3). Подставляя в (10) и (11) Φ_{obl} вместо Φ, λ_{obl} вместо $\lambda - \lambda_0$, Φ вместо Φ_{obl} и $\lambda - \lambda_0$ вместо λ_{obl}, получаем:

$$\Phi = \arcsin(\sin\Phi_{obl}\sin\Phi_0 + \cos\Phi_{obl}\cos\Phi_0\cos\lambda_{obl}), \quad (13)$$

$$\lambda = \lambda_0 - \operatorname{arctg}\frac{\cos\Phi_{obl}\sin\lambda_{obl}}{\sin\Phi_{obl}\cos\Phi_0 - \cos\Phi_{obl}\sin\Phi_0\cos\lambda_{obl}} \quad (14)$$

или

$$\lambda = \lambda_0 - \operatorname{atan2}(\cos\Phi_{obl}\sin\lambda_{obl}, \sin\Phi_{obl}\cos\Phi_0 - \cos\Phi_{obl}\sin\Phi_0\cos\lambda_{obl}).$$

Такие же формулы можно получить непосредственно из (7), (8), (9).

Если $\Phi = \pm 90°$, долготу определить невозможно и приходится принимать, например, $\lambda = \lambda_0$.

Если не использовать функцию atan2, случай $\Phi_{obl} = \pm 90°$ надо рассмотреть отдельно, также как это было сделано для $\Phi = \pm 90°$. Если $\Phi_{obl} = 90°$, то $\Phi = \Phi_0$, $\lambda = \lambda_0$. Если $\Phi_{obl} = -90°$, то $\Phi = -\Phi_0$, $\lambda = \lambda_0 + 180$. Если долгота получится больше 360°, то надо отнять 360°.

На рис. 4 представлены слева узлы картографической сетки (долгота/широта) в нормальной ориентировке, а справа – в косой ориентировке. Широта полюса проекции $\Phi_0 = 45°$.

Отображение на плоскости долготы/широты в косой ориентировке (см. рис. 4б) дает нам цилиндрическую проекцию (касательный цилиндр), сохраняющую длины вдоль меридианов в косой ориентировке.

Перспективно-цилиндрические проекции сферы были разработаны для карт мелкого масштаба, и переход от поверхности эллипсоида вра-

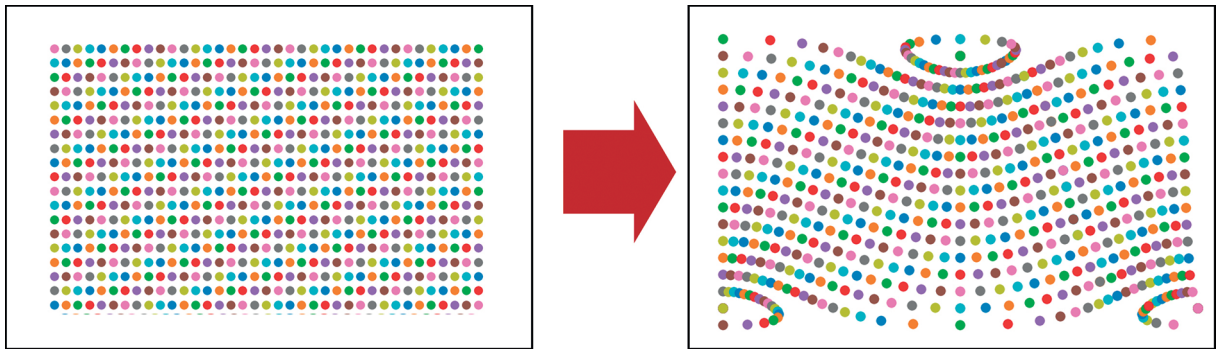

Рис. 4. Переход от нормальной (широта/долгота) к косой ориентировке.

щения к сфере не имел существенного значения. Однако мелкомасштабная обзорная карта в составе мультимасштабной ГИС может быть основой для привязки карт более крупного масштаба. В этом случае необходим выбор геодезической системы координат, привязанной к эллипсоиду вращения. Кроме того, для работы с большинством ГИС-пакетов требуется выбрать геодезическую систему координат. Предлагается переход от поверхности эллипсоида к сфере под условием равновеликого отображения, так как этому соответствует радиус сферы, выбранный для реализации перспективно-цилиндрических проекций в (Гинзбург, Салманова, 1957). После некоторых преобразований формулы из (Snyder, 1987) приобретают вид:

$$
\begin{gathered}
e = \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}, \\
q = \left(1 - e^2\right)\left(\frac{\sin\varphi}{1 - e^2\sin^2\varphi} - \frac{1}{2e}\ln\frac{1 - e\sin\varphi}{1 + e\sin\varphi}\right), \\
q_p = q\left(\varphi = \frac{\pi}{2}\right) = 1 - \frac{1 - e^2}{2e}\ln\frac{1 - e}{1 + e}, \\
R_q = a\sqrt{\frac{q_p}{2}}, \quad \Phi = \arcsin\frac{q}{q_p},
\end{gathered}
\tag{15}
$$

где a – большая полуось эллипсоида вращения, b – малая полуось эллипсоида вращения, Φ – широта на сфере, φ – геодезическая широта на эллипсоиде вращения, e – эксцентриситет эллипса меридианного сечения, R_q – радиус сферы, площадь поверхности которой равна площади поверхности эллипсоида.

Обратные формулы:

$$
\begin{gathered}
\varphi = \Phi + \left(\frac{e^2}{3} + \frac{31e^4}{180} + \frac{517e^6}{5040} + \ldots\right)\sin 2\Phi + \\
+ \left(\frac{23e^4}{360} + \frac{251e^6}{3780} + \ldots\right)\sin 4\Phi + \\
+ \left(\frac{761e^6}{45360} + \ldots\right)\sin 6\Phi + \ldots.
\end{gathered}
\tag{16}
$$

Таким образом пересчет геодезических координат, заданных на поверхности эллипсоида вращения, включает в себя три этапа:

1. Переход от поверхности эллипсоида к сфере под условием равновеликого отображения (см. (15)).

2. Переход от географических координат в нормальной ориентировке к косой ориентировке (см. (10), (11)).

3. Пересчет из географических координат в прямоугольные для перспективно-цилиндрических проекций сферы в нормальной ориентировке (см. (1), (2), (3)).

Частный масштаб площадей в косой перспективно-цилиндрической проекции эллипсоида вращения вычисляется аналогично. Первые два этапа такие же, как и при вычислении прямоугольных координат, а на третьем этапе вместо (1), (2), (3) используется формула вычисления частного масштаба площадей p для сферы в нормальной ориентировке (Соловьёв, 1969):

$$
p = \frac{\left(K + \cos\Phi_k\right)\left(1 + K\cos\Phi\right)\cos\Phi_k}{\left(K + \cos\Phi\right)^2\cos\Phi}.
$$

Это возможно, так как при переходе от поверхности эллипсоида к сфере площади сохраняются.

Пересчет из прямоугольных координат в географические также включает в себя три этапа, но расположенные в обратном порядке:

1. Пересчет из прямоугольных координат в географические для перспективно-цилиндрических проекций сферы в нормальной ориентировке (см. (4), (5), (6)).

2. Переход от географических координат в косой ориентировке к нормальной ориентировке (см. (13), (14)).

3. Переход от сферы к поверхности эллипсоида под условием равновеликого отображения (см. (16)).

Формулы пересчета запрограммированы на языке *Phyton*. Координаты точек для рис. 2 и 4 вычислены с помощью полученных программ. Таким образом, составлено полное описание косой перспективно-цилиндрической проекции для ее включения в библиотеку *PROJ*.

СОВРЕМЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНО-ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРОЕКЦИЙ

Приведем примеры карт из Национального атласа России, составленные в перспективно-цилиндрической проекции ЦНИИГАиК. В первом томе: Физическая карта России, Федеративное устройство России, Земельные угодья, Федеральные округа, Часовые пояса, Плотность населения. Во втором томе: Геологическая карта, Аномалии магнитного поля, Аномалии гравитационного поля, Геоморфология. Морфоструктура, Леса, Современные рельефообразующие процессы.

Косые перспективно-цилиндрические проекции были также использованы при составлении карт Национального атласа Арктики (Национальный..., 2017).

При создании некоторых карт Национального атласа России в перспективно-цилиндрической проекции ЦНИИГАиК $K = 3$, $\Phi_k = 10°$, $\Phi_0 = 25°$, $\lambda_0 = -80°$ были использованы карты, составленные ранее в других проекциях. Для корректной интеграции данных было произведено трансформирование отсканированных изображений карт-

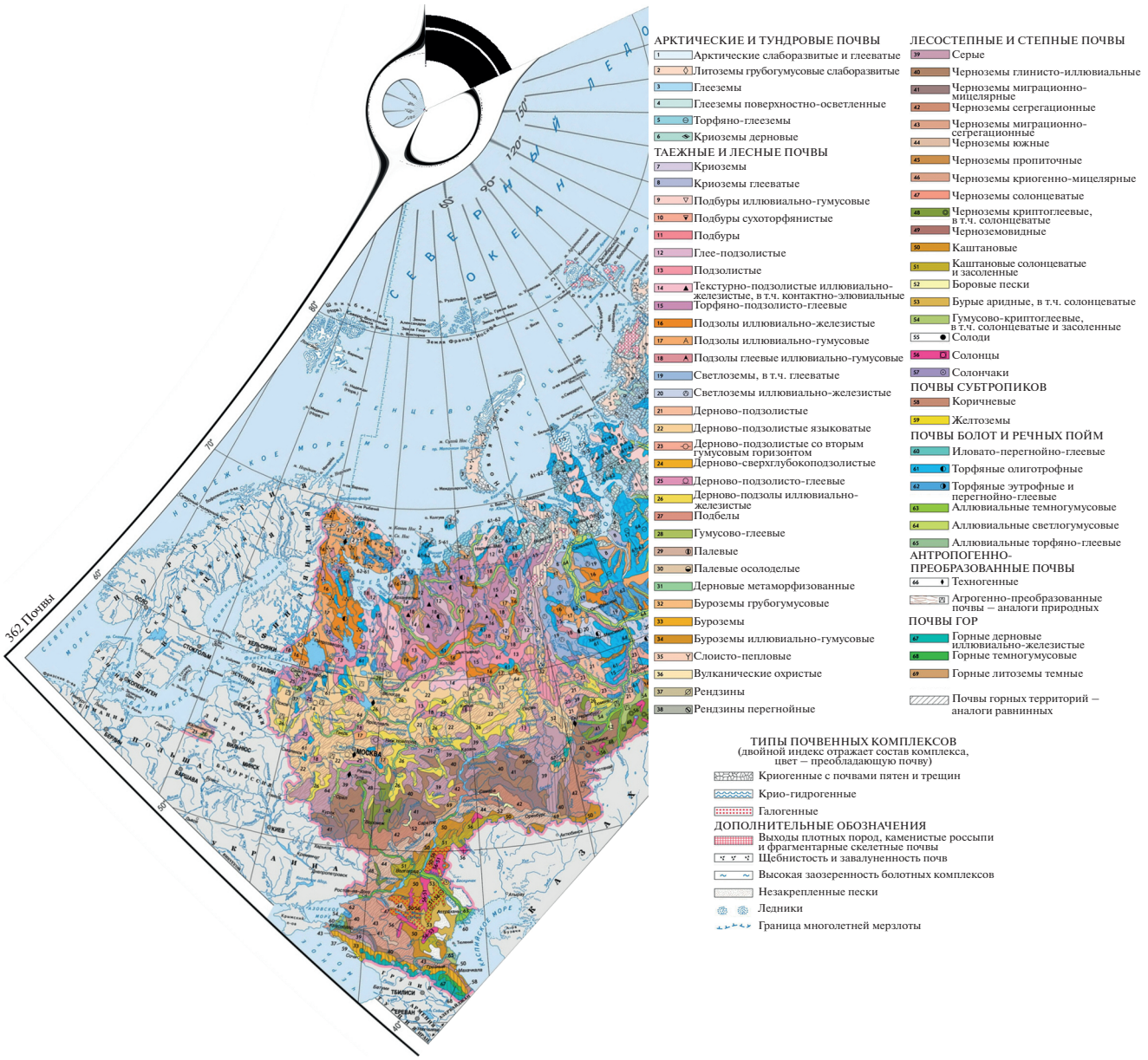

Рис. 5. Фрагмент почвенной карты после трансформирования в проекцию Красовского.

источников в проекцию ЦНИИГАиК. В том случае, когда для интеграции данных выбрана другая картографическая проекция, например коническая, и среди карт-источников есть карты из Национального атласа России, необходимо трансформировать эти карты в выбранную коническую проекцию. На рис. 5 представлен фрагмент отсканированного изображения почвенной карты России (Национальный..., 2004–2008, т. 1, с. 362), трансформированной из косой перспективно-цилиндрической проекции ЦНИИГАиК, в которой карта была составлена, в коническую проекцию Красовского.

Приведем пример использования косой перспективно-цилиндрической проекции Соловьёва, разработанной для школьных карт. Параметры этой проекции:

$$K = 1, \quad \Phi_k = 45°, \quad \Phi_0 = 75°, \quad \lambda_0 = -80°.$$

В книге (Соколов и др., 1977) ареалы распространения различных видов деревьев представлены в проекции Соловьёва. На рис. 6 показана карта ареала *Populus tremula* L (карта 65), пересчитанная из этой проекции в географические координаты долгота/широта.

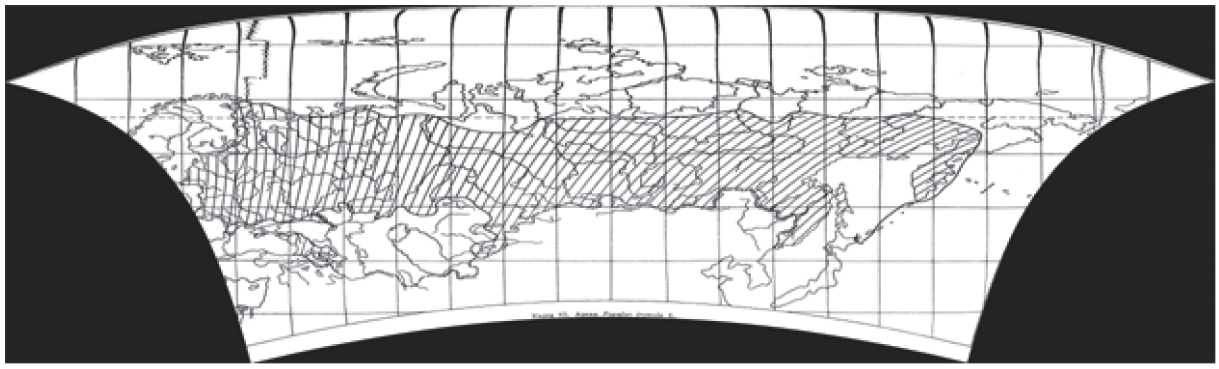

Рис. 6. Ареал *Populus tremula* L в координатах долгота/широта.

В такой проекции карта может быть использована для анализа данных в любом ГИС-пакете. Трансформирование растровых изображений осуществлялось в программном продукте ГеоГраф ГИС 2.0.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В нашей стране накоплен ценный фонд карт в косых перспективно-цилиндрических проекциях. Они могут быть использованы в научных исследованиях с применением инструментария ГИС. После включения этих проекций в библиотеку *PROJ* и получении кода *EPSG* операции по привязке и трансформированию для согласования и анализа с последующей интеграцией можно будет проводить во многих популярных ГИС-пакетах как в России, так и во всем мире.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Материалы статьи, представленные М.Э. Флейс, выполнены по Государственному заданию № АААА-А19-119022190168-8, материалы М.В. Ныpцова и М.А. Солдаткиной – по Государственному заданию № АААА-А16-116032810094-9, материалы А.А. Никифоровой – по Государственному заданию № АААА-А15-115122810146-4.

FUNDING

Materials for the article created by M.E. Fleis were carried out within the framework of the state-ordered assignment AAAA-A19-119022190168-8, materials of M.V. Nyrtsov and M.A. Soldatkina—within the framework of the state-ordered assignment AAAA-A16-116032810094-9, materials of A.A. Nikiforova—within the framework of the state-ordered assignment AAAA-A15-115122810146-4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гинзбург Г.А., Карпов Н.С., Салманова Т.Д. Математическая картография в СССР / Тр. ЦНИИГАиК. М.: Геодезиздат, 1955. Ч. I. Вып. 99. 232 с.

Гинзбург Г.А., Салманова Т.Д. Атлас для выбора картографических проекции / Тр. ЦНИИГАиК. М.: Геодезиздат, 1957. Вып. 110. 239 с.

Кошкарев А.В., Ряховский В.М., Серебряков В.А. Инфраструктура распределенной среды хранения, поиска и преобразования пространственных данных // Открытое образование. 2010. Т. 5. С. 61–72.

Национальный атлас Арктики. М.: Изд-во АО “Роскартография”, 2017.

Национальный атлас России в 4-х томах / гл. ред. А.В. Бородко. М.: Роскартография, 2004–2008.

Никифорова А.А., Флейс М.Э., Борисов М.М. Тематическая интеграция пространственных данных о природных элементах ландшафтов в среде ГИС // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 85–93.

Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. Ареалы деревьев и кустарников СССР. Л.: Наука, Ленинградское отд., 1977. Т. 1. 164 с.

Соловьёв М.Д. Математическая картография. М.: Недра, 1969. 288 с.

Толковый словарь русского языка / под ред. Д.Н. Ушакова. Т. 1. ОГИЗ: М., 1935 (4-е тома).

Koshkarev A.V. Regular spatial grids for the information maintenance of mathematical-cartographic studies / Mathematical processing of cartographic data (Tallinn, December 18–19, 1979). Summaries. Tallinn, 1979. P. 23–25.

Snyder J.P. Map Projections – A Working Manual // U.S. Geological Survey Prof. Paper 1395, Washington, DC, U.S.: Government Printing Office, 1987. 383 p.

Snyder J.P., Voxland P.M. An Album of Map Projections // U.S. Geological Survey Prof. Paper 1453. Washington, DC, U.S.: Government Printing Office, 1989. 249 p.

Perspective Cylindrical Projections for Data Integration in a Geographic Information System

M. E. Fleis[1, *], M. V. Nyrtsov[2, **], A. A. Nikiforova[3, *], and M. A. Soldatkina[2, ****]**

[1]*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[2]*Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia*

[3]*Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Moscow, Russia*

**e-mail: fleis.maria@yandex.ru*

***e-mail: nyrtsovmaxim@geogr.msu.ru*

****e-mail: nikifsoil@gmail.com*

*****e-mail: grita005@gmail.com*

Perspective cylindrical projections in normal aspect are used all over the world. They are described in Russian and foreign literature and included in the list of cartographic projections of most GIS software. However, the oblique perspective cylindrical projections developed in our country in the 1920s are not supported by the most popular cartographic software. This makes it difficult to integrate data into GIS from numerous maps compiled in our country in these projections. To include oblique perspective cylindrical projections into a special library of cartographic projections used by many GIS software, and further use these projections in GIS, a complete description is given in this article. The geometry of the projections is shown. The existing formulas were collected and adapted for GIS and the missing ones were derived, programs for calculation were written in *Python*. Perspective cylindrical projections of the sphere are supplemented by a transition from the surface of an ellipsoid of revolution to a sphere, which allows using a small-scale map as part of a multi-scale GIS as a basis for georeferencing maps of a larger scale. Examples of maps created in oblique perspective cylindrical projections and maps transformed to other projections are given.

Keywords: data integration, cartographic projections, mathematical cartography, perspective cylindrical projection, oblique projections, spatial integration, map transformation

REFERENCES

Ginzburg G.A., Karpov N.S., Salmanova T.D. *Matematicheskaya kartografiya v SSSR* [Mathematical Cartography in the USSR]. Tr. TsNIIGAiK, vol. 99. Moscow: Geodezizdat Publ., 1955, part 1. 232 p.

Ginzburg G.A., Salmanova T.D. *Atlas dlya vybora kartograficheskikh proektsii* [Atlas for Selection of Map Projections]. Tr. TsNIIGAiK, vol. 110. Moscow: Geodezizdat Publ., 1957. 239 p.

Koshkarev A.V. Regular spatial grids for the information maintenance of mathematical-cartographic studies. In *Symposium: Mathematical Processing of Cartographic Data (Tallinn, December 18-19, 1979). Summaries.* Tallinn: Estonian Acad. Sci., 1979, pp. 23–25.

Koshkarev A.V., Ryakhovskii V.M., Serebryakov V.A. Distributed storage, search, and transformation infrastructure for spatial data. *Otkrytoe Obrazovanie*, 2010, vol. 5, pp. 61–72. (In Russ.).

Natsional'nyi atlas Arktiki [National Atlas of the Arctic Region]. Moscow: Roskartografiya Publ., 2017. 496 p.

Natsional'nyi atlas Rossii [National Atlas of Russia]. Moscow: Roskartografiya Publ., 2004–2008, 4 vols.

Nikiforova A.A., Fleis M.E., Borisov M.M. Thematic integration of spatial data on natural landscape elements in GIS. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2014, no. 1, pp. 85–93. (In Russ.).

Snyder J.P. *Map Projections – A Working Manual*. U.S. Geological Survey Prof. Paper 1395. Washington, D.C.: U.S. Government Print. Office, 1987. 383 p.

Snyder J.P., Voxland P.M. *An Album of Map Projections.* U.S. Geological Survey Prof. Paper 1453. Washington, D.C.: U.S. Government Print. Office, 1989. 249 p.

Sokolov S.Ya., Svyazeva O.A., Kubli V.A. *Arealy derev'ev i kustarnikov SSSR* [Areas of Trees and Shrubs of the USSR]. Leningrad: Nauka Publ., 1977, vol. 1. 164 p.

Solov'ev M.D. *Matematicheskaya kartografiya* [Mathematic Cartography]. Moscow: Nedra Publ., 1969. 288 p.

Tolkovyi slovar' russkogo yazyka [Explanatory Dictionary of the Russian Language]. Ushakova D.N., Ed. Moscow: OGIZ, 1935, vol. 1.

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ, 2021, том 85, № 3, с. 467–480

ВЗГЛЯД ГЕОГРАФА

УДК 910.1

“ПОЛЯРИЗОВАННЫЙ ЛАНДШАФТ”: ПОЛВЕКА СПУСТЯ

© 2021 г. Б. Б. Родоман*[1]

Москва, Россия

**e-mail: bbrodom@mail.ru*

Поступила в редакцию 24.01.2021 г.
После доработки 01.03.2021 г.
Принята к публикации 03.03.2021 г.

Статья посвящена концепции “поляризованного ландшафта” (также известной как концепция “поляризованной биосферы”), разработанной автором в 1970 г. Рассматриваются социально-экономические условия осуществления концептуального проекта, а также изменения этих факторов и соответствующих фундаментальных понятий за прошедшие полстолетия. Показано, насколько идеальная модель территориальной структуры культурного ландшафта связана с образом жизни ее автора; как его представления о работе и досуге сформировали картину регулярной сети городов, окруженных буферными функциональными зонами с понижающейся плотностью населения от центра к периферии, занятой природными парками и заповедниками. Большой город и дикая природа считаются равноценными “полюсами” биосферы. Б.Б. Родоман прослеживает, как изменилась транспортная инфраструктура в России и насколько современная транспортная политика, по крайней мере в Москве и Московской области, противоречит идеям “поляризованной биосферы”. В то же время нарастание территориальных контрастов социально-экономического развития приводит к росту так называемой внутренней периферии, где процессы восстановления природных ландшафтов идут стихийно по мере сокращения антропогенной нагрузки. Некоторая поляризация ландшафта, благоприятная для биосферы, происходит сама собой, и не надо этому процессу препятствовать. Автор прослеживает связь своей концепции с классическими трудами по теоретической географии, в частности с “Изолированным государством” И. фон Тюнена; рассказывает об истории проникновения “поляризованной биосферы” в отечественную географическую науку, намечает пути дальнейшего развития этого проекта.

Ключевые слова: биосфера, ландшафт, город, транспорт, расселение, охрана природы, эконет, функциональное зонирование, картоиды

DOI: 10.31857/S2587556621030122

ВВЕДЕНИЕ

В 2020 г. концепции “поляризованного ландшафта” (ПЛ), или “поляризованной биосферы” (ПБ), исполнилось 50 лет. Для тех, кто знаком с этой концепцией, она, в первую очередь, ассоциируется с картоидом, но что кроется за чертежом? В каком регионе, какие люди и как “могли бы” или “должны” жить в соответствии с этим проектом? Несмотря на достаточно широкую известность и уже долгую жизнь, ПБ еще не обсуждалась в научном сообществе.

В настоящей статье словосочетания ПБ и ПЛ употребляются преимущественно как синонимы, чередуясь для стилистического разнообразия, но в некоторых неоговоренных случаях они неявно различаются: ПБ – общее понятие, глобальный спектр зон, а ПЛ – более локальная система, сформированная и пронизанная транспортной сетью.

Поляризованный ландшафт – концепция идеальной территориальной структуры культурного ландшафта для гармоничного сосуществования человека и природы, один из подходов функционального зонирования территории. Она опирается на идею, что большой город и дикая природа – противоположные и равноценные виды окружающей среды. Между ними располагаются прочие функциональные зоны, промежуточные по плотности постоянного населения, по степени интенсивности земле- и природопользования, по транспортной доступности (рис. 1).

[1] В мае 2021 г. Борис Борисович Родоман – известнейший российский географ, теоретик географической науки, автор концепции “поляризованной биосферы”, разработавший свою, оригинальную версию правил составления и языка картоидов, внесший большой вклад в развитие отечественной рекреационной географии – отмечает свой 90-летний юбилей. Данная статья написана на основе научного доклада Бориса Борисовича, подготовленного в прошлом году для научной конференции к 50-летию концепции “поляризованной биосферы”. Редакция журнала “Известия РАН. Серия географическая” поздравляет Б.Б. Родомана с замечательным юбилеем, восхищается его творческим долголетием, желает ему здоровья и новых научных свершений!

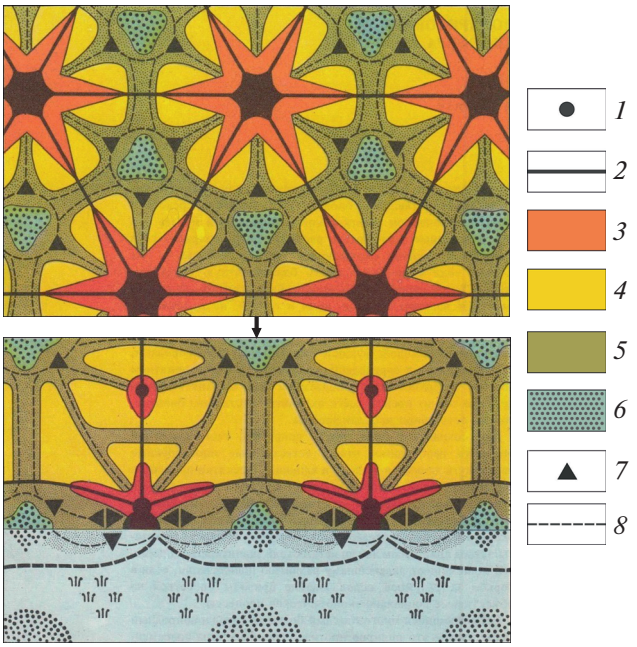

Рис. 1. Базисный чертеж. Универсальный сетевой поляризованный культурный ландшафт: на однородной равнине посреди континента и в прибрежных частях суши и моря (озера).
На суше (вверху): *1* – центры городов; *2* – утилитарные скоростные дороги; *3* – жилые районы с постоянным населением и обрабатывающей промышленностью, безвредной для окружающей среды; *4* – сельское хозяйство высокой и средней интенсивности; *5* – загородные природные парки для отдыха и туризма, экстенсивное сельское хозяйство (естественные сенокосы, пастбища, агрорекреационные угодья), любительская охота и рыболовство, лесная промышленность; *6* – природные заповедники; *7* – рекреационные поселения и жилища (дачи, отели, турбазы); *8* – туристские маршруты, дороги, тропы. На водной поверхности (внизу): аналогичные функциональные элементы (в том числе морские плантации и промыслы, акватории для купания и спорта, утилитарные и прогулочные рейсы), но их осуществимость с четкими границами менее вероятна.

Поселения, разрастаясь вдоль дорог, фактически разбивают территорию на клетки, слишком тесные для размещения необходимых элементов естественного ландшафта и обитания в нем достаточно многочисленных популяций диких животных. Надо не только заповедать уцелевшие уголки природы, но и соединить их широкими зелеными коридорами в единый массив, охватывающий всю сушу.

В ПЛ пересекаются две основные транспортные системы: 1) утилитарные дороги для спешащих людей и грузов с общественными деловыми центрами в урбанизированных узлах; 2) природные пути диких животных, сходящиеся к заповедникам. На каркас путей наращиваются функциональные зоны, в них встраивается третья сеть, добавочная – рекреационная, диагональная по отношению к прочим.

Концепция ПЛ учитывает российскую специфику и отличается от зарубежных проектов эконета. Основные отличия: 1) главными осями зеленых коридоров служат административные границы; 2) сохраняется преимущество общественного транспорта над легковыми автомобилями; 3) главное средство охраны природы – *относительно* плохая транспортная доступность.

Исходный картоид (см. рис. 1) предназначен для преобразований применительно к местным условиям. Так, в нижней части рисунка показан прибрежный вариант ПЛ. В дальнейших приближениях учитываются рельеф и гидросеть.

Возможность функционирования ПЛ в том виде, как он изображен в трех моих книгах (1999б, 2002, 2007) на базисном чертеже, зиждется на множестве явных и неявных постулатов и ограничена разнообразными условиями, совместная осуществимость которых далеко не очевидна. Я буду сравнивать некоторые элементы модели ПЛ с фактами и явлениями, наблюдаемыми в России в наши дни, а также с построениями из параграфов книги “Территориальные ареалы и сети” (Родоман, 1999б). Но это будет не пропаганда и защита моих схем, а наоборот, скорее их разрушение – возможно, для того, чтобы собрать снова.

ТРАНСПОРТ И РАССЕЛЕНИЕ В ПОЛЯРИЗОВАННОМ ЛАНДШАФТЕ

Транспорт – не вспомогательная отрасль хозяйства, обслуживающая неподвижные объекты, а кинематическая сторона бытия; формы расселения зависят от способов и средств передвижения людей – таковы постулаты, принятые при конструировании ПЛ.

В моем ПЛ резко различается транспорт двух типов. Первый тип – *утилитарный*, он служит для повседневного вынужденного перемещения, когда требуется довезти пассажира как можно скорее, а его контакт с окружающей средой необязателен и минимален. Второй тип – *рекреационный*, для удовольствия водителей и/или пассажиров в процессе передвижения. В моем проекте все люди постоянно проживают и занимаются необходимым трудом в зонах пешеходной доступности от остановок общественного транспорта. В ПЛ в первом приближении насчитывается четыре зоны: 1) зона повседневного существования и постоянного места жительства (ПМЖ), нанизанная на утилитарную транспортную сеть; 2) зона производственного использования ландшафта (в частности, это может быть сельское хозяйство); 3) зона рекреации с доминированием природного ландшафта; 4) природные заповедни-

ки, где животные и растения живут не для людей, а сами по себе, потому что имеют право на жизнь.

Общественный транспорт за пределами городов предполагается *дискретным*, т.е. таким, в котором посадка и высадка пассажиров возможны только в постоянных остановочных пунктах. При достаточно редком расположении, например, железнодорожных станций между ними сохраняются не обитаемые людьми зеленые промежутки. При экофобном *континуальном* транспорте, каковым являются автомобили, для сохранения природного ландшафта необходимы экодуки. Так, для восстановления московского природного парка “Лосиный Остров” надо МКАД покрыть крышей и на ней посадить лес. Узкие (короткие) экомосты не помогут – по ним будут ездить мотоциклисты и бегать толпы лыжников.

Общественный транспорт у меня отличается от приватного по экологическим критериям. Такси я не считаю общественным транспортом, потому что влияние легкового автомобиля на окружающую среду и на все параметры дорожного движения не зависит от того, кем приходится водитель пассажиру – наемным работником, приятелем или родственником, членом семьи, везет ли он за деньги или бесплатно.

В транспортной сети ПЛ все утилитарные дороги топологически радиальны, т.е. исходят из центров разного ранга. Из радиальных дорог складывается транспортная сеть в виде решетки – в идеальном случае (на простейших моделях) треугольно-шестиугольной или квадратной. Кольцевых и хордовых утилитарных дорог нет. Напротив, туристские дороги, как правило, могут и должны быть кольцевыми, хордовыми и диагональными.

Утилитарное пассажирское сообщение между пунктами, находящимися даже на соседних радиальных линиях, осуществляется только через центр. Поездка через центр с пересадкой в моей модели всегда быстрее и комфортнее, чем напрямик без пересадки. Для подавляющего большинства утилитарных поездок необходимо множество пересадок, но они совершаются без задержек и физически так же легки, как вход на эскалатор или с тротуара, платформы в низкопольный вагон. При такой транспортной сети сохраняются зеленые клинья и целостность эконета.

Централизованное транспортное сообщение изначально заимствовано мной из ситуации в Москве и Подмосковье советского времени. Это прежде всего метро, где между станциями, находящимися недалеко одна от другой, но на разных радиусах, быстрее получалось ехать под землей с одной пересадкой в центре, нежели медленным наземным общественным транспортом. В середине XX в. аналогичное положение распространялось на всю Московскую область. Так, из Можайска в Клин и из Шатуры в Коломну было удобно ехать на электричках с пересадкой в Москве. В наше время сильно, казалось бы, до абсурда, централизовано авиационное сообщение. Так, из Оренбурга в Волгоград и Казань, да и в любой аэропорт Сибири и Казахстана, надо лететь через Москву. В советское время бумажные письма из Челябинска в Свердловск шли через ту же столицу. С появлением новых, но, первоначально, очень редких сетей еще более быстрого наземного транспорта, например маглевов, такие “странные” пути будут проделывать и люди, и это учтено в моих моделях. Зачем отказываться от пересадок, если с ними – быстрее?

Ну, а теперь посмотрим, что происходит с наземным транспортом на самом деле. Автомобилизация полностью разрушает мою схему. Кольцевые и хордовые автодороги, а также дублеры радиальных автодорог окончательно дробят и стирают с лица Земли природный ландшафт. Под влиянием исторически сложившейся планировки старой Москвы чиновников охватила мания кольцевых дорог. Им мало переполненной МКАД и новой ЦКАД, они хотят строить дублер МКАД; тогда и от Лосиного Острова ничего не останется.

Для сохранения природной среды утилитарный транспорт людей должен быть общественным и дискретным. Легковой автомобиль обладает противоположными свойствами. Автомобилизация делает невозможным существование непрерывных зеленых клиньев, да и вообще всякого эконета. Прямое беспересадочное и бесперегрузочное транспортное сообщение каждой точки земной суши с каждой другой точкой невозможно, а постоянное и пока еще неуклонное приближение к этой абсурдной ситуации при помощи строительства все новых автодорог для биосферы разрушительно. Но именно эта убийственная тенденция сегодня преобладает.

ИЗОХРОННАЯ МОДЕЛЬ И МОНОЦЕНТРИЗМ

В моем ПЛ принята *изохронная модель* города. Он представляется строго моноцентричным, а его граница совпадает с изохроной доступности городского центра для всех жителей. В этой связи надо сослаться на фундаментальную работу Г.А. Гольца (1981). В согласии с ним я полагаю, что отдельный город, да и любое достаточно крупное единичное поселение есть ареал повседневной доступности некоторых жизненно важных объектов. Предполагается, что житель города может в течение дня посетить все необходимые ему места и вернуться домой ночевать. При одинаковом для всего человечества суточном ритме размеры и формы поселений зависят от способов передвижения людей. Если они только ходят пешком, то

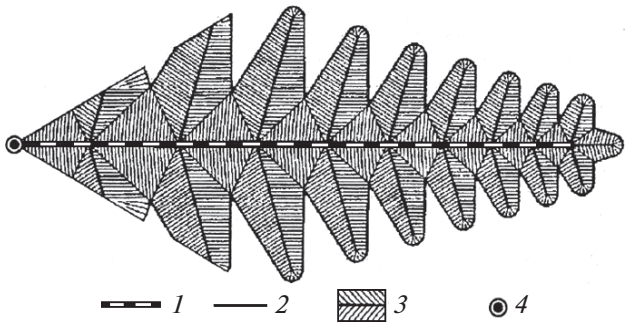

Рис. 2. Изохронный псевдолист (Родоман, 1999б, с. 91).
1 – Радиальная магистраль (дорога первого класса); *2* – субрадиали (дороги второго класса) и граница ареала (граничная изохрона); *3* – пути сообщения третьего класса (в том числе скорейшие проходы по бездорожью), границы сектора и субареалов; *4* – центр ареала.

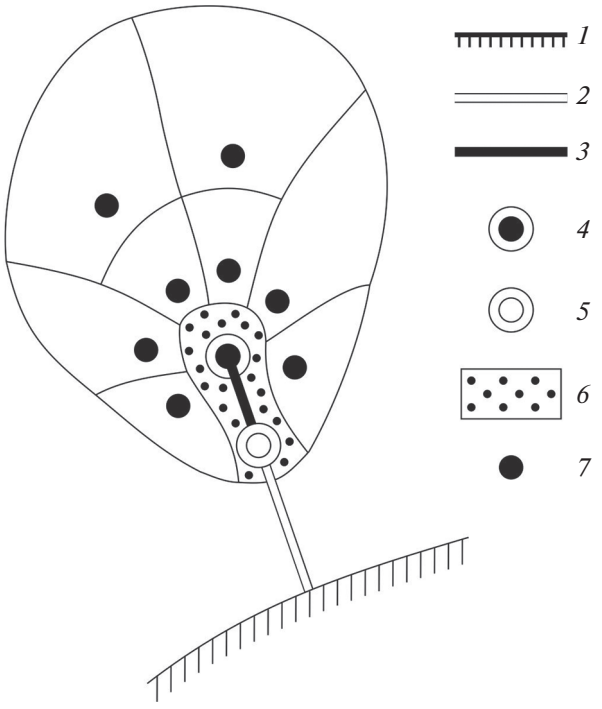

Рис. 3. Веерный узловой район (Родоман, 1999б, с. 156).
1 – Базис, *2* – стебель, *3* – стержень, *4* – центр района, *5* – аванцентр, *6* – ядро, *7* – центры подрайонов.

поселение имеет компактную форму, в идеале (на однородной равнине без водоемов) – круглую. Если выделяются главные дороги, допускающие более высокую скорость передвижения и притягательные для размещения многих объектов, то круг преобразуется в *урбоцентрическую розетку*. Такой розеткой, сформированной пригородными поездами, была и Московская агломерация в середине XX в. Между лопастями розетки сохранялись лесистые зеленые клинья.

Чтобы показать зависимость контура города от способов передвижения людей и возможность сохранения негородских пространств для зеленых клиньев, я построил *изохронный псевдолист* (рис. 2) – модель одного лепестка урбоцентрической розетки.

Применены два вида транспорта, различающиеся по скорости (один главный путь и множество местных), и пешая ходьба. Для дорог разного ранга вычислены *оптимальные углы примыкания* (само это понятие "открыто" при ходьбе на лыжах, когда со снежной целины выбираешься на хорошую лыжню). Полный моноцентризм и полная изоляция ареала от внешней среды – достаточно сильные, но по сравнению с реальностью – фантастические допущения. Это единственная математическая модель в моей "теоретической географии". Подставляя в псевдолист разные способы и скорости передвижения, мы, между прочим, получим разнообразные формы листьев растений. Лист – транспортная система, веерный узловой район (рис. 3). Вероятна применимость этой модели за пределами географии.

Оранжевые зубцы и лепестки на рис. 1 – ипостаси изохронного псевдолиста, но они не вычислены, а нарисованы по художественному воображению. Шестиконечность звезд объясняется плотной упаковкой кругов на плоскости (каждый круг соприкасается с шестью соседними). Треугольно-шестиугольная сеть дорог и поселений на однородной равнине наиболее естественна и формируется стихийно; такой была и сеть грунтовых проселочных дорог в Центральной России до середины XX в. Прямоугольная сеть более искусственна, но она и полустихийно образуется в случае примыкания коротких местных дорог к главным, коротких переулков к длинным улицам, а также многих дорог к берегам и прочим ландшафтообразующим линиям. Источник прямоугольности в культурном ландшафте – прямоугольные (в плане) формы домов и земельных участков. В прямоугольном варианте сохраняются и остаются топологически прежними все элементы ПЛ (см. нижнюю, приморскую, часть рис. 1).

Изохронная модель города, едва родившись, сразу начала устаревать. Единичный город, окруженный слабо застроенной сельской местностью – уже редкость в наши дни. Обычны агломерации городов (и негородских поселений), нередки агломераты агломераций – мегалополисы. Фактические (физические) границы поселений неуловимы. Критерии отличия городских поселений от негородских тоже неясны – не есть ли это пережиток феодализма, когда разные поселения имели различный правовой статус? Моноцентричные поселенческие структуры, сложившиеся вокруг крепостей, замков, дворцов, усадеб, храмов,

рынков, фабрик, уходят в прошлое. Как это отразится на моих схемах, пронизанных моноцентризмом?

УСЛОВНАЯ ОДНОРОДНОСТЬ И ДИСКРЕТНОСТЬ

По-разному раскрашенные ареалы на базисном чертеже ПЛ (см. рис. 1) суть *условно однородные типологические районы*. Представление об их однородности – продукт мысленной генерализации. “На самом деле” и при более крупном масштабе они могут быть изображены как сложные территориальные комплексы, содержащие многие или даже все зоны ПБ. Так, в оранжевом ареале условно сплошной городской застройки имеются свои зеленые зоны парков и скверов, а в желтой зоне интенсивного сельского хозяйства – свои центры в виде поселений и зеленые коридоры хотя бы в роли полезащитных лесополос. Иными словами, цвет ареала показывает его не единственную, а преобладающую функцию.

Количество функциональных зон ПБ тоже не предопределено – оно может быть любым. Все зоны поддаются разделению на подзоны по степени урбанизации и строгости природоохранного режима. На моих картоидах показано минимальное число зон, достаточное для наглядной демонстрации идеи.

Границы функциональных зон должны быть или являются, в натуре или в воображении, резкими или постепенными? По-видимому, возможно и то, и другое. Мой методологический выбор – это дискретность, и он не случаен. Мое *дискретно-иерархическое* представление о мире формировалось под влиянием советского административно-территориального деления (АТД). Но, думается, не только мое. В грандиозном многоступенчатом индивидуальном физико-географическом районировании мира у советских географов выделялись природные страны, области, провинции, округа.

Районирование в моем понимании – это дискретное отображение среды, которая может быть континуальной и/или дискретной в разной степени. Дискретизация необходима для понимания и, в частности, для вербализации – привязки расплывчатой массы вещей и явлений к словам (понятиям, терминам), а также для принятия решений. Районирование – способ овладения пространством (*divide et impera*) (Родоман, 2017б[2]). Аналогичны роли периодизации по отношению к времени, а классификации – к набору вещей (Родоман, 2007, с. 212).

В постиндустриальной эре, в эпоху постмодернизма, в атмосфере постнауки и прочих модных “постизмов” все эти рассуждения, возможно, покажутся наивными, примитивными, отжившими. Ну, что ж, будем рассматривать ПБ как объект истории отечественной науки – той географии, которая развивалась в СССР в середине XX в.

СМЯГЧЕНИЕ КОНТРАСТОВ И БУФЕРНЫЕ ЗОНЫ

Моя ПБ – это *функциональное зонирование* для защиты уязвимых компонентов ландшафта от агрессивных; у меня все зоны, кроме крайних (полярных), являются *буферными*, охранными – для предотвращения или смягчения пагубного соседства. В моей модели небоскреб не может стоять рядом с естественным озером и натуральным лесом – между ними должны быть промежуточные зоны малоэтажной застройки и рекреационного “парка культуры и отдыха”. Но что мы видим в наши дни? Реклама предлагает именно такое дьявольское соседство новостроек с парком и заповедником; жилые комплексы вставляются в лесные массивы. Охранные зоны природных и культурных объектов не соблюдаются.

Вместе с тем опыты удачного сосуществования городской инфраструктуры с “дикой” флорой и фауной имеются. Таков, например, Wetland Park в Гонконге, окруженный небоскребами не только этого города, но и соседнего, более громадного Шэньчжэня. Результат рекультивации пустырей и болот ныне смотрится как дикая природа, стал местом зимовки и важной станцией для перелетных птиц.

Значит, все зависит от поведения людей. Если агрессивные компоненты (люди, машины, здания, сооружения) станут более экофильными, то им можно разрешить приблизиться к менее защищенным, уязвимым существам. Получается, что ***минимальный допустимый размер спектра зон обратно пропорционален высоте уровня экологической культуры*** (примем это высказывание не как точную математическую формулу, а как метафору). На экологическом профиле, отражающем степень урбанизации, не должно быть обрывов и пропастей; во избежание обрушения надо соблюдать *угол естественного откоса*.

ЭТИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И ФИЛЬТРЫ

Пребывая в разных пространствах, одни и те же люди ведут себя по-разному. Тяга к образу жизни более дикому, архаичному, менее цивилизованному – важный компонент выездной рекреации. Рекреационным поведением компенсируется ущербность повседневного городского образа жизни, восполняется недостаток желанных ролей и занятий. В моих проектах это учитывается. Функциональные зоны ПЛ – это ареалы различного поведения людей, с разными ролями. На

[2] In References: (Rodoman, 2018).

смену городской одежде вместе с походным туристским снаряжением приходит невидимая одежда духовная – новое, более сакральное отношение к природе. Перемещаясь от городского полюса к природному, человек дезурбанизуется и рурализуется. Он открывает в себе и запускает роли, поступки, ощущения, присущие, как ему кажется, другим профессиям и сословиям, иным этносам и своим предкам.

Границы функциональных зон, по моему замыслу, суть механические и *этические фильтры*, в которых отсеиваются личности, роли и вещи. Природоохранные нормы и правила, кажущиеся чрезмерным ограничением свободы, – вершина айсберга; его подводная часть – огромное количество запретов, которые мы всю жизнь соблюдаем по привычке, фактически признаем и о них редко вспоминаем. Биосфера – не имение, не мастерская, не ферма людей, а жилище множества живых существ. Человек – не хозяин над другими животными, а их *ответственный сожитель*. Для комфортного созерцания прекрасных пейзажей и для общения со многими животными и растениями нужны благоустроенные природные парки, но в настоящих заповедниках массовым посетителям делать нечего. Не тронутые, не посещенные, не застроенные, не проданные земли – это даже с примитивной экономической точки зрения суть сокровища, ценность которых постоянно растет.

СТИМУЛЫ, УПРАВЛЕНИЕ, РАЗМЕЩЕНИЕ

В ПБ симбиоз человека с животными и растениями должен быть основан на медико-биологических нормах и на постулатах гуманизма и здравого смысла. В этой связи пригодны следующие главные инструменты стимулирования и управления деятельностью людей.

1. Воспитание с детства. Путешествия, походы, физический труд “на лоне природы” должны стать обязательной частью всеобщего начального образования. Увы, экологическое воспитание в школе оставляет желать лучшего. Активный и творческий туризм в образование не внедрен. Хорошей начальной школы, которая готовила бы к полноценной жизни, а не к следующей ступени образования и карьеры, в России нет.

2. Средства массовой информации (СМИ) – главные инструменты быстрого перевоспитания взрослых людей – показали свою силу и мощь в двух сферах: а) политическая пропаганда при авторитарных режимах; б) реклама при рыночной экономике. В руках государства социального и служебного СМИ могли бы применяться в благих целях, но они недостаточно используют свои возможности для экологического и гуманистического воспитания, а во многих отношениях превратились в средства массового оболванивания.

3. Привлекающе-отвлекающее ландшафтное планирование. Заимствовано у архитекторов. Наличие разнообразных зданий и сооружений и их размещение наделяется способностью непосредственно влиять на людей. Скамейка приглашает присесть, озеро зовет искупаться; удобные тропинки, площадки и беседки для пикников избавляют от необходимости ломиться под полог леса и продираться через бурелом. После приватизации 90-х годов XX в. российские архитекторы отказались от своей гуманистической миссии, они кинулись обслуживать частных заказчиков и отвернулись от общественных пространств. Ландшафтная архитектура ушла с площадей и улиц и спряталась за высокими заборами и стенами на земельных участках вокруг коттеджей и вилл.

4. *Транспортная политика* – экофильная организация всех видов передвижения людей. Это важнейший и специфический инструмент устройства биосферы в моих концепциях, наименее известный, должным образом не понятый и не оцененный. Но внятной транспортной политики нет, как нет известности и у самого этого понятия. Многие проблемы осознаны (Вучик, 2011), ренессанс общественного рельсово-балочного транспорта начинается, но автомобили и автодороги по-прежнему уничтожают биосферу.

Традиционная экономическая мысль то и дело напоминает о преимуществах и необходимости полного и равномерного использования и размещения ресурсов во времени и пространстве. Я придерживаюсь противоположной точки зрения. Почти все население и всякая деятельность людей должны быть сосредоточены в центрах, транспортных узлах и у входов в веерные узловые районы (см. рис. 3), а по мере удаления от них убывать, как уменьшается с высотой плотность воздуха и атмосферное давление. Всемерная концентрация населения в гигантских городах необходима для восстановления и сохранения природного ландшафтного покрова с его животным и растительным миром.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ТРУДНОДОСТУПНОСТЬ И ВНУТРЕННЯЯ ПЕРИФЕРИЯ

Из личного опыта долгой жизни в нашей стране я пришел к выводу, что главным, если не единственным, надежным способом сохранения природного ландшафта была и остается его *плохая транспортная доступность*. В СССР в середине XX в. весьма немногие семьи владели личными автомобилями, да и приличных дорог для автотранспорта было слишком мало. Но о какой труднодоступности можно говорить в наши дни, когда сеть дорог с твердым покрытием сгустилась, имеются автомобили-внедорожники, снегоходы, вертолеты?

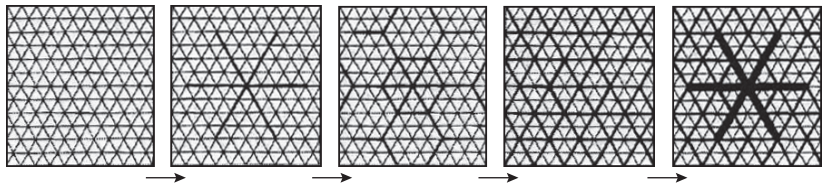

Рис. 4. Цикл эволюции транспортных сетей (Родоман, 1999б, с. 165).

Для защиты того или иного клочка земли от нарушения и беспокойства массами пришельцев нужна не столько абсолютная, сколько *относительная труднодоступность* – чтобы проезд и проход туда был или казался значительно более медленным, долгим, трудным, дорогим, непрестижным, неизвестным, неинтересным по сравнению с удовлетворением аналогичной миграционной потребности в местах более городских, центральных, столичных, комфортных. Конечно, надо, прежде всего, воздерживаться от строительства новых автодорог, рассекающих и дробящих ландшафт. Но общее искусственное и кажущееся обывателю злонамеренным ухудшение транспортной ситуации для охраны природы не обязательно.

Относительная труднодоступность возникает не от регресса транспорта, а от его прогресса. Она появляется, когда на густую сеть старых дорог накладывается новая транспортная сеть – более скоростная, но, на первых порах, очень редкая (рис. 4). Этот эксперимент уже провела история нашей страны, и нам негоже его игнорировать.

Примерно до конца XIX в. территория европейской части России была более изотропной, чем в наше время. Летом на фоне пресловутого бездорожья с ужасными распутицами грузовое сообщение кое-как поддерживалось баржами и лодками даже на малых реках, но настоящим сезоном для хозяйственного транспорта и торговли была зима. Когда на бесконечно густую сеть зимних санных путей наложилась редкая, но мощная сеть железных дорог, города и села, оказавшиеся вдали от железнодорожных станций, сразу стали отставать в своем развитии и пришли в упадок, отчасти продолжающийся до сего дня. Российскую сельскую глубинку не спасла автомобилизация: лошадь, лишь отчасти замененная машинами (не для езды, а для полевых работ), была экспроприирована и истреблена как кулацкое животное, а автодороги с автомобилями и автобусами не успели дойти до умиравшей деревни. В ячейках редкой железнодорожной и автомобильной транспортной сети образовалось то, что мы теперь называем *интрапериферией* (Родоман, 2002, с. 79), или *внутренней периферией* (Каганский, 2012[3]; Родоман, 2012).

Заповедные сине-зеленые ядра природного ландшафта на схеме ПЛ – это внутренняя периферия страны, региона, микрорайона. Для ревитализации и эконетизации какого-либо участка территории желательна *интрапериферизация* – низведение географического положения до статуса внутренней периферии. Это достигается не волюнтаристским насилием над сельской местностью, а дальнейшей концентрацией населения в крупных городских агломерациях, соединенных высокоскоростным транспортом.

Социально и экономически “упадочные” места не нуждаются в обязательном вторичном освоении, они могут быть возвращены природе. Это и происходит в лесной и в условно лесостепной зонах европейской части России, на примере которых формировалась моя концепция ПЛ. В масштабе всей ойкумены бóльшая часть России видится как внутренняя или внешняя периферия, подходящая для сохранения дикой природы (Родоман, 2016).

Мне кажется, что “относительная труднодоступность” является самым экзотическим аспектом ПЛ; что это явление/понятие никем еще не усвоено и не оценено в должной мере. Может ли оно в действительности быть мощным инструментом охраны природы в наше время?

ПРИРОДА В ОБЪЯТИЯХ ГОРОДА

В моих сочинениях слова “природа” и “охрана природы” употребляются так, как будто всем известно их точное значение, и будто я сам знаю, что это такое. Попыток разъяснения данных терминов у меня нет. Постулируется равноценность городского и природного полюсов биосферы. Они равноценны для меня, потому что мне нравятся в одинаковой мере. Но разделяют ли эти симпатии мои коллеги, да и все остальное человечество?

Впрочем, и сам я не уверен, что люблю дикую природу “по-настоящему”. Я – стопроцентный горожанин, всю жизнь пленник квартиры в многоэтажном доме. Мои контакты с “дикой” природой были очень кратковременными и ограниченными, моя романтическая и преимущественно дистанционная любовь к ней не подкреплена кропотливым трудом исследователя, полевого ра-

[3] In References: (Kaganskii, 2013).

ботника, натуралиста или, хотя бы, достаточно длительным обитанием в роли отшельника-робинзона.

В модели ПЛ слабо выражена среда, промежуточная между городским и природным полюсами – сельская местность, хотя в других моих работах она рассматривается. Я в молодости не любил русскую деревню, но ностальгически полюбил ее как вид культурного ландшафта в конце XX в., когда она уже во всю исчезала (Родоман, 2015).

Понятие "равноценности" природы и города у меня дополняется и даже подменяется понятием "равноправия". На базисном чертеже ПЛ (см. рис. 1) города окружены природным ландшафтом, а особо охраняемые природные территории (ООПТ) – городами, т.е. с топологической точки зрения располагаются справедливо. Но если взглянуть на утилитарную транспортную сеть, то получается, что "природа" ею рассечена и опутана. Активный партнер (город) и пассивный (природа) не равносильны; город на самом деле выступает как хищник, а природа – как жертва. ООПТ в плену у городов – это уже не заповедник, а зоопарк, если не зверинец – тюрьма для животных, больных соматически и психически. Защищаемая и охраняемая природа похожа на обвиняемого, которому адвоката подобрал прокурор. Заповедник, если его выявленное и научно нормированное естественное состояние постоянно нарушается и с большим трудом восстанавливается и поддерживается людьми – это объект антропогенный, искусственный, как и город.

В 1970-х годах я думал, что сохранение биосферы необходимо, прежде всего, самим людям для выживания. Впоследствии под влиянием украинского эколога В.Е. Борейко я склонился к более радикальной точке зрения: животные и растения имеют право на жизнь независимо от интересов людей (Борейко, 2002). Потребительскую любовь к природе я не уважаю, к экологическому туризму отношусь скептически.

HOMO SOVETICUS ET POSTSOVETICUS

Обитатель ПЛ – *Homo soveticus*, облагороженный и осчастливленный Б.Б. Родоманом. Облагорожен в том смысле, что ему приписаны такие хорошие, явно не низменные потребности, как общение с природой и активный туризм. Осчастливлен тем, что для его здорового образа жизни предусмотрены специальные ареалы – функциональные зоны.

Отношение автора к его герою двойственно, противоречиво и парадоксально. Где-то я отождествлял себя с "советским простым человеком", а где-то стоял над ним как демиург. Я мысленно чувствовал себя архитектором, который хотел бы, но не может жить в прекрасном дворце, спроектированном им для богача; но и не собирается жить в микрорайоне, предназначенном для "простого народа".

Принятый мною за эталон "средний трудящийся" работает пять дней в неделю, а в течение дня пребывает в учреждении или на предприятии восемь часов. К месту работы он добирается на транспорте, почти всегда общественном, тратя на дорогу примерно час, а то и полтора (в один конец). Остальное время считается свободным, или досугом. Различается досуг 1) повседневный – вечером, после рабочего дня; 2) в конце недели – в выходные дни; 3) ежегодный – во время отпуска. Этому регламенту соответствовала механическая теория рекреации: человек на работе теряет силы, а на досуге восстанавливает. Трудящийся не до конца отдыхает вечером, усталость продолжает накапливаться, ее бóльшую часть он снимает в выходные дни, но окончательно – только во время отпуска. Отсюда и два вида рекреационных маятниковых миграций – ближние еженедельные и дальние ежегодные.

Инженеры и архитекторы, проектирующие жилье, транспорт и прочую сферу обслуживания для населения, а также курирующие их чиновники сами, как правило, этими благами не пользуются. Проектировщик жилого микрорайона вряд ли мечтает жить в одной из его малогабаритных квартир. Мэр города, открывающий новую линию метро или трамвая, проедет на нем одну остановку в присутствии журналистов, но в повседневной жизни пользоваться не будет. Не находился ли в аналогичном положении и я, проектируя ПЛ? Вероятно и отчасти – да. Ведь сам я, мысленно уподобляясь инженерам и архитекторам, не вел образа жизни, типичного для "средних трудящихся", а как бы ставил себя над ними. Я не пользовался площадками и устройствами для стационарного отдыха и программно-процедурного оздоровления, не рвался в дома отдыха и санатории. Я занимался только любимым делом и поэтому у меня не было различия между работой и отдыхом.

С другой стороны, в проектах ПБ заметно мое желание сохранить для себя ландшафт, в котором прошла моя молодость, и чувствуется моя принадлежность к субкультуре советского походного туризма. Воображаемые объекты моих забот выглядели москвичами моего социального слоя, но более связанными так называемой работой. Они, как и я, не имели автомобиля и дачи, любили прогулки, походы, путешествия, а стационарный отдых презирали.

К концу советского периода большинство городских семей в нашей стране имели в сельской местности садово-огородные участки, все более использовавшиеся как места для второго, летнего жилья. В моем ПЛ этот вид землепользования и расселения игнорировался, хотя в моих публици-

стических статьях его критике уделено немало страниц. Мое негативное отношение к СНТ не означало, что я отрицал всякую полезность их образа жизни и занятий. Я возражал против неправильного, экофобного размещения новых поселков – на элементах экологического каркаса – лесных полянах, поймах, даже на осушаемых болотах. Колхозы, совхозы и лесхозы охотно избавлялись от неудобий, мешавших выполнять план, но такое порочное размещение, вызванное особенностями советской командно-административной системы, было унаследовано и в постсоветское время новыми коттеджными поселками.

По моим представлениям, загородные поселки горожан должны развиваться на основе существующих или недавно исчезнувших сельских поселений, продолжая и развивая их улично-дорожную сеть и квартальную структуру. Фактически же все это коттеджное и дачное строительство разрушило традиционный сельский ландшафт и перерезало, прервало все пешие и лыжные туристские маршруты.

Моя ПБ – пульсирующее поле маятниковых миграций (Родоман, 1999, с. 65; 2002, с. 31). Мои проекты предусматривали очень высокую подвижность людей, постоянно живущих в многоэтажных домах. Общение с природой предполагалось не столько стационарное, на дачах и пляжах, сколько мобильное, в походах и путешествиях. Благодаря скоростному транспорту в сферу повседневной доступности в конце концов включалась не только своя городская агломерация, свой мегалополис, но и отдельные точки на разных сторонах земного шара (без внутренней периферии, отведенной дикой природе). Однако сегодня я уже не ощущаю себя таким рьяным сторонником концентрации жителей в гигантских городах-зданиях. Изменилось, стало неоднозначным и мое отношение к туризму.

В 1970 г. туризм всех видов во всех странах казался безусловно положительным явлением, благородным занятием, оздоровляющим и возвышающим физически и духовно; но сегодня он таковым не выглядит. Избыточным туризмом разрушаются природный ландшафт и городская среда, многие достопримечательности, все культурное наследие.

Резкое разделение деятельности утилитарной и рекреационной, времени рабочего и свободного, мест жительства постоянных и временных характерно для индустриальной эпохи преобладания наемного труда и засилья канцелярских служащих. В наши дни дистанционный, надомный труд за компьютером должен привести к значительному уменьшению ежедневных поездок на работу. В современной России весьма востребован труд охранника в виде суточных дежурств, чередующихся с тремя выходными днями, нередко заполненными производительным трудом в домашнем хозяйстве и в теневом секторе товарной экономики.

Повседневная подвижность людей тоже зашла слишком далеко. Ежедневные рутинные трудовые и бытовые маятниковые миграции стали тяжелым бременем для человека и биосферы. От них избавляются разными способами: удаленной (дистанционной) работой за компьютерами, обменом рабочими местами, суточными дежурствами, ночлегом в офисах и мастерских и т.п. Коронавирус помог быстрому и массовому внедрению нового порядка, который раньше практиковался редко.

Если такие важные явления и соответствующие фундаментальные понятия, как труд, занятость, рабочее место, рабочее время, постоянное место жительства и т.п., стремительно размываются и обессмысливаются на наших глазах, то как быть с территориальными ареалами, которые на этих вещах основаны?

ОХРАНА ПРИРОДЫ И ЧАСТНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ

Если ПЛ – программа ландшафтного планирования, то при каком общественном строе, при какой экономической системе оно возможно? С той системой, которая существует в нашей стране сейчас, охрана природы и экологичное ландшафтное планирование вряд ли совместимы. Идея ПБ родилась в СССР в 1970 г., когда вопрос о другом общественном строе не стоял. Вероятно, требуется какой-то “социализм с человеческим лицом”, не отягощенный коррупцией и милитаризмом, или социальное государство скандинавского типа, в котором простые люди живут без мучительного надрыва и постоянных жалоб и проклятий, без ожидания, что кто-то извне и сверху улучшит их жизнь.

Я выступаю против неограниченной частной собственности на землю. Если собственность – толстый пучок прав и обязанностей, то лучше это понятие распаковать и рассматривать его элементы по отдельности, решая, что можно или нельзя делать в каждом конкретном случае. По моим представлениям, допустимая степень приватности в обладании земельным участком должна зависеть от его положения в природном ландшафте. Наиболее частными и автономными по отношению к государству и его законам могут быть компактные участки земли определенного диапазона размеров, расположенные на почти горизонтальных площадках, на пологих слабо выпуклых склонах, на достаточном расстоянии от водоразделов и тальвегов. Водоразделы, вершины холмов и тальвеги, все природные экстремальные точки и линеаменты ландшафта должны находиться в общественной собственности разного уровня.

Это особенно относится к гидросети. Так, малые ручьи могут пребывать в муниципальной собственности, малые реки с их поймами – в региональной, средние течения больших рек – в общегосударственной (в России – в федеральной) собственности и т.д.; озеро Байкал, Мировой океан и Антарктида – под международным контролем.

С точки зрения экологии любой дележ между конкурирующими собственниками, владельцами и пользователями земли, биосферы, природных ресурсов нежелателен, потому что приводит к их уничтожению. Объектами земельного кадастра должны стать мелкие морфологические единицы природного ландшафта, например фации по Н.А. Солнцеву (Морфологическая..., 1962), а степень их приватизации должна определяться по положению на гидрогеоморфологическом профиле, или, что почти то же самое, на ландшафтно-геохимическом профиле А.И. Перельмана (1961).

ПРОЕКТ, ПРОГНОЗ ИЛИ ФАКТ?

В нашей стране экофильный ПЛ – не только утопический прожект вроде города-сада Э. Говарда (Гоуард, 1911), но и обширная реальность. *Ревитализация* ландшафта происходит в российской глубинке, т.е. во внутренней периферии: поля зарастают лесом, туда возвращаются дикие животные. Наблюдается стихийная *эконетизация* административных границ: они превращаются в желанные зеленые коридоры. Это важная особенность России, отсутствующая в Западной Европе.

Спонтанная ревитализация ландшафта – явление хрупкое, она нуждается в поддержке людей и может быть легко уничтожена государственными мероприятиями, например программами возрождения села или реформой АТД. У нас оно, к счастью для животного мира, пока очень консервативно, без существенных изменений в части регионов с 1943 г., но так будет не вечно.

Я подхватываю тезис В.Л. Каганского, что культурный ландшафт России – результат взаимодействия с природой не общества, а государства. В.Л. Каганский утверждает, что ландшафт у нас не природно-культурный, а природно-государственный, точнее – *природно-имперский* (Каганский, 2009). Я бы добавил, что природа – не только жертва государства, но и справедливый мститель (стихийные бедствия) (Родоман, 2005).

ЛИЧНОСТНЫЕ АСПЕКТЫ И ПОРТРЕТ ПОДМОСКОВЬЯ

В наши дни модно рассуждать о личностном характере даже точных наук, основанных на объективных исследованиях: некоторые важные выводы и теории оказываются тесно связанными с биографией ученого. Но в гуманитарных науках и философии это не новость, а правило. Многие учения и политические режимы – продукты детства и личной жизни их авторов и вождей.

В детстве я чертил многоконечные звезды, раскрашивал их контуры, а также черно-белые карты в Малой советской энциклопедии. Истоки моей *контурно-фоновой* живописи – рисунки Уолтера Диснея в книге “Три поросенка” (1937). Я как художник не поднялся выше уровня трехлетнего ребенка, овладевшего раскраской, но на этом уровне я двинулся вбок и создал свой жанр изображений.

ПБ претендует на универсальность и глобальность, но она выросла на очень небольшом, хотя и весьма значительном, участке земной суши. Это портрет Подмосковья, а при дальнейшей детализации – его западный сектор; еще уже – межрадиальный сектор между Рижской и Ленинградской железнодорожными линиями (Родоман, 2002, с. 40). Поперек сектора тянулся Великий лыжный путь Малино – Аникеевка. Прототип биссектрисы – Пятницкое шоссе как рекреационное. Кстати, на одном из рисунков, дополняющих общую схему, изображена река, и она представляется мне как Истра!

Теснейшая привязка ПЛ к Подмосковью очевидна. Мне кажется, что такая схема не могла бы родиться в голове даже у жителя Петербурга, не говоря уже о Красноярске, Иркутске и Оренбурге, потому что вокруг этих городов нет такой густой и полной сети радиальных дорог. ПЛ – во многом картина “Подмосковья, которое мы потеряли”. Речь идет не только о многих гектарах, занятых садовыми товариществами и коттеджными поселками. Утрачены возможности для разветвленного эконета внутри городских агломераций; природные угодья смертельно расчленены автодорогами. Для всего постсоветского периода характерно уничтожение линеаментов – транспортных коридоров, потенциальных каналов передвижения вещей и информации; жадный и мелочный захват и застройка переулков, проездов, полотна разобранных железных дорог.

Даже Москву 1960 г. в рамках только что построенной МКАД можно было еще обогатить сетью зеленых диаметров, колец и клиньев. Соответствующая картосхема затерялась в моем архиве, но словесное перечисление элементов желательной зеленой сети опубликовано (Родоман, 2002, с. 216–217).

В моем знакомстве с земным шаром выявляется некоторый парадокс. Я в советское время объездил весь СССР, кроме Северо-Восточной Сибири, а в постсоветское время посетил несколько десятков зарубежных стран. Поэтому предполагается, что хоть по крупице я из каждого путешествия для теоретической географии что-то вынес. Но моя ПБ и моя теоретическая география в

сильнейшей степени отражают только Центральную Россию и Подмосковье. В моих схемах не видна Сибирь, не говоря уже обо всем юге России и Кавказе. В оправдание скажу, что крупномасштабным исследованием, ощущением и мониторингом одиночный наблюдатель может охватить только небольшой регион, постоянно и многократно посещаемый. Только на ключевом участке можно соединить пространство с временем. Поэтому в рассуждениях о ландшафте и городской среде мне далеко выйти за пределы Москвы и Центральной России не удалось.

Если паранаучная концепция или социальный прожект по своему происхождению настолько ограничены локально, темпорально и персонально, то не есть ли это некий мыльный пузырь, который должен лопнуть после ухода автора и его непосредственных учеников и последователей?

Для меня утешением служит сравнение с Иоганном фон Тюненом. Карл Маркс глумился над ограниченностью схемы Тюнена, отказывал ей в праве на широкую применимость: какой-то помещик, какое-то имение Теллов в Мекленбурге. Но ограниченным в оценке тюненовского феномена оказался сам Маркс. Квазитюненовская модель получилась универсальной, хотя стала такой лишь более века спустя.

Как известно, кольца Тюнена – это один из источников ПБ. В моем сетевом ПЛ соединены и трансформированы как минимум две квазитюненовские модели – *урбоцентрическая* (вокруг центров городов) и *натуроцентрическая* (вокруг ядер природных заповедников). Присутствие в геноме ПБ тюненовских генов внушает робкую надежду, что и моя модель будет такой же живучей, продуктивной и многоаспектной.

ПОЛЯРИЗОВАННАЯ БИОСФЕРА И ГОРОД БУДУЩЕГО

В конце 40-х годов, будучи подростком, я мечтал: для ликвидации жилищного кризиса в Москве хорошо бы построить один гигантский дом на миллион жителей, в стиле сталинских высоток, в том числе так и не построенного Дворца Советов, расчлененный и многобашенный, на Сукином болоте (правая сторона Волгоградского проспекта, не доезжая до станции Текстильщики – там разместили Автозавод имени Ленинского комсомола (АЗЛК), ныне Renault).

Новую пищу для фантазии дало мне знакомство с проектом Паоло Солери в журнале “Америка”. Другой интересный проект был описан в журнале “Наука и жизнь”. Затем у меня появилась и книга Мишеля Рагона “Города будущего” (1969). На первом чертеже моей ПБ города будущего присутствовали.

Объемно-пространственная линия ПБ не угасла, а преобразовалась в новую концепцию: “Урбанизация аналогична эволюции растительного покрова”. Небоскребы растут вверх, соединяются мостами, ветвятся, а их корни срастаются через подземные коммуникации. Изображающий это профильный чертеж сохранился (Родоман, 2002, с. 65). Такую тенденцию развития небоскребов я уже в натуре видел в Куала-Лумпуре, Гонконге, Макао.

Как видите, мои представления о ПБ были сначала не только плоскостными (двумерными), но и объемными (трехмерными), а для изображения применялся и вид сбоку – разрез, профиль. Мои чертежи – не только картоиды, но и *профильоиды*.

ПОЛЯРИЗОВАННАЯ БИОСФЕРА В НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ ЖУРНАЛАХ

Моя ПБ получила широкую известность в узком кругу профессиональных географов благодаря публикациям в научных журналах и сборниках, но изначально она предназначалась для научно-популярного журнала. Когда в конце февраля 1970 г. я, стоя на лыжах в Лосином Острове, испытал это озарение, я мечтал украсить обложку журнала “Знание – сила”. И статья о ПБ в этом журнале все же появилась, впервые – в 1973 г., но не в моей статье, а в интервью Т.А. Чеховской с А.Д. Армандом “География: Три парадокса нынешнего дня”, тираж 500000 (География..., 1973). Там уже был и переделанный художниками мой главный картоид, а описанию моей модели уделено 1.5 тыс. знаков. Эта часть текста, вложенная в уста А.Д. Арманда, была целиком написана мною по его просьбе. Ну, хоть так. Первая полная публикация моей статьи “Поляризованная биосфера” в научно-популярном издании состоялась в 1975 г. (Родоман, 1975). Это был родной для меня ежегодник “Земля и люди”, возникший в Географгизе в 1957 г.

Осенью 1981 г. одна студентка-вечерница, слушавшая на геофаке МГУ мои лекции о науке, сказала, что у нее есть связи в журнале “Юный натуралист”. Я написал на тему ПБ статью “Где жить медведям?”. Мой ответ был простой: “В медвежьих углах!”. Так отныне назывались точки стыка трех административных регионов. Старое выражение у меня стало научным термином (это не шутка!). Специально для юных читателей я нарисовал новый, упрощенный вариант базисного чертежа ПЛ. Урбоцентрические розетки были не угловатыми, а округлыми, похожими на цветы. Статью девушка отнесла в редакцию журнала, но никакого ответа оттуда я не получил.

Вторым научно-популярным журналом, опубликовавшим мою ПБ (Rodoman, 1982), тоже в

многокрасочном виде, стал эстонский “Eesti loodus” (“Природа Эстонии”).

В последней четверти XX в. я уже сам некоторое время подвизался в качестве внештатного корреспондента журнала “Знание – сила”, и в 1992 г. моя статья о ПБ наконец-то была в нем опубликована. Эта публикация оказалась бледной в прямом и переносном смысле слова: рисунок мелкий и тусклый, а текст пронизан оговорками и сомнениями, и заглавие унылое “Похороненная утопия или сбывшийся прогноз?” (Родоман, 1992). Кто-то даже упрекнул меня, что я от своего проекта отрекся. Я не отрекся, но сомнений стало больше. Мир неузнаваемо изменился за 20 лет. Оптимистический футуризм был теперь не в моде.

В КАЧЕСТВЕ ЗАКЛЮЧЕНИЯ?

Моя ПБ в мировую англоязычную науку не вписана, она за рубежом не известна, как не известна и вся моя “теоретическая география”. В советское время несколько моих статей было переведено и напечатано в США в журнале Soviet Geography [например, (Rodoman, 1968, 1983)], но ПБ среди них нет. Важнейшие особенности российского культурного ландшафта, на которых основаны мои проекты (анизотропность пространства, экологический потенциал административных границ и др.), также в зарубежной науке не отражены. И, наконец, я занимаюсь вещественным ландшафтом, а не его образами и интерпретациями. Я – наивный реалист и троглодит позитивизма, но это вроде бы вышло из мировой моды.

Моя теоретическая и концептуально-конструктивная география требует сочетания квазиматематического подхода с каким-то ему противоположным художественным воображением. Я сам своего метода мышления объяснить и оценить не могу, и мне его некому передать. Хотелось бы надеяться, что когда-нибудь явится исследователь, который прочитает все мои сочинения и откроет меня заново, а может быть и диссертацию обо мне напишет.

Я получил признание “внешне почетное”, но без настоящего проникновения в мои схемы, без их желательного для меня понимания. Достаточно перелистать мою монографию (1999), просмотреть только рисунки и указатель терминов, чтобы сделать печальный вывод: подавляющее большинство моих понятий никем не подхвачены и не развиты. Но если моя концепция не канет в Лету и будет кем-то развиваться, то значит, мы готовы к ее самым немыслимым и ужасным толкованиям, превращениям и извращениям.

В указателе к моей монографии “Территориальные ареалы и сети” (1999) около тысячи терминов. Это солидная основа для энциклопедического словаря. Проект краткого иллюстрированного словаря я составил и опубликовал в Интернете с пробным куском, около 75 терминов (2017а[4]). По каждому понятию можно написать курсовую и дипломную работу, большую научную статью и даже монографию. И каждая деталь моих чертежей – картоидов, каждый штрих и изгиб линии – это тоже вопрос и предмет дискуссий, проблема и вызов для научной мысли. Вот это было бы настоящим развитием моих моделей.

Мои работы не являются научными по современным стандартам. Это парадокс, потому что сам я читал лекции по науковедению, писал в защиту чистой науки статьи, оценкой которых очень дорожу. “Нет другого способа жизни в науке, помимо того, который представлен в статье Б.Б. Родомана” (1999а), писал академик РАН Г.И. Абелев (1999, с. 38). Но, может быть, “образ ученого, с такой ностальгией и достоверностью представленного в статье Б.Б. Родомана” (там же, с. 38), потому мне так дорог, что сам я ему далеко не соответствовал? Я ничего не исследовал, потому что не ставил вопросы и не стремился получить ответы; я не предпринимал типичных для географа поездок и путешествий именно с целью что-то узнать. Я хотел только увидеть что-нибудь новое и при этом невольно обобщал случайно замеченное. Мои спекулятивно-интуитивные представления не поддаются пресловутой верификации и фальсификации, я даже толком не понимаю значения этих слов.

Если мои работы в мировую науку не вписаны и отечественным стандартам не соответствуют, то что же я создал и кем должен себя считать? Я – автор некоторых текстов на русском языке и некоторых чертежей – вербализованных изображений, с этими текстами тесно связанных. Мои творения – этнографический феномен умирающей русской культуры.

Посмотрим еще раз на базисный чертеж сетевого ПЛ, самый сложный и красивый из моих картоидов. Даже если совсем не понимать его смысла, он запоминается как прекрасный геометрический орнамент. Он весь состоит из одного маленького трансляционного элемента, расположенного много раз и под разными углами. Если бы у меня был свой дом, я бы вымостил там пол такой плиткой. Возможно, кто-нибудь займется изготовлением таких мозаик и запатентует это дело, а я, никак не закреплявший свои права, буду благополучно забыт, как и большинство настоящих творцов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодарю старшего научного сотрудника Института географии РАН Ксению Васильевну Аверкиеву за

[4] In References: (Rodoman, 2017).

большую помощь при подготовке данной версии этого сочинения.

ACKNOWLEDGMENTS

The author is grateful to Ksenia Vasilievna Averkieva, the senior researcher at the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, for her great help in preparing this version of the work.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абелев Г.И. Некролог или диагноз? (Послесловие к статье Б. Родомана) // Здравый смысл. Журнал скептиков, оптимистов и гуманистов. 1999. № 4 (12). С. 38–39.

Борейко В.Е. Дикая природа: любите или не приближайтесь // Новый мир. 2002. № 7. https://magazines.gorky.media/novyi_mi/2002/7/dikaya-priroda-lyubite-ili-ne-priblizhajtes.html (дата обращения 02.03.2021).

Вучик В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни. М.: Изд. дом “Территория будущего”, 2011. 576 с.

География: три парадокса нынешнего дня. Кандидат географических наук А.Д. Арманд беседует с нашим корреспондентом Т. Чеховской // Знание – сила. 1973. № 10. С. 12.

Гольц Г.А. Транспорт и расселение. М.: Наука, 1981. 248 с.

Гоуард Э. Города будущего / пер. с англ. А.Ю. Блох. СПб.: Тип. т-ва Общественная польза, 1911. 176 с.

Каганский В.Л. Природно-государственный ландшафт Северной Евразии: теоретическая география // Социально-экономическая география: традиции и современность / под ред. А.И. Шкириной и В.Е. Шувалова. М.–Смоленск: Ойкумена, 2009. 347 с.

Каганский В.Л. Внутренняя периферия – новая растущая зона культурного ландшафта России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2012. № 6. С. 23–43.

Морфологическая структура географического ландшафта / под ред. Н.А. Солнцева. М.: МГУ, 1962. 56 с.

Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Географгиз, 1961. 392 с.

Рагон М. Города будущего. М.: Мир, 1969. 296 с.

Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера // Земля и люди. Попул. геогр. ежегодник. М.: Мысль, 1975. С. 285–289.

Родоман Б.Б. Похороненная утопия или оправдавшийся прогноз? // Знание – сила. 1992. № 5–7. С. 8–14.

Родоман Б.Б. Наука как нравственно-психологический феномен // Здравый смысл. Журнал скептиков, оптимистов и гуманистов. 1999а. № 3 (11). С. 45–53; № 4 (12). С. 29–37.

Родоман Б.Б. Территориальные ареалы и сети. Очерки теоретической географии. Смоленск: Ойкумена, 1999б. 256 с.

Родоман Б.Б. Поляризованная биосфера: Сб. статей. Смоленск: Ойкумена, 2002. 336 с.

Родоман Б.Б. Российский ландшафт против волюнтаризма власти // Отечественные записки. 2005. № 4 (25). С. 330–340.

Родоман Б.Б. География, районирование, картоиды: Сб. трудов. Смоленск: Ойкумена, 2007. 368 с.

Родоман Б.Б. Российская внутренняя периферия: взгляд в разных приближениях, на разных уровнях // Российская глубинка – модели и методы изучения. М.: Ин-т географии РАН; Эслан. 2012. С. 41–48.

Родоман Б.Б. Сохраним русскую деревню! (Хотя бы в качестве музея-заповедника) // Пути России. Альтернативы общественного развития. 2.0: Сб. статей. М.: НЛО, 2015. Т. XX. С. 389–396.

Родоман Б.Б. Экологическая специализация – желательное будущее для большей части России // Изв. РАН. Сер. геогр. 2016. № 4. С. 140–147.

Родоман Б.Б. Основные понятия теоретической географии и районистики. Краткий иллюстрированный словарь (пробные статьи, без рисунков). 2017а. https://proza.ru/2017/12/09/2283 (дата обращения 02.03.2021).

Родоман Б.Б. Районирование как обладание пространством // Региональные исследования. 2017б. № 3 (57). С. 4–12.

Rodoman B.B. The Organized Anthroposphere // Soviet Geography: Review & Translation. 1968, November. P. 784–796.

Rodoman B. Polariseeritud maastik // Eesti loodus. 1982. № 2. lk. 66–71; № 3. lk. 130–135.

Rodoman B.B. Basic Types of Geographical Boundaries // Soviet Geography: Review & Translation. 1983, January. P. 48–59.

“Polarized Landscape”: Half a Century Later

B. B. Rodoman*

Moscow, Russia

**e-mail: bbrodom@mail.ru*

The article is devoted to the concept of “polarized landscape” (also known as “polarized biosphere”), developed by the author in 1970. The socioeconomic conditions for the implementation of the conceptual project, as well as changes in these factors and corresponding fundamental concepts over the past half-century are considered. It is shown how the ideal model of the cultural landscape territorial structure is related to the lifestyle of its author; how his ideas about work and leisure formed a picture of a regular network of cities surrounded by buffer functional zones with decreasing population density from the center to the periphery occupied by natural parks and reserves. A big city and wilderness are considered equivalent “poles” of the bio-

sphere. B.B. Rodoman traces how the transport infrastructure in Russia has changed and how modern transport policy, at least in Moscow and Moscow Oblast, contradicts the ideas of the "polarized biosphere." At the same time, the growth of territorial contrasts of socioeconomic development leads to the growth of the so-called inner periphery, where the processes of natural landscapes restoration proceed spontaneously as the anthropogenic load decreases. Some polarization of the landscape, favorable for the biosphere, occurs by itself, and this process should not be hindered. The author traces the connection of his concept with classical works on theoretical geography, in particular, with the "Isolated State" by J. von Thünen; talks about the history of the penetration of the "polarized biosphere" into the national geographical science, outlines the ways for the further development of this project.

Keywords: biosphere, landscape, city, transport, settlement, nature conservation, ecological network, functional zones, cartoids

REFERENCES

Abelev G.I. Necrology or diagnosis? (Afterword to the article by B. Rodoman). *Zdravyi Smysl. Zhurnal Skeptikov, Optimistov i Gumanistov*, 1999, vol. 12, no. 4, pp. 38–39. (In Russ.).

Boreiko V.E. Wildlife: Love it or stay away. *Novyi Mir*, 2002, no. 7. Available at: https://magazines.gorky.media/novyi_mi/2002/7/dikaya-priroda-lyubite-ili-ne-priblizhajtes.html (accessed: 02.03.2021). (In Russ.).

Geography: three paradoxes of the present day. Candidate of Geographical Sciences A.D. Armand talks to our correspondent T. Chekhovskaya. *Znanie – Sila*, 1973, no. 10, pp. 12. (In Russ.).

Gol'ts G.A. *Transport i rasselenie* [Transportation and Settlement Pattern]. Moscow: Nauka Publ., 1981. 248 p.

Howard E. *Garden Cities of To-Morrow*. London: S. Sonnenschein & Co., 1902, 2nd ed.

Kaganskii V.L. Inner periphery is a new growing zone of Russia's cultural landscape. *Reg. Res. Russ.*, 2013, vol. 3, pp. 21–33. doi 10.1134/S2079970513010048

Kaganskii V.L. The natural-state landscape of the Northern Eurasia: Theoretical geography. In *Sotsial'no-ekonomicheskaya geografiya: traditsii i sovremennost'* [Socio-Economic Geography: Traditions and Modernity]. Shkirina A.I., Shuvalov V.E., Eds. Smolensk: Oikumena Publ., 2009, pp. 78–100. (In Russ.).

Morfologicheskaya struktura geograficheskogo landshafta [Morphological Structure of the Geographical Landscape]. Solntsev N.A., Ed. Moscow: Mosk. Gos. Univ., 1962. 56 p.

Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta* [Geochemistry of Landscape]. Moscow: Geografgiz Publ., 1961. 392 p.

Ragon M. *Les cités de l'avenir*. Paris: Editions Planète, 1966. 250 p.

Rodoman B.B. A buried utopia or a true prediction? *Znanie – Sila*, 1992, nos. 5–7, pp. 8–14. (In Russ.).

Rodoman B.B. Basic concepts of theoretical geography and zoning. Brief illustrated dictionary (sample articles, no pictures). 2017. Available at: https://proza.ru/2017/12/09/2283 (accessed: 02.03.2021). (In Russ.).

Rodoman B.B. Basic types of geographical boundaries. *Soviet Geography: Review & Translation*, 1983, vol. 24, pp. 48–59.

Rodoman B.B. Districting as a way of possessing space. *Reg. Res. Russ.*, 2018, vol. 8, pp. 301–307. doi 10.1134/S2079970518040081

Rodoman B.B. *Geografiya, raionirovanie, kartoidy* [Geography, Zoning, Cartoids]. Smolensk: Oikumena Publ., 2007. 368 p.

Rodoman B.B. Ecological specialization as the desirable future for the most part of Russia. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2016, no. 4, pp. 140–147. (In Russ.).

Rodoman B.B. Let's save the Russian village! (At least as a museum-reserve). In *Puti Rossii. Al'ternativy obshchestvennogo razvitiya. 2.0* [Russia's Paths. Alternatives of Social Development. 2.0]. Moscow: NLO Publ., 2015, vol. XX, pp. 389–396. (In Russ.).

Rodoman B. Polariseeritud maastik, *Eesti loodus*, 1982, no. 2, pp. 66–71; no. 3, pp. 130–135.

Rodoman B.B. Polarized biosphere. In *Zemlya i lyudi. Populyarnyi geograficheskii ezhegodnik* [Earth and People. Popular Geographic Yearbook]. Moscow: Mysl' Publ., 1975, pp. 285–289. (In Russ.).

Rodoman B.B. *Polyarizovannaya biosfera* [Polarized Biosphere]. Smolensk: Oikumena Publ., 2002. 336 p.

Rodoman B.B. Russia's inner periphery: a look from different angles, at different levels. In *Rossiiskaya glubinka – modeli i metody izucheniya* [The Russian Outback – Models and Methods of Study]. Moscow: Inst. Geogr. RAN, Eslan Publ., 2012, pp. 41–48. (In Russ.).

Rodoman B.B. Russian landscape against the voluntarism of power. *Otechestvennye Zapiski*, 2005, vol. 25, no. 4, pp. 330–340. (In Russ.).

Rodoman B.B. Science as a moral and psychological phenomenon. *Zdravyi Smysl. Zhurnal Skeptikov, Optimistov i Gumanistov,* 1991a, vol. 11, no. 3, pp. 45–53; vol. 12, no. 4, pp. 29–37. (In Russ.).

Rodoman B.B. *Territorial'nye arealy i seti. Ocherki teoreticheskoi geografii* [Territorial Areas and Networks. Essays on Theoretical Geography]. Smolensk: Oikumena Publ., 1999b. 256 p.

Rodoman B.B. The organized anthroposphere. *Soviet Geography*, 1968, vol. 9, no. 9, pp. 784–796.

Vuchic V.R. *Transportation for Livable Cities*. Center for Urban Policy Research, 1999. 352 p.