

Вестник Московского университета

Серия 5 ГЕОГРАФИЯ

Издательство Московского университета

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 1946 г.

2023 • Т. 78. • № 1

ЯНВАРЬ–ФЕВРАЛЬ

Выходит один раз в два месяца

СОДЕРЖАНИЕ

География и экология

Березкин В.Ю., Коробова Е.М., Данилова В.Н. Иод и селен в почвах Брянской области (на примере бассейна реки Титовки).....3

Шинкаренко С.С., Васильченко А.А. Современное состояние нерестилищ нижнего Дона по данным дистанционного зондирования.....16

Методы географических исследований

Богданова М.Д., Герасимова М.И. Почвенные карты в комплексных региональных атласах Российской Федерации.....28

Шмакова М.В., Кондратьев С.А. Моделирование статистических параметров мутности воды в водотоках.....43

Региональные исследования

Маргарян В.Г., Фролова Н.Л., Гайдукова Е.В., Седракан А.М. Зимний термический режим рек бассейна Дебед (Армения).....52

Разумовский Р.О., Еременко Е.А., Болысов С.И., Фузеина Ю.Н., Боголюбский В.А., Журавлев П.Д., Жига Р.Ю., Деркач А.А., Бредихин А.В., Дбар Р.С. Рельеф и геоморфологические опасности на территории городов Абхазии65

Колтовская Е.В., Немировская И.А. Распределение взвешенного вещества и углеводородов в морях Карском и Лаптевых в августе – сентябре 2018 года.....81

Решетняк О.С., Комаров Р.С. Межгодовая и сезонная изменчивость стока растворенных веществ в дельтовых рукавах реки Кубани.....95

Трегубов О.Д., Разживин В.Ю., Шамов В.В., Лебедева Л.С. Влияние ландшафтной структуры бассейнов на удельный меженный сток малых рек на севере и юге Чукотки.....106

Ершов А.М. Типы сельских и городских местностей Польши, Венгрии, Румынии и европейской части России.....118

История географии

Агирречу А.А. Столетие первой учебной географической практики Московского университета в Подмоскowie.....129

Краткие сообщения

Даценко Ю.С., Пуклаков В.В. Баланс фосфора в водохранилищах сезонного и многолетнего регулирования.....137

Савенко А.В., Савенко В.С., Новигатский А.Н. Фтор в водах Северной Атлантики.....143

Крутов О.Д., Савоскул М.С., Алексеев А.И. Усадебный кластер как форма рационального использования культурного наследия (на примере Торжокского района Тверской области).....148

CONTENTS

Geography and Ecology

<i>Berezkin V.Yu., Korobova E.M., Danilova V.N.</i> Iodine and Selenium in Soils of the Bryansk Region (Case Study of the Titovka River Basin).....	3
<i>Shinkarenko S.S., Vasilchenko A.A.</i> Actual state of the Lower Don spawning grounds according to remote sensing data.....	16

Methods of geographical studies

<i>Bogdanova M.D., Gerasimova M.I.</i> Soil maps in complex regional atlases of the constituent entities of the Russian Federation.....	28
<i>Shmakova M.V., Kondratyev S.A.</i> Modeling of statistical parameters of water turbidity in river flows.....	43

Regional Studies

<i>Margaryan V.G., Frolova N.L., Gaidukova E.V., Sedrakyan A.M.</i> Winter thermal regime of rivers of the Debed River basin (Armenia).....	52
<i>Razumovskiy R.O., Eremenko E.A., Bolysov S.I., Fuzeina Y.N., Bogoliubskii V.A., Zhuravlev P.D., Zhiba R.Y., Derkach A.A., Bredikhin A.V., Dbar R.S.</i> Relief and geomorphologic hazards in the urban areas of Abkhazia	65
<i>Koltovskaya E.V., Nemirovskaya I.A.</i> Distribution of suspended matter and hydrocarbons in the Kara and the Laptev seas in August–September 2018.....	81
<i>Reshetnyak O.S., Komarov R.S.</i> Interannual and seasonal variability of chemical runoff along the main delta branches of the Kuban River	95
<i>Tregubov O.D., Razzhivin V.Yu., Shamov V.V., Lebedeva L.S.</i> The influence of basin landscape pattern on specific low-water flow of small rivers in the north and south of Chukotka.....	106
<i>Ershov A. M.</i> Types of rural and urban territories in Poland, Hungary, Romania and European Russia.....	118

History of Geography

<i>Aguirrechu A.A.</i> Centenary of the first-ever field training for geography students of the Moscow University in the Moscow region.....	129
---	-----

Short Communications

<i>Datsenko Yu.S., Puklakov V.V.</i> Phosphorus balance in reservoirs of seasonal and long-term regulation.....	137
<i>Savenko A.V., Savenko V.S., Novigatsky A.N.</i> Fluorine in the North Atlantic waters.....	143
<i>Krutov O.D., Savoskul M.S., Alekseev A.I.</i> Estate cluster as a form of rational use of the cultural heritage (case study of the Torzhok district, the Tver region).....	148

ГЕОГРАФИЯ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.47

ИОД И СЕЛЕН В ПОЧВАХ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ
(НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ ТИТОВКИ)В.Ю. Березкин¹, Е.М. Коробова², В.Н. Данилова³^{1–3} Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского РАН
(ГЕОХИ РАН), лаборатория биогеохимии окружающей среды¹ Канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотр.; e-mail: victor76@list.ru² Зав. лабораторией, д-р геол.-минерал. наук; e-mail: helene_k@mail.ru³ Науч. сотр.; e-mail: val1910@mail.com

Изучены особенности распределения I и Se в почвах сопряженных ландшафтно-геохимических систем бассейна р. Титовки (Брянской области, РФ), на разных типах почвообразующих пород (лессовидные суглинки и флювиогляциальные пески и супеси). Выявлено, что в контрастных условиях содержание обоих элементов варьирует в различных генетических горизонтах исследованных почв в широких пределах (I: 0,22–7,93 мг/кг, $n = 93$; Se: 0,001–0,67 мг/кг, $n = 93$, на воздушно сухую массу (в. с. м.)). Серая лесная суглинистая почва (Greyzemic Phaozems) на лессовидных суглинках содержит в верхнем 20 см слое в 2 раза больше I и почти в 4 раза больше Se, чем дерново-подзолистая супесчаная (Stagnic Retisols Arenic) на двучленных отложениях в том же слое (1,67 против 0,81 мг/кг в. с. м. по иоду ($p < 0,05$) и 0,45 против 0,12 мг/кг в. с. м. по селену ($p < 0,05$)).

Это связано как с типом материнской породы и более высоким содержанием органического вещества, так и с более тонким гранулометрическим составом серых лесных почв. Содержание I и Se в донных отложениях р. Титовки (0,59 и 0,36 мг/кг в. с. м.) наиболее сопоставимы с верхним горизонтом дерново-карбонатно-глеевой почвы (Gleyic Calcic Fluvisols), опробованной в нескольких метрах от места взятия донных отложений (I: 0,57 мг/кг в. с. м.; Se: 0,35 мг/кг в. с. м.). При этом характер дифференциации элементов в почвенных горизонтах существенно различался, что обусловлено их сродством к разным геохимическим барьерам. Иод активно фиксируется на биогеохимическом и щелочно-карбонатном барьере и подвижен в восстановительных условиях. Селен, напротив, концентрируется на глеевом барьере и подвижен в окислительной обстановке. Это необходимо учитывать при оценке обеспеченности почв и местных продуктов питания указанными биологически значимыми химическими элементами, особенно в зонах, подверженных воздействию радиоактивных изотопов иода.

Ключевые слова: иод, селен, вертикальная и латеральная дифференциация элементов, сопряженные элементарные ландшафты, геохимические барьеры, Greyzemic Phaozems, Calcic Albic Luvisols, Gleyic Calcic Fluvisols, Stagnic Retisols Arenic

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.1

ВВЕДЕНИЕ

Иод и селен принадлежат к группе биологически значимых элементов, играющих важную роль в функционировании гормональной системы животных и человека. Дефицит I приводит к заболеваниям щитовидной железы (ЩЖ) и является серьезной проблемой во многих странах мира, в том числе в России, что значительно снижает уровень здоровья населения [Виноградов, 1927; Зырин, Зборишук, 1975; Ковальский, 1974; Кашин, 1987; Коробова и др., 2014; Лебедев, 1973; Лозовский, 1971; Пристер и др., 1977; Потатуева и др., 1976; Прошин, Дорощенко, 2005; Тихомиров, 1983; Ahmad et al., 2021;

Ligowe et al., 2021; Zhong et al., 2021; Shakhtarin et al., 2003]. Селен участвует в синтезе глутатионпероксидаз, которые, в свою очередь, принимают участие в метаболизме тиреоидных гормонов. Поэтому дефицит Se на фоне дефицита I усугубляет дисфункцию ЩЖ [Магомедова и др., 2015; Орозбаева и др., 2017; Синдирева и др., 2019]. Испытания ядерного оружия и развитие атомной энергетики привели к возникновению новой проблемы – загрязнению окружающей среды техногенными радионуклидами, в том числе радиоактивными изотопами I, которые вовлекаются в природные биогеохимические циклы и поступают в пищевые цепи человека. Накоп-

ление радионуклидов I в щитовидной железе даже в ничтожной концентрации приводит к локальному облучению и создает дополнительную негативную нагрузку на ЩЖ [Звонова и др., 2004; Тихомиров, Каспаров, 1979; Korobova, 2010].

Изотопы I обеспечили максимальную дозовую нагрузку на население районов, пострадавших от выпадений радионуклидов в течение первых месяцев после аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС) [Питкевич, Шершаков, 1993]. При этом наиболее значимым источником внутреннего облучения явился изотоп ^{131}I (период полураспада – 8,02 сут), который поступал в организм не только с водой, молоком и листовыми овощами, но и с вдыхаемым воздухом, создавая так называемый «иодный удар» [Зырин, Зборищук, 1975; Коробова, Кувылин, 2004; Прохоров и др., 1978].

Поскольку Брянская область при аварии на ЧАЭС была подвержена наибольшему выпадению радиоактивных изотопов иода, исследование обеспеченности почв, различных по геохимическим

условиям миграции иода и селена, представляется актуальной задачей. Разнообразие почвенно-геохимических условий Брянской области определяется существенным варьированием рельефа и состава почвообразующих пород на ее территории [Воробьев, 1993].

Цель исследований – оценка природной обеспеченности I и Se почв геохимически контрастных ландшафтов и сопоставление характера вертикального распределения указанных элементов в почвах в автоморфных и гидроморфных условиях их формирования.

Характеристика элементарных ландшафтов долины р. Титовки. Правобережье р. Титовки представлено серией тестовых участков, характеризующих водораздельный участок под яблоневым садом (разрез Т-1), крутой склон к реке юго-западной экспозиции (разрезы Т-2–Т-4), правобережную пойму (разрез Т-5) (рис. 1, табл. 1 – названия почв даны по [World Reference Base..., 2014]) и донные отложения р. Титовка (Т-6).

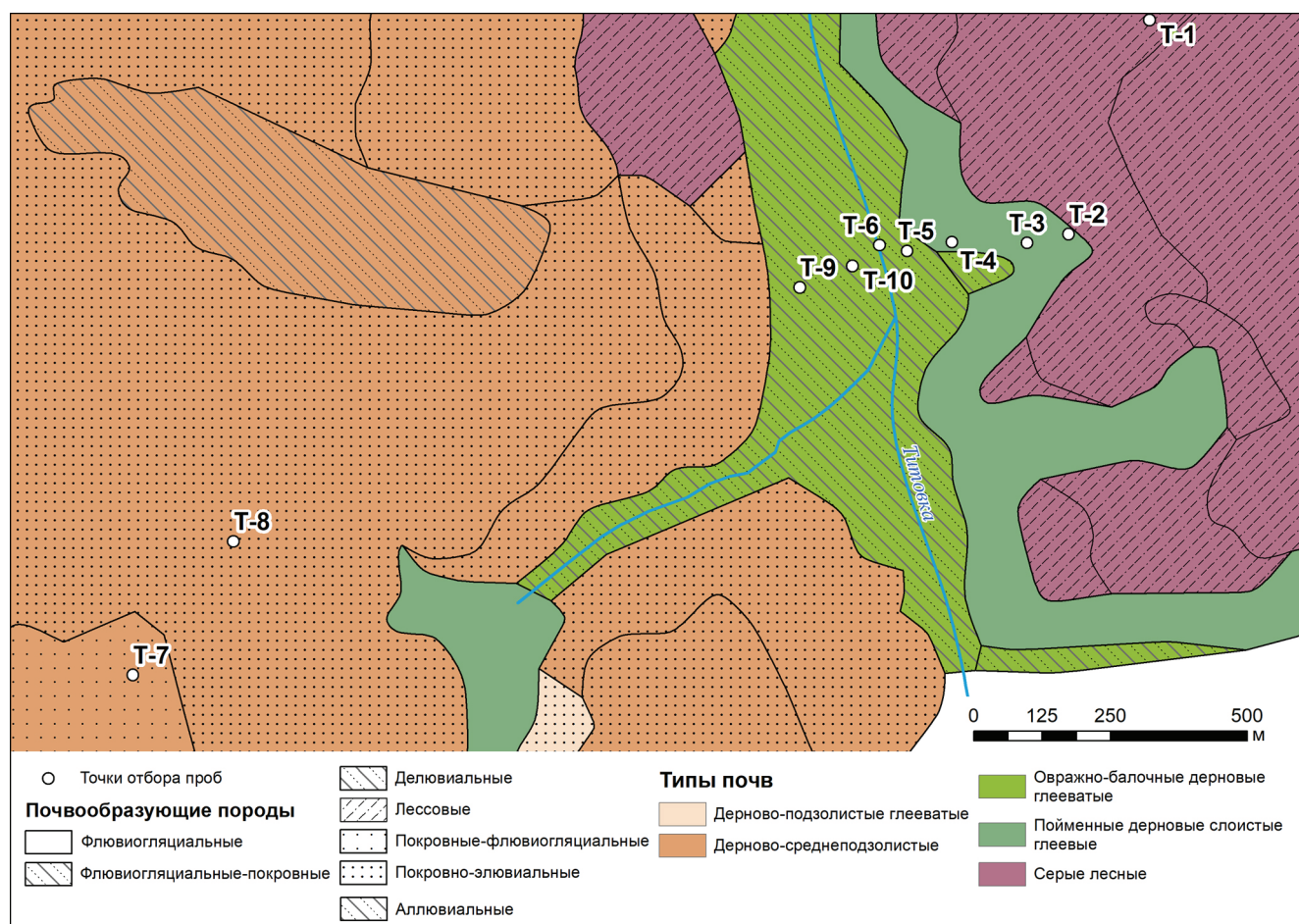


Рис. 1. Почвенная карта долины р. Титовки с точками пробоотбора. Карта векторизована В.С. Баранчуковым с почвенной карты Брянского района Брянской области: лист 21а. клх. им. Карла Маркса. М 1:10 000

Fig. 1. Soil map of the Titovka River valley and sampling points (vectorized by V.S. Baranchukov from the soil map of the Bryansk district of the Bryansk region: sheet 21a. Karl Marx klkh. Scale 1:10 000)

Таблица 1

**Характеристика элементарных ландшафтов долины р. Титовки, почвы которых были
исследованы на содержание I и Se в период с 2010 по 2020 г.**

Номер разреза	Тип почв*	Почво- образующие породы	Местоположение	Травяной ярус	ПП, %	Уровень грунтовых вод, м
T-1	Окультуренная темно-серая лесная (Greyzemic Phaozems)	Лессовидные карбонатные суглинки	Междуречье по правому берегу р. Титовка, заброшен- ный яблонево-березовый сад с рябиной, березой, дубом (в подросте)	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Aegopodium podagraria</i> , <i>Agrimonia eupatoria</i> , <i>Poa pratensis</i>	80	>5
T-2	Темно- серая лесная (Greyzemic Phaozems)	Лессовидные карбонатные суглинки	В нескольких метрах от бровки склона, на окраине вторичного березняка, гранича- щего с пашней	<i>Dactylis glomerata</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Lupinus</i>	70	>5
T-3	Светло-серая лесная слабо смытая (Calcic Albic Luvisols)	Лессовидные карбонатные суглинки	Средняя часть склона под вторичным березняком с под- ростом из дуба и сосны, незатронутом распашкой	<i>Poa pratensis</i> , <i>Galium mollugo</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Fragaria vesca</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Dactylis glomerata</i>	40–50	>2
T-4	Светло-серая лесная слабо смытая (Calcic Albic Luvisols)	Лессовидные карбонатные суглинки	Сочленения склона коренного берега с фрагментом слабо- выраженной над- пойменной террасы. Вторичный березняк	<i>Cynosurus cristatus</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Alchemilla vulgaris</i> , <i>Poa pratensis</i> <i>Argostis capillaris</i>	80	>2
T-5	Аллювиальная луговая (дерно- во-глеевая) кар- бонатная (gleyic calcic fluvisols)	Аллювиальные слоистые отло- жения низкой поймы	Низкая пойма р. Титовки, под зла- ково-разнотравным лугом	<i>Festuca ovina</i> , <i>Knautia arvensis</i> , <i>Agrimonia eupatoria</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Cichorium intybus</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Trifolium pratense</i>	80	1,2
T-8	Дерново- подзолистая, на флювиогляци- альных песках (stagnic retisols arenic)	Водноледнико- вые пески, подстилае- мые элювием коренных оса- дочных пород (силицит)	Междуречье по лево- бережью р. Титовки. Сосняк (сомкнутость крон 0,7) с подростом сосны, березы, оси- ны, ивы и рябины	<i>Cynosurus cristatus</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Alchemilla vulgaris</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Argostis capillaris</i>	20	>5
T-9	Аллювиальная темногумусово- глеевая (eutric gleyic fluvisols)	Аллювиальные слоистые отло- жения низкой поймы	Высокая левобереж- ная пойма р. Титовки в 60 м от бровки низкой поймы. Потравленный луг, используемый для выпаса скота	<i>Deschampsia cespitosa</i> , <i>Phleum pratense</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Scorzoneroideis autumnalis</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Potentilla anserina</i>	80	0,85
T-10	Иловато-пере- гнойная почва с погребенными торфянистыми горизонтами (histic fluvisols)	Аллювиальные слоистые отло- жения низкой поймы	Хвощово-осоковое болото на низкой левобережной пойме в 15 м от уреза воды	<i>Equisetum arvense</i> , <i>Carex cespitosa</i> , <i>Carex alba</i> , <i>Carex acuta</i>	~100	С поверх- ности

Примечание. *Названия почв дублированы по [World Reference Base..., 2014].

Разрез Т-1 расположен в центральной части автономной ЭЛГС (правобережный водораздельный участок). Схема строения почвенного профиля: ОА_д – А₁ – А_{1е} – А_{1еВ} – В₁ – В₂ – ВС – ВС_к – ВС_кg. Сильное вскипание от 10% HCl наблюдалось с глубины 107 см (горизонт ВС_к) и свидетельствует о карбонатности почвообразующих пород и о наличии в нижней части профиля карбонатно-щелочно-го барьера.

Разрез Т-2 расположен в 100 м от Т-1 в пределах того же ландшафта. Схема строения почвенного профиля: А₀А₁(дерн) – А₁(пах) – А₁А₂ – В₁ – В₂ – В₃ – С_к. Вскипание от 10% HCl с глубины 155 см (с верхней границы С_к).

Разрез Т-3 заложен в 34 м от разреза Т-2 в средней части склона, местами до 30° (транзитный ландшафт). Схема строения почвенного профиля: А₀А₁ – А₁ – А₁А₂ – А₂В – В₁ – В₂ – ВС – С. Вскипание зафиксировано с глубины 100 см (верхняя граница ВС_к).

Разрез Т-4, вскрытый в 35 м от предыдущего, характеризовал зону сочленения склона коренного берега с фрагментом слабовыраженной надпойменной террасы (см. табл. 1). Схема строения почвенного профиля: А₀А₁ – А₁А₂ – А₂В₁ – В₁fe – В₂fe – В₃fe – ВСfe – ВСfe,g' – Сfe,g'.

Почва правобережной низкой поймы (субаквальный ландшафт) р. Титовки характеризуется разрезом Т-5. Схема строения почвенного профиля: А₀А₁ – А₁k – А₁Bk – В₁g'k – В₂g'k – Сgk. Вскипание почвы от 10% HCl наблюдалось с глубины 45 см (В₁g'k).

Аквальный ландшафт характеризуется донными отложениями реки (Т-6 (кern)), отобранными буром с правого берега, на расстоянии примерно 1 м от береговой линии. Донные отложения представляют собой темно-серый, почти черный, торфянистый ил, с растительными остатками и включениями слабоокатанной гальки. Глубина реки в районе отбора пробы не превышала одного метра. В районе отбора пробы на берегу отмечены многочисленные следы крупного рогатого скота.

Левобережье реки представлено разрезом Т-8 (расположен в центральной части автономного ландшафта). Схема строения почвенного профиля: А₀ – А₀А₁ – А₁А₂ – В₁ – В₂fe – В₃ – В₄fe – В₅ – Сg'. Почва не вскипает от 10% раствора HCl (см.: табл. 1, рис. 1).

Субаквальный ландшафт по левому берегу р. Титовки представлен разрезом Т-9. Разрез расположен на высокой пойме, в 60 м от бровки низкой поймы (см. табл. 1, рис. 1). Схема строения почвенного профиля: А₀А₁ – А₁ – А₁g – А₁В₁g – В₁g – В₂g – В₃g – Сg. Почва не вскипает от 10% раствора HCl.

На низкой левобережной пойме в 15 м от уреза воды взят kern Т-10 (см. табл. 1, рис. 1). Схема стро-

ения почвенного профиля: АТ' – АТ'' – АТ''' – Т₁ – G – [Т₂]. Почва не вскипает от 10% раствора HCl.

Как следует из приведенных описаний, строение и состав обследованных почв автономных и подчиненных ландшафтов существенно различаются вследствие формирования на разнотипных породах, что определяет и особенности формирования их вертикального профиля.

На лессовидных суглинках сформировались серые лесные суглинистые почвы, в которых первичная карбонатность почвообразующих пород фиксируется с 1 м и глубже, а в пойменных почвах подчиненных ландшафтов – с глубины 45 см, в то время как в междуречье в области распространения двучленных отложений (см. табл. 1: флювиогляциальные пески подстилаемые элювием коренных осадочных пород) вскрыты дерново-подзолистые почвы, причем и сопряженные с ними пойменные почвы бескарбонатные.

В число обследованных почв подчиненных ландшафтов вошли также карбонатные и бескарбонатные варианты разной степени обводненности и гумусности, что хорошо диагностируется морфологически. В целом полученный набор образцов позволяет охарактеризовать поведение иода и селена в геохимически контрастных ландшафтах, весьма типичных для Брянской области [Волкова, Жучкова, 2000].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвы сопряженных ландшафтов исследованы в бассейне р. Титовки (Брянского района Брянской области), которая протекает по границе распространения пород разных типов: лессовидных карбонатных суглинков (расположены по ее правому берегу) и двучленных бескарбонатных отложений (элювия силикатных пород, перекрытого плащом флювиогляциальных песков и супесей – по левому берегу) (см. рис. 1). Это обстоятельство приводит к существенному различию почвенно-растительного покрова как водораздельных, так и пойменных ландшафтов в пределах заложенного ландшафтного профиля. Водораздел правобережья занят серыми лесными почвами, используемыми под садовую культуру и пашни. По левому берегу на водоразделе распространены дерново-подзолистые почвы, покрытые лесами и пашнями. Склоны и террасы разной крутизны активно используются по обе стороны реки для выпаса скота.

Закладывая поперечный профиль в долине р. Титовки, авторы предполагали, что в связи с разным типом пород и растительности по ее берегам будет наблюдаться существенное различие в содержании I и Se в почвах элементарной ландшафтно-геохимической системы (ЭЛГС) [Глазовская, 1988; Побы-

нов, 1956] как в латеральном, так и в вертикальном простирании.

Для изучения и сопоставления вертикальной миграции иода и селена в почвах автономных и подчиненных ландшафтов по разным берегам р. Титовки было заложено восемь почвенных разрезов и взяты образцы донных отложений (см. рис. 1).

Отбор образцов почв проводился по стенке разреза с учетом генетических горизонтов согласно морфологическому описанию профиля, а также, в ряде случаев, почвенным буром из нижних горизонтов.

Донные отложения отобраны тростевым буром в виде ненарушенного керна, что позволило точно разделить отложения на слои мощностью 10 см. Всего на содержание иода проанализировано 84 индивидуальных образца почв, селена – 82 образца.

Определение I выполнялось в лабораторных условиях ускоренным кинетическим роданидно-нитритным методом [Проскурякова, Никитина, 1976] на фотометре КФК-3-01 из свежих образцов. Все результаты для сопоставимости пересчитывались затем на воздушно-сухую навеску. Чувствительность метода – 1–4 нг/мл, воспроизводимость – 2–7%. Общая и гигроскопическая влага определялась стандартными методами [Аринушкина, 1970].

Определение Se проводилось спектрофлуориметрическим методом в воздушно-сухих образцах [Ермаков и др., 2010]. Чувствительность метода – 1 нг/мл, воспроизводимость – 7%.

Все остальные данные по исследуемым почвенным образцам получены в лабораторных условиях стандартными методами: для определения pH водной вытяжки из почв – ГОСТ 26423-85, для органического вещества – ГОСТ 23740-2016.

Статистическая обработка полученных данных осуществлялась в программе MS Excel. Взаимосвязь между содержанием иода, селена, органического вещества и pH водной вытяжки рассчитывалась с помощью коэффициента корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Общая оценка обеспеченности почв иодом и селеном. Содержание иода варьировало в образцах, отобранных по генетическим горизонтам с учетом особенностей их строения в пределах порядка величин от 0,22 до 7,93 мг/кг воздушно-сухой массы (в. с. м.). Наибольшие концентрации иода, найденные в изученных образцах, отвечают уровню эколого-геохимического оптимума иода в почвах по В.В. Ковальскому [Калмет, 1975]. Однако такие уровни были обнаружены только в верхних горизонтах (0–30 см) пойменной перегнойно-торфяной почвы.

Среднее содержание иода во всех проанализированных пробах из разных почвенных горизон-

тов оказалось существенно ниже ($1,37 \pm 0,17$ мг/кг в. с. м., $n = 88$) и соответствовало условиям, фиксированным в районах распространения эндемического зоба [Ковальский, 1974] (табл. 2). Содержание селена варьировало в образцах в еще большей степени, чем иода (от 0,001 до 0,668 мг/кг), но среднее содержание составило $0,221 \pm 0,027$ мг/кг в. с. м. ($n = 86$), что несколько ниже среднемировой величины (0,4 мг/кг в. с. м.) и отвечает диапазону селенодефицита по международным оценкам [Plant, Kinniburgh, 2005] (см. табл. 2).

Частотные гистограммы распределения концентраций иода и селена во всем массиве образцов представлены на рис. 2. Они показывают, что распределение концентраций элементов в пробах не отвечает нормальному закону распределения. Гистограмма по иоду отражает существенно большую концентрацию иода в образцах перегнойно-торфяной почвы и доминирование содержаний в интервале 0,22–1,08 мг/кг в. с. м. (52%), при этом в 80% образцов содержание иода не превышает 1,93 мг/кг, что подтверждает их общую дефицитность по иоду. Распределение содержания селена в почвах более равномерное, доминирующее содержание (27% образцов) – 0,075–0,149 мг/кг, но при этом в 12% проб его количество (0,446–0,594 мг/кг) несколько превышает среднемировой уровень (кларк почв – 0,4 мг/кг, по Виноградову, цитируется по: [Побилат, Волошин, 2020]).

Таким образом, дефицит селена может иметь существенное значение как дополнительный фактор риска заболеваний ЩЖ только в пределах ареалов почв с его наиболее низким содержанием в почвенном профиле.

Вертикальное распределение иода и селена в почвах. Распределение иода и селена в вертикальных почвенных разрезах рассмотрено на фоне варьирования по профилю pH и содержания органического вещества (рис. 3, 4). Установлено, что как I, так и Se существенно варьируют по профилю, симбатно (однонаправленно) изменению органического вещества: для обоих элементов характерно более высокое содержание в гумусовых (Т-1–Т-9) и торфяных (Т-10) горизонтах.

Влияние изменения величины pH вниз по профилю I и Se оказалось различным, что отражает разные химические свойства этих элементов и их соединений (прямым для иода и обратным для селена). Максимальное значение корреляции по pH выявлено как для иода $R_{\text{pH}} = 0,68$ ($n = 10$; $p < 0,05$), так и для селена $R_{\text{pH}} = -0,63$ ($n = 10$; $p < 0,05$) – разрез Т-3 (серые лесные). По органике максимальная корреляция наблюдалась для разреза Т-10 (аллювиально-луговая карбонатная): иод – $R_{\text{Сорг}} = 0,77$ ($n = 6$; $p < 0,05$), селен – $R_{\text{Сорг}} = 0,78$ ($n = 6$; $p < 0,05$).

Таблица 2

Статистические характеристики содержания I и Se в генетических горизонтах основных типов почв долины р. Титовки

Отдел почв	Тип почв и разрез*	Горизонт(ы)	Число образцов	Иод, мг/кг					Селен, мг/кг				
				Максимум	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Минимум	Максимум	Среднее	Стандартное отклонение	Медиана	Минимум
Текстурно-дифференцированные	Greyzemic Phaeozems T1	ОА _д –А ₁	3	1,73	1,45	0,25	1,37	1,26	0,39	0,35	0,05	0,37	0,28
		А ₁ е–А ₁ еВ	3	1,93	1,84	0,15	1,93	1,67	0,63	0,50	0,13	0,51	0,37
		В ₁ –В ₂	4	2,00	1,58	0,40	1,59	1,12	0,55	0,38	0,18	0,42	0,15
		BC–BC _{kg}	4	5,43	2,85	1,86	2,47	1,01	0,26	0,16	0,07	0,14	0,10
	Stagnic Retisols Arenic T8	А ₀ –А ₀ А ₁	3	0,77	0,74	0,03	0,72	0,72	0,15	0,13	0,02	0,14	0,11
		А ₁ А ₂	3	1,30	1,03	0,24	0,96	0,83	0,13	0,12	0,01	0,12	0,12
		В ₁ –В ₂ fe	4	0,81	0,57	0,18	0,53	0,39	0,16	0,13	0,02	0,13	0,12
		В ₃ –В ₅	3	0,50	0,36	0,12	0,30	0,27	0,12	0,11	0,01	0,11	0,10
		Cg	3	1,19	0,73	0,40	0,53	0,47	0,20	0,13	0,06	0,10	0,09
	Alluvial Gleyic Calcic Fluvisols T5 Eutric Gleyic Fluvisols T9	А ₀ А ₁ –А ₁ k	2	0,58	0,49	0,13	0,49	0,40	0,35	0,33	0,03	0,33	0,31
		А ₁ Bk	2	0,48	0,45	0,04	0,45	0,42	0,48	0,34	0,19	0,34	0,20
		В ₁ g'k–В ₂ g'k	3	0,60	0,49	0,09	0,46	0,42	0,24	0,21	0,03	0,21	0,19
		Cgk	3	0,88	0,57	0,27	0,42	0,40	1,76	0,73	0,89	0,27	0,17
		А ₀ А ₁ –А ₁	2	2,42	2,26	0,22	2,26	2,11	0,57	0,49	0,12	0,49	0,40
		А ₁ g–А ₁ B ₁ g	4	2,31	2,04	0,32	2,14	1,58	0,67	0,55	0,10	0,49	0,44
		В ₁ g–В ₂ g	4	1,20	0,77	0,34	0,69	0,47	0,46	0,36	0,11	0,38	0,24
		В ₃ g–Cg	2	0,42	0,32	0,14	0,32	0,22	0,15	0,10	0,06	0,10	0,06

Примечание. *По данным [World Reference Base..., 2014].

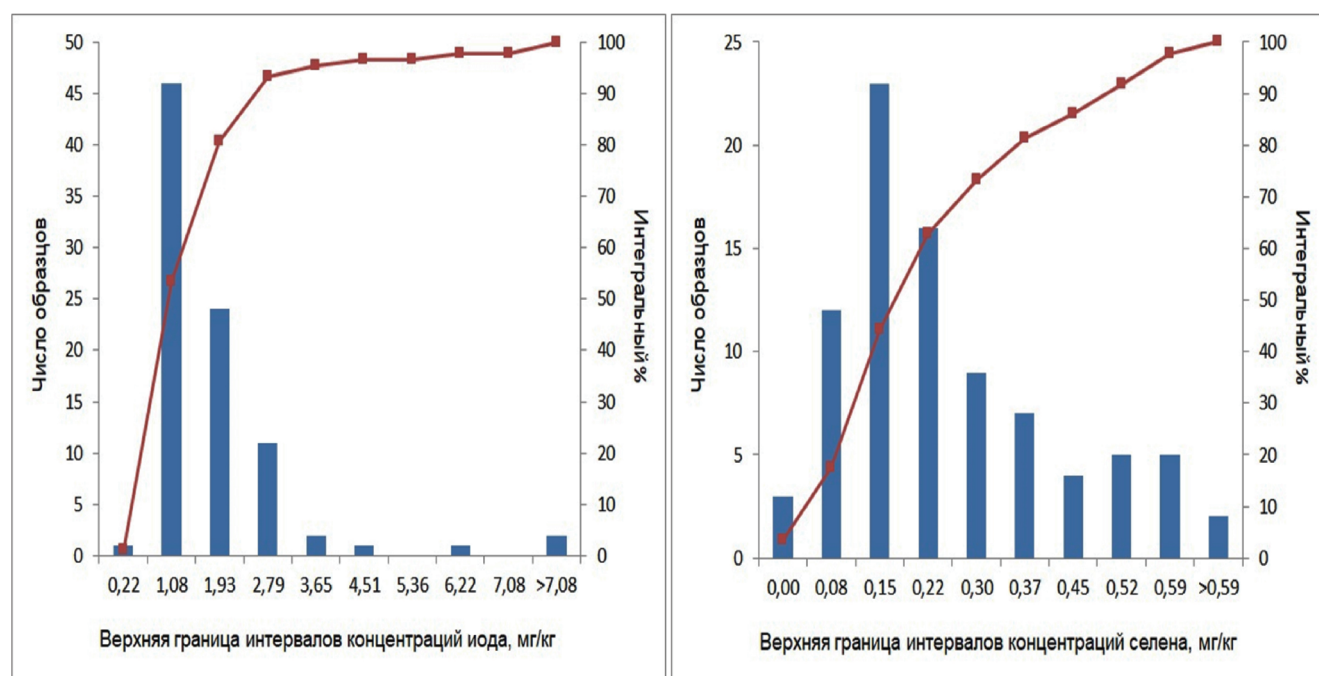


Рис. 2. Верхние границы интервалов концентраций иода и селена

Fig. 2. Upper limits of the intervals of iodine and selenium concentrations

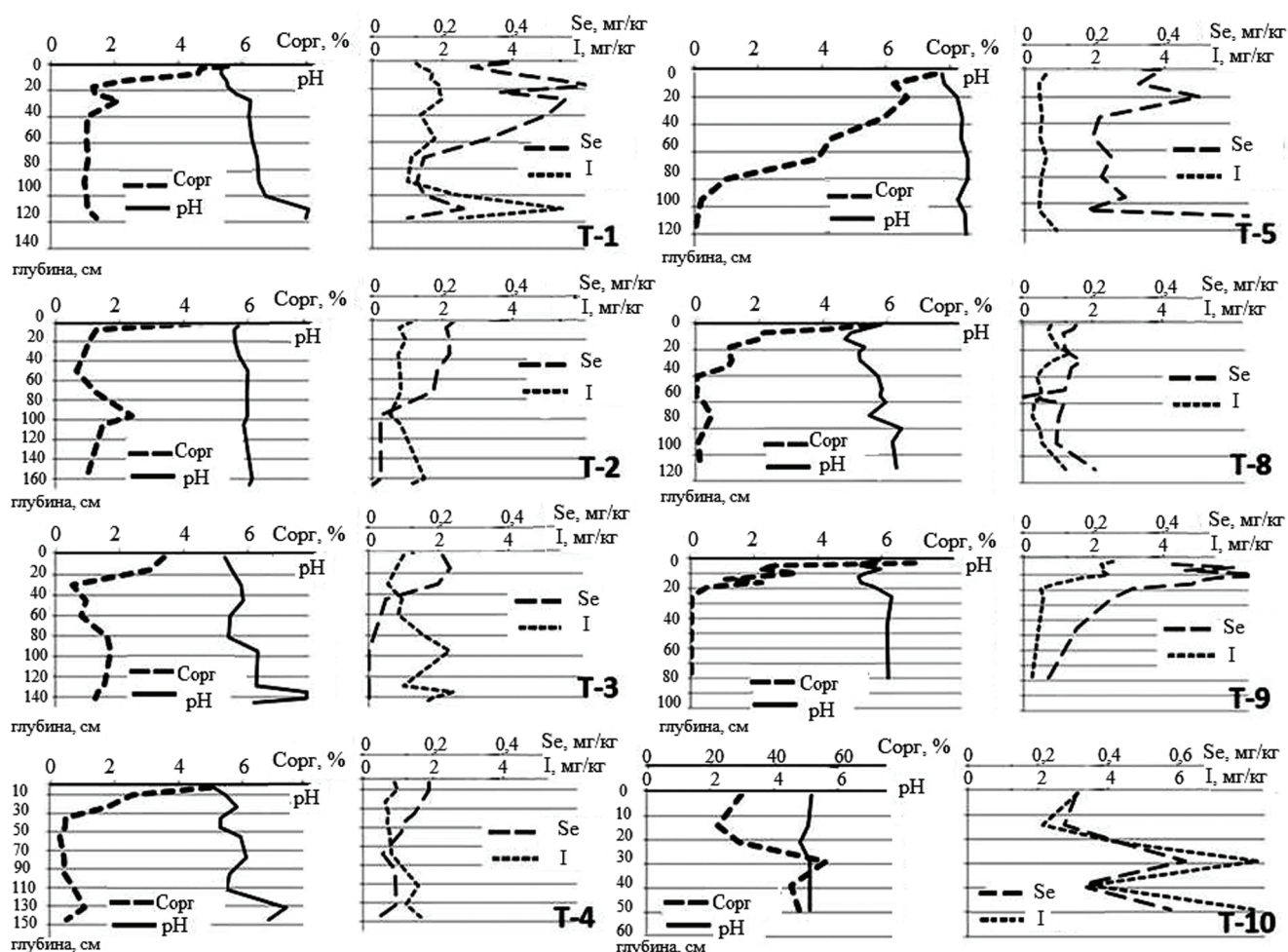


Рис. 3. Вертикальное распределение иода и селена на правобережье:

T-1 – вершина водораздела; T-2 – бровка склона водораздела; T-3 – средняя часть склона; T-4 – нижняя часть склона;

T-5 – низкая пойма; на левобережье: T-8 – вершина водораздела; T-9 – высокая пойма; T-10 – низкая пойма

Fig. 3. Vertical distribution of iodine and selenium in soils:

T-1 – top of the watershed; T-2 – edge of the watershed slope; T-3 – middle part of the slope; T-4 – lower part of the slope; T-5 – low floodplain; of the left bank: T-8 – top of the watershed; T-9 – high floodplain; T-10 – low floodplain

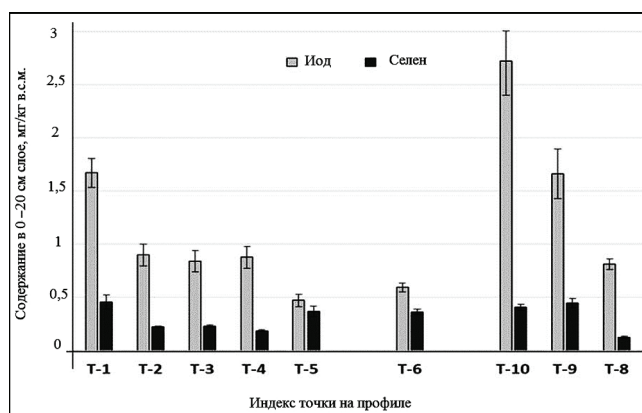


Рис. 4. Распределение иода и селена (мг/кг) в почвах сопряженных ландшафтов.

Данные по почвам усреднены для слоя 0–20 см: T-1 и T-8 ($n = 5$); T-2–T-5 и T-10 ($n = 3$); T-9 ($n = 7$). Для донных отложений р. Титовки (T-6) данные усреднены по керну (0–20 см). Вертикальные планки погрешности показывают ошибку среднего

Fig. 4. Distribution of iodine and selenium (mg/kg) in soils of the coupled landscapes.

Soil data are averaged for the 0–20 cm layer: T-1 and T-8 ($n = 5$); T-2–T-5 and T-10 ($n = 3$); T-9 ($n = 7$). Data for the bottom sediments of the Titovka River (T-6) are averaged over the core (0–20 cm). The vertical error bars show the error of mean

Иод принадлежит к активным воздушным и водным мигрантам [Перельман, 1975], в природных водах присутствует преимущественно в формах иодида и иодата, а его распределение и фиксация в почвах зависит от содержания в почвенных горизонтах органического вещества, дисперсности твердой фазы и смены кислотно-щелочных условий на границах генетических горизонтов [Коробова и др., 2019; Коробова и др., 2014; Лозовский, 1971; Перельман, 1975; Korobova, 2010; Korobova et al., 2014; Pérez-Sirvent et al., 2010; Fuge, Johnson, 1986]. В восстановительной обстановке он присутствует в форме иодида, в кислородной щелочной – часто также в форме иодата.

Селен является редким, но не рассеянным элементом, поскольку образует более 83 минералов. В своем поведении и миграции часто сопутствует сере. При смене кислой среды на щелочную и сера, и селен энергично мигрируют, восстановительная обстановка способствует переходу селена в твердую фазу, при этом селен восстанавливается более легко, чем сера [Сидельникова, 1999]. Гидроксиды железа (Fe^{3+}) осаждают селенит-ионы при pH 7–8,5 по механизму химической сорбции [Коробова и др., 2014]. Такое различие в поведении должно было привести и к различию в активности миграции и вертикальному распределению иода и селена в контрастных по составу и pH-Eh условиям почвенных горизонтов.

Это различие проявилось особенно ярко в вертикальных разрезах серых лесных почв, в которых, в отличие от селена, иод концентрируется как в верхних горизонтах (биогеохимический барьер), так и в нижней части профиля (щелочно-карбонатный барьер) (разрезы Т-1–Т-3) (рис. 2).

Интересно и характерно сближение концентраций иода и селена в аллювиально-луговой (дерново-глеевой) карбонатной почве (разрез Т-5), в условиях которой селен малоподвижен, а иод подвижен и может вымываться в виде комплекса CaI^+ при господстве периодически промывного режима и отсутствии выраженного органогенного горизонта. Концентрации обоих элементов возрастают в профиле Т-5 только в его нижней части в оглеенной карбонатной почвообразующей породе ($\text{Se} > \text{I}$) (см. рис. 2, разрез Т-5). Для обоих элементов характерно некоторое накопление в верхних органогенных горизонтах во всех обследованных разрезах. При этом I типично и существенно в большей степени, чем Se, накапливается в перегнойных и перегнойно-торфяных горизонтах, в том числе в погребенных горизонтах (Т-9–Т-10) супераквальных ландшафтов (на биогеохимическом барьере). Относительно высокое, по сравнению с другими горизонтами, содержание иода в дерново-подзоли-

стой почве, на глубине 20 см (разрез Т-8), по нашему предположению, маркирует границу старопашотного горизонта (аналогично относительному накоплению иода в профилях серой лесной почвы на глубине порядка 20 см (разрезы Т-1, Т-2) (сорбционный барьер).

Как показали ранее выполненные исследования [Balzer et al., 2020; Mohiuddin et al., 2021]: «...органическое вещество и оксиды железа являются наиболее важными компонентами для связывания иода в твердой фазе в почвах». Наблюдавшееся нами обилие Fe-конкреций в нижнем горизонте дерново-подзолистой почвы, вскрытой разрезом Т-8, позволяет предположить, что концентрирование иода в ней глубже 100 см связано, по нашему мнению, с появлением обогащенности горизонта гидроксидами Fe^{3+} , что способствует фиксации элемента также на сорбционно-кислородном барьере.

При анализе характера латерального распределения средневзвешенного содержания иода, рассчитанного по всей трансекте с учетом концентрации элемента в каждом опробованном слое и его мощности, подтвердилась существенная контрастность почвенного покрова ландшафтно-геохимических систем как по концентрации иода, так и селена в верхнем корнеобитаемом слое (см. рис. 4).

В латеральном сопряжении наблюдается резкое накопление иода и селена в заболоченных пойменных почвах, существенно обогащенных органическим веществом не только растительного, но и животного происхождения (экскременты крупного рогатого скота за счет регулярного его выпаса).

В автономных ландшафтах, несмотря на явную выщелоченность за счет длительного хозяйственного использования, серая лесная суглинистая почва на лессовидных суглинках содержит в верхнем 20-сантиметровом слое в 2 раза больше иода и почти в 4 раза больше селена, чем дерново-подзолистая супесчаная в том же слое (1,67 против 0,81 мг/кг по иоду (в. с. м.) и 0,453 мг/кг против 0,120 мг/кг по селену (в. с. м.); см. рис. 4). По-видимому, это может быть связано с более высоким содержанием органического вещества (до 5,9% в верхнем горизонте серой лесной почвы).

Таким образом, более высокое содержание иода и селена в исследованных почвах супераквальных ландшафтов (в сравнении с автономными) позволяет предполагать, что они наиболее благоприятны для выпаса скота в целях повышения микроэлементной обеспеченности животных и получения животноводческой продукции более высокого качества. С другой стороны, при загрязнении территории радиоактивным иодом можно ожидать более высокое поступление этого радионуклида в молоко коров при выпасе их на пойме.

ВЫВОДЫ

В пределах малого, но геохимически неоднородного речного бассейна (р. Титовка, Брянская область) обнаружена высокая контрастность распределения I и Se в почвенном покрове автономных и подчиненных ландшафтов благодаря существенному различию состава почвообразующих пород. Показано, что существенные вертикальная и латеральная дифференциации изученных элементов в сопряженных элементарных ландшафтах определяются высокой степенью сродства иода к органическому веществу и различием поведения иода и селена в однотипных окислительно-восстановительных и щелочно-кислотных условиях.

Показано, что различные комбинации факторов миграции приводят либо к росту, либо к снижению вариабельности соотношений концентраций иода и селена как по вертикальному разрезу почв, так и в латеральном направлении. В серой лесной старопашотной почве иод частично вынесен из верхнего (A_1) горизонта, слабо фиксируется на сорбционном барьере в горизонтах A_1A_2 и B_3 , максимально накапливаясь на щелочно-карбонатном барьере в нижней части профиля (B_k или BC_k).

В пойменных почвах кальциевого класса в условиях частого обводнения и господства восстановительных условий происходит существенное обеднение иодом всего почвенного профиля, что может быть связано с регулярным многолетним выносом иода с водой, например в форме комплексного иона

CaI^+ (принципиальная возможность показана нами ранее [Коробова и др., 2014]). Та же обстановка, напротив, способствует накоплению селена, который образует слабо подвижные формы в восстановительных условиях.

На фоне низкого содержания иода в исследуемых почвах наблюдается его локальное относительное накопление на биогеохимическом и щелочном барьерах. Новые данные по содержанию $C_{орг}$ и pH, полученные в 2020 г., подтвердили влияние обоих факторов (органического вещества и карбонатов) на накопление иода в разных почвах.

Обнаружено, что в подчиненных гидроморфных транзитных ландшафтах кальциевого класса возможно относительное обеднение почв иодом при относительном обогащении селеном. Это может стимулировать механизм компенсации недостатка поступления иода в ЩЖ животных с естественными кормами за счет повышения поступления селена при их выпасе на пастбищах, расположенных в поймах рек, дренирующих карбонатные отложения.

Факт локальной относительной обогащенности супераквальных ландшафтов не только иодом [Коробова и др., 2019], но и селеном, свидетельствует о том, что выпас скота в незагрязненных поймах рек лесной зоны может способствовать естественному повышению содержания этих элементов в почвах пойм, с соответствующим большим их переходом в молоко в этот период, что повышает его качество как продукта питания.

Благодарности. В определении иода в почвах принимали участие: магистр геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова М.А. Горохова, сотрудники института ГЕОХИ РАН – науч. сотр. Л.В. Кригман и ст. науч. сотр., канд. хим. наук Н.В. Корсакова. Векторизованная карта района исследования создана сотрудником ГЕОХИ РАН мл. науч. сотр. В.С. Баранчуковым. Район исследования был выбран по рекомендации директора ФГБУ «Брянскагрохимрадиология» П.В. Прудникова. Выражаем всем свою искреннюю благодарность за вклад в результаты представленных исследований. Полевые работы выполнены за счет гранта РФФИ № 10-05-01148, лабораторные работы (частично) – за счет гранта № 20-55-00012.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 488 с.
- Виноградов А.П. Иод в природе // Природа, 1927, С. 670–678.
- Волкова Н.И., Жучкова В.К. Полесско-опольские ландшафтные экотоны // Вестник Воронежского ун-та. Сер. География и геоэкология, 2000. № 1. С. 26–30.
- Воробьев Г.Т. Почвы Брянской области. Брянск: Грани, 1993. 160 с.
- Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 327 с.
- Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Хушвахтова С.Д., Данилова В.Н., Боев В.А., Барабанищикова Л.Н., Чудинова Е.А. Особенности количественного определения селена в биоматериалах // Вестник ТГУ. 2010. № 3. С. 206–214.
- Звонова И.А., Балонов М.И., Братилова А.А., Данилова И.О., Власов О.К., Щукина Н.В. Дозы облучения щитовидной железы у населения России вследствие выпадений радиоактивного иода после аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия. 2004. № 4(96). С. 310–316.
- Зырин Н.Г., Зборищук Ю.Н. Содержание иода в пахотном слое почв европейской части СССР // Почвоведение. 1975. № 9. С. 49–54.
- Калмет Р. Содержание иода в почвах Эстонской ССР // Научные труды Эст. НИИ земледелия и мелиорации. Таллин. Т. 36. 1975. С. 183–184.
- Кашин В.К. Биогеохимия, физиология и агрохимия иода. Л.: Наука, 1987. 261 с.
- Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.

- Коробова Е.М., Берёзкин В.Ю., Данилова В.Н., Головин М.Л., Горохова М.И. Иод и селен в почвах сопряженных элементарных ландшафтов долины р. Титовка (Брянская область) // VI Международная научно-практическая конференция «Экологическая геология: теория, практика и региональные проблемы». Севастополь; Ханой; Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. С. 109–113.
- Коробова Е.М., Кувылин А.И. Природные биогеохимические провинции с низким содержанием иода как районы дополнительного экологического риска в зонах воздействия аварии на Чернобыльской АЭС: материалы V биогеохимических чтений «Биогеохимическая индикация аномалий». М.: Наука, 2004. С. 156–167.
- Коробова Е.М., Рыженко Б.Н., Черкасова Е.В., Седых Э.М., Корсакова Н.В., Данилова В.Н., Хушвахтова С.Д., Берёзкин В.Ю. К вопросу о формах нахождения иода и селена в природных водах и их концентрирование на ландшафтно-геохимических барьерах // Геохимия. 2014. № 6. С. 554–568.
- Лебедев В.Н. Содержание селена в почвах БССР: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Жодино: Бел. НИИ земледелия, 1973. 20 с.
- Лозовский Л.Н. Иод в почвах Белоруссии: дис. ... канд. биол. наук. М., 1971. 223 с.
- Магомедова З.Г., Гиреев Г.И., Салихов Ш.К., Луганова С.Г. Эндемический зоб как результат дисбаланса биофильных элементов в окружающей среде // Труды института геологии дагестанского научного центра РАН (Махачкала). 2015. № 65. С. 114–117.
- Орозбаева Ж.М., Бегалиев Ш.С., Топчубаева Г. Биогенные элементы селен, иод и их роль в организме // Актуальные проблемы современности. 2017. № 2(16). С. 212–216.
- Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высшая школа, 1975. 341 с.
- Питкевич В.А., Шершаков В.М., Дуба В.В., Гарбузова Т.Т. Загрязнение территории России радионуклидами ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu + ^{240}Pu , ^{131}I . Прил. 1. Часть 2 // Радиация и риск. 1993. Вып. 3. С. 71–92.
- Полынов Б.Б. Избр. труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 751 с.
- Пристер Б.С., Григорьева Т.А., Перевезенцев В.М., Тихомиров Ф.А. и др. Поведение иода в почве // Почвоведение. 1977. № 6. С. 32–41.
- Побилат А.Е., Волошин Е.И. Особенности содержания селена в системе «почва – растение» // Вестник КРАСГАУ. 2020. № 11(164). С. 98–105.
- Потатуева Ю.А., Прокофьева Р.И., Бурак Ю.К., Алексеев Е.Д. Некоторые особенности поступления в растения иода на торфяных почвах // Агрохимия. № 10. 1976. С. 114–119.
- Прошин А.Д., Дорощенко В.Н. Дефицит иода среди населения Брянской области. Брянск: Ладомир. 2005. 164 с.
- Прохоров В.М., Щукин А.Б., Кветная О.М., Малкович Р.Ш. Исследование миграции радиоиода в почве // Почвоведение. 1978. № 1. С. 33–40.
- Проскурякова Г.Ф., Никитина О.Н. Ускоренный вариант кинетического роданидно-нитритного метода определения микроколичеств иода в биологических объектах // Агрохимия. 1976. № 7. С. 140–143.
- Сидельникова В.Д. Геохимия селена в биосфере // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды Биогеохимической лаборатории. Т. 23. М.: Наука, 1999. С. 81–99.
- Синдирева А.В., Степанова О.В., Кекина Е.Г. Экологическая оценка действия селена и иода в системе «почва – растение» в условиях Западной Сибири // Труды XI Международной биогеохимической школы «Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека». Тула: Изд-во Тульский гос. пед. ун-т им. Л.Н. Толстого, 2019. С. 233–237.
- Тихомиров Ф.А. Радиоэкология иода. М.: Энергоатомиздат, 1983. 88 с.
- Тихомиров Ф.А., Каспаров С.В. Трансформация иодо-гумусовых соединений и их роль в доступности радиоиода растения // Тезисы докладов I Всесоюзной конференции по с.-х. радиологии. М., 1979. С. 157–158.
- Ahmad S., Bailey E.H., Arshad M., Ahmed S., Watts M.J., Young S.D. Multiple geochemical factors may cause iodine and selenium deficiency in Gilgit-Baltistan, Pakistan, *Environ Geochem Health*, 2021, DOI: 10.1007/s10653-021-00936-9.
- Balzer L., Schulz K., Birkel C., Biester H. Iron oxides control sorption and mobilisation of iodine in a tropical rainforest catchment, *SOIL Discuss. Preprint*, 2020, DOI: 10.5194/soil-2020-20.
- Korobova E.M., Romanov S.L., Silenok A.V., Kurnosova I.V., Chesalova E.I., Beriozkin V.Yu. Iodine deficiency in soils and evaluation of its impact on thyroid gland diseases in areas subjected to contamination after the Chernobyl accident, *Journal Geochem. Exploration*, 2014, vol. 142, p. 82–93, DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.02.028.
- Korobova E.M. Soil and landscape geochemical factors which contribute to iodine spatial distribution in the main environmental components and food chain in the central Russian plain, *Journal of Geochemical Exploration*, 2010, vol. 107, iss. 2, p. 180–192.
- Ligowe I.S., Bailey E.H., Young S.D., Ander E.L., Kabambe V., Chilimba A.D., Lark R.M., Nalivata P.C. Agromonic iodine biofortification of leafy vegetables grown in Vertisols, Oxisols and Alfisols, *Environ Geochem Health*, 2021, vol. 43, p. 361–374, DOI: 10.1007/s10653-020-00714-z.
- Mohiuddin M., Yu Q., Si G., Irshad M., Farig M., Hussain Z., Duan L. Availability of iodine from acidified soil after manure amendments, *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, vol. 14, 1916 (2021), DOI: 10.1007/s12517-021-08268-9.
- Pérez-Sirvent C., Martínez-Sánchez M.J., García-Lorenzo M.L., Molina J., Tudela M.L., Mantilla W., Bech J. Selenium content in soils from Murcia Region (SE, Spain), *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 107, iss. 2, p. 100–109.
- Plant J.A., Kinniburgh D.G., Smedly P.L., Fordyce F.M., Klinck B.A. Arsenic and Selenium, *Environmental Geochemistry, Treatise on Geochemistry*, 2005, vol. 9, p. 17–66.
- Fuge R., Johnson C.C. The geochemistry of iodine – a review, *Environmental geochemistry and health*, 1986, vol. 8, no. 2, p. 31–54, DOI: 10.1007/BF02311063.
- Shakhtarin V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F. et al. Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident, *Int. J. Epidemiology*, 2003, vol. 32, no. 4, p. 584–591, DOI: 10.1093/ije/dyg205.

World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports, no. 106. FAO, Rome.

Zhong X., Gan Y., Deng Y. Distribution, origin and speciation of soil selenium in the black soil region of Northeast China, *Environ Geochem Health*, 2021, vol. 43, p. 1257–1271, DOI: 10.1007/s10653-020-00691-3.

Поступила в редакцию 06.07.2021

После доработки 10.03.2022

Принята к публикации 27.06.2022

IODINE AND SELENIUM IN SOILS OF THE BRYANSK REGION (CASE STUDY OF THE TITOVKA RIVER BASIN)

V.Yu. Berezkin¹, E.M. Korobova², V.N. Danilova³

^{1–3} Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russian Academy of Sciences (GEOKHI RAS),
Environmental Biogeochemistry Laboratory

¹ Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: victor76@list.ru

² Head of Laboratory, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: helene_k@mail.ru

³ Scientific Researcher; e-mail: val1910@mail.com

The vertical and lateral distribution of iodine and selenium in the soils on different types of parent material, i. e. loess-like loams and fluvioglacial sands and sandy loams, was studied within associated landscape-geochemical systems of the Titovka River basin (Bryansk region, Russia). It was found that the content of both elements in particular genetic horizons of the studied soils under the contrasting environment varies widely, namely I: 0,22–7,93 mg/kg, $n = 93$, and Se: 0,001–0,668 mg/kg, $n = 93$, air-dry mass. Gray forest loamy soil on loess-like loams contains 2 times more iodine and almost 4 times more selenium than sod-podzolic sandy loam soil on binary deposits (1,67 / 0,81 mg/kg for I ($p < 0,05$); 0,453 / 0,120 mg/kg for Se ($p < 0,05$), respectively).

This may be due to both the type of parent material and higher content of organic matter, and the lighter texture of gray forest soils. The content of iodine and selenium in bottom sediments of the Titovka River (0,59 and 0,36 mg/kg of air-dry mass) is most comparable with the upper horizon of sod-carbonate-gley soil sampled a few meters from the sampling site of bottom sediments (I – 0,57 mg/kg; Se – 0,35 mg/kg of air-dry mass). At the same time, the elements showed dissimilar differentiation in soil horizons, due to their affinity to geochemical barriers. Iodine is actively fixed on the alkaline-carbonate barrier and is mobile under reducing conditions, while selenium concentrates on the gleyic barrier and is mobile in an oxidizing environment. This should be taken into account when assessing the availability of these biologically significant chemical elements in soils and local food products, particularly in the areas exposed to radioactive isotopes of iodine.

Keywords: iodine, selenium, vertical and lateral differentiation of elements, coupled elementary landscapes, geochemical barriers, gray forest soils, sod-podzolic soils

Acknowledgements. M.A. Gorokhova, master student of the MSU Faculty of Geology, and L.V. Krigman, Scientific Researcher, and N.V. Korsakova, Ph.D. in Chemistry, Senior Scientific Researcher, both from the GEOKHI RAS Institute, participated in iodine analysis in soils. Vectorized map of the study area was compiled by V.A. Baranchukov, Junior Scientific Researcher of the GEOKHI RAS. The study area was chosen on the recommendation of P.V. Prudnikov, Director of the “Bryanskagrochimradiologiya” state-financed organization. The authors express sincere gratitude to all of them for their contribution to the study. Field investigations and laboratory analyses (partly) were financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (projects 10-05-01148 and 20-55-00012, respectively).

REFERENCES

- Ahmad S., Bailey E.H., Arshad M. et al. Multiple geochemical factors may cause iodine and selenium deficiency in Gilgit-Baltistan, Pakistan, *Environ Geochem Health*, 2021, DOI: 10.1007/s10653-021-00936-9.
- Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* [Manual on the chemical analysis of soils], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1970, 488 p. (In Russian)
- Balzer L., Schulz K., Birkel C., Biester H. *Iron oxides control sorption and mobilisation of iodine in a tropical rainforest catchment*, SOIL Discuss, Preprint, Discussion started, 9 April 2020 Author(s) 2020, CC BY 4.0 License, 2020, DOI: 10.5194/soil-2020-20.
- Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Khushvakhtova S.D., Danilova V.N. et al. Osobennosti kolichestvennogo opredeleniya selena v biomaterialakh [Special techniques of quantitative analysis of selenium in biomaterials], *Vestnik TGU*, 2010, no. 3, p. 206–214. (In Russian)

- Fuge R., Johnson C.C. The geochemistry of iodine – a review, *Environmental geochemistry and health*, 1986, vol. 8, no. 2, p. 31–54, DOI: 10.1007/BF02311063.
- Glazovskaya M.A. *Geokhimiya prirodnikh i tekhnogennykh landshaftov SSSR* [Geochemistry of natural and man-made landscapes of the USSR], Moscow, Higher School of Economics Publ., 1988, 327 p. (In Russian)
- Kalmet R. [Iodine content in the soils of the Estonian SSR], *Nauchnye trudy Est. NII zemledeliya i melioratsii* [Scientific works of the Estonian Research Institute of Agriculture and Amelioration], Tallin Publ., 1975, vol. 36, p. 183–184. (In Russian)
- Kashin V.K. *Biogeokhimiya, fitofiziologiya i agrokhimiya ioda* [Biogeochemistry, phytophysiology and agrochemistry of iodine], Leningrad, Nauka Publ., 1987, 261 p. (In Russian)
- Korobova E.M. Soil and landscape geochemical factors which contribute to iodine spatial distribution in the main environmental components and food chain in the central Russian plain, *Journal of Geochemical Exploration*, 2010, vol. 107, iss. 2, November 2010, p. 180–192.
- Korobova E.M., Berezkin V.Yu., Danilova V.N. et al. [Iodine and selenium in soils of conjugated elementary landscapes of the Titovka River valley (Bryansk region)], *VI Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Ekologicheskaya geologiya: Teoriya, praktika i regional'nye problemy"* [VI International Scientific and Practical Conference "Ecological Geology: Theory, Practice and Regional Problems"], Sevastopol', Voronezh, Tsifrovaya poligrafiya Publ., 2019, p. 109–113. (In Russian)
- Korobova E.M., Kuvylin A.I. [Natural biogeochemical provinces with low iodine content as areas of additional environmental risk in the impact zones of the Chernobyl accident], *Materialy V biogeochemicheskikh chtenij "Biogeochemicheskaya indikatsiya anomalij"* [Proceedings of the V biogeochemical conference "Biogeochemical indication of anomalies"], Moscow, Nauka Publ., 2004, p. 156–167. (In Russian)
- Korobova E.M., Romanov S.L., Silenok A.V. et al. Iodine deficiency in soils and evaluation of its impact on thyroid gland diseases in areas subjected to contamination after the Chernobyl accident, *J. Geochem. Exploration*, 2014, vol. 142, p. 82–93, DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.02.028.
- Korobova E.M., Ryzhenko B.N., Cherkasova E.V. et al. K voprosu o formakh nakhozheniya ioda i seleny v prirodnikh vodakh i ikh kontsentririrovanie na landshaftno-geokhimicheskikh bar'erakh [On the question of iodine and selenium occurrence forms in natural waters and their concentration on landscape-geochemical barriers], *Geokhimiya*, 2014, no. 6, p. 554–568. (In Russian)
- Koval'skii V.V. *Geokhimicheskaya ekologiya* [Geochemical ecology], Moscow, Nauka Publ., 1974, 299 p. (In Russian)
- Lebedev V.N. *Soderzhanie seleny v pochvakh BSSR* [The content of selenium in the soils of the BSSR], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Chemistry, Zhodino Publ., 1973, 20 p. (In Russian)
- Ligowe I.S., Bailey E.H., Young S.D. et al. Agronomic iodine biofortification of leafy vegetables grown in Vertisols, Oxisols and Alfisols, *Environ Geochem Health*, 2021, vol. 43, p. 361–374, DOI: 10.1007/s10653-020-00714-z.
- Lozovskii L.N. *Iod v pochvakh Belorussii* [Iodine in the soils of Belarus], Ph.D. Thesis in Biology, Moscow, MSU Publ., 1971, 223 p. (In Russian)
- Magomedova Z.G., Gireev G.I., Salikhov Sh.K., Luganova S.G. [Endemic goiter as a result of an imbalance of biophilic elements in the environment], *Trudy Instituta Geologii Dagestanskogo Nauchnogo Tsentra RAN* [Proceedings of the Institute of Geology, Dagestan Research Center of the RAS], Makhachkala, Institute of Geology of the RAS Publ., 2015, no. 65, p. 114–117. (In Russian)
- Mohiuddin M., Yu Q., Si G. et al. Availability of iodine from acidified soil after manure amendments, *Arabian Journal of Geosciences*, 2021, vol. 14, 1916 (2021), DOI: 10.1007/s12517-021-08268-9.
- Orozbaeva Zh.M., Begaliev Sh.S., Topchubaeva G. Biogenyie elementy selen, jod i ih rol' v organizme [Biogenic elements selenium, iodine and their role in the organism], *Actual problems of our time*, 2017, vol. 2(16), p. 212–216. (In Russian)
- Perel'man A.I. *Geokhimiya landshafta* [Landscape geochemistry], Moscow, Higher School of Economics Publ., 1975, 341 p. (In Russian)
- Pérez-Sirvent C., Martínez-Sánchez M.J., García-Lorenzo M.L., Molina J. et al. Selenium content in soils from Murcia Region (SE, Spain), *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 107, iss. 2, November 2010, p. 100–109.
- Pitkevich V.A., Shershakov V.M., Duba V.V., Garbuzova T.T. et al. Zagryaznenie territorii Rossii radionuklidami ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu + ^{240}Pu , ^{131}I , prilozhenie 1, chast 2 [Contamination of the territory of Russia with radionuclides ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{239}Pu + ^{240}Pu , ^{131}I , annex 1, part 2], *Radiatsiya i risk*, 1993, no. 3, p. 71–92.
- Plant J.A., Kinniburgh D.G., Smedly P.L., Fordyce F.M., Klinck B.A. Arsenic and Selenium, *Environmental Geochemistry, Treatise on Geochemistry*, 2005, vol. 9, p. 17–66.
- Pobilat A.E., Voloshin E.I. Osobennosti soderzhaniya seleny v sisteme pochva rastenie (obzor) [Specific features of selenium content in the soil-plant system (review)], *Vestnik KRASGAU*, 2020, no. 11(164), p. 98–105. (In Russian)
- Polynov B.B. *Izbrannye Trudy* [Selected works], Moscow, AN SSSR Publ., 1956, 751 p. (In Russian)
- Potatueva Yu.A., Prokof'eva R.I., Burak Yu.K., Alekseev E.D. Nekotorye osobennosti postupleniya v rasteniya ioda na torfyanykh pochvakh [Specific features of iodine intake into plants on peat soils], *Agrokhimiya*, 1976, no. 10, p. 114–119. (In Russian)
- Prister B.S., Grigor'eva T.A., Perevezentsev V.M., Tikhomirov F.A. et al. Povedenie ioda v pochve [The behavior of iodine in soils], *Pochvovedenie*, 1977, no. 6, p. 32–41. (In Russian)
- Prokhorov V.M., Shchukin A.B., Kvetnaya O.M., Malkovich R.Sh. Issledovanie migratsii radioioda v pochve [Study of radioiodine migration in soil], *Pochvovedenie*, 1978, no. 1, p. 33–40. (In Russian)
- Proshin A.D., Doroshchenko V.N. Defitsit ioda sredi naseleeniya Bryanskoi oblasti [Iodine deficiency among the population of the Bryansk region], Bryansk, Lodomir Publ., 2005, 164 p. (In Russian)
- Proskuryakova G.F., Nikitina O.N. Uskorennyi variant kineticheskogo rodanidno-nitritnogo metoda opredeleniya mikrokolichestv ioda v biologicheskikh ob'ektakh [An accelerated version of the kinetic rhodanide-nitrite method for determining the trace amounts of iodine in biological objects], *Agrokhimiya*, 1976, no. 7, p. 140–143. (In Russian)

- Shakhtarin V.V., Tsyb A.F., Stepanenko V.F. et al. Iodine deficiency, radiation dose, and the risk of thyroid cancer among children and adolescents in the Bryansk region of Russia following the Chernobyl power station accident, *Int. J. Epidemiology*, 2003, vol. 32, no. 4, p. 584–591, DOI: 10.1093/ije/dyg205.
- Sidel'nikova V.D. [Geochemistry of selenium in the biosphere], *Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoi ekologii (Trudy Biogeokhimicheskoi laboratorii, vol. 23)* [Problems of biogeochemistry and geochemical ecology, Proceedings of the Biogeochemical Laboratory, vol. 23], Moscow, Nauka Publ., 1999, p. 81–99. (In Russian)
- Sindireva A.N., Stepanova O.V., Kekina E.G. [Ecological assessment of the action of selenium and iodine in the “soil-plant” system under the natural conditions of Western Siberia], *Trudy IX Mezhdunarodnoj biogeokhimicheskoi shkoly “Biogeokhimiya – nauchnaya osnova ustojchivogo razvitiya i sokhraneniya zdorovia cheloveka”* [Proceedings of the IX International Biogeochemical School “Biogeochemistry as a scientific basis of sustainable development and protection of human health”], Tula, TGPU Publ., 2019, p. 233–237. (In Russian)
- Tikhomirov F.A. *Radioekologiya ioda* [Radioecology of iodine], Moscow, Energoatomizdat Publ., 1983, 88 p. (In Russian)
- Tikhomirov F.A., Kasparov S.V. [Transformatsiya iodo-gumusovykh soedinenii i ikh rol' v dostupnosti radioioda rasteniya], *Tezisy dokladov I Vsesoyuznoy konferentsii po s.-kh. Radiologii*, [Abstracts of the First All-Russian Conference on Agricultural Radiology], Moscow, 1979, p. 157–158. (In Russian)
- Vinogradov A.P. Iod v prirode [Iodine in nature], *Priroda*, 1927, p. 670–678. (In Russian)
- Volkova N.I., Zhuchkova V.K. Polessko-Opolskie landshaftnye ecotony [Polessie-Opole landscape ecotones], *Bulletin of the Voronezh University, Ser. Geography and geology*, 2000, no. 1, p. 26–30. (In Russian)
- Vorob'ev G.T. *Pochvy Bryanskoi oblasti* [Soils of the Bryansk region], Bryansk, Grani Publ., 1993, 160 p. (In Russian)
- World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, *World Soil Resources Reports*, no. 106, FAO, Rome.
- Zhong X., Gan Y., Deng Y. Distribution, origin and speciation of soil selenium in the black soil region of Northeast China, *Environ. Geochem. Health*, 2021, vol. 43, p. 1257–1271, DOI: 10.1007/s10653-020-00691-3.
- Zvonova I.A., Balonov M., Bratilova A.A. et al. Dozy oblucheniya shchitovidnoi zhelezy u naseleniya Rossii vsledstvie vypadenii radioaktivnogo ioda posle avarii na Chernobyl'skoi AES [Radiation doses of the thyroid gland across the population of Russia due to the fallout of radioactive iodine after the accident at the Chernobyl nuclear power plant], *Atomnaya energiya*, 2004, no. 4(96), p. 310–316. (In Russian)
- Zyryn N.G., Zborishchuk Yu.N. Soderzhanie ioda v pakhotnom sloe pochv Evropeiskoi chasti SSSR [The content of iodine in the arable soil layer over the European part of the USSR], *Pochvovedenie*, 1975, no. 9, p. 49–54. (In Russian)

Received 06.07.2021

Revised 10.03.2022

Accepted 27.06.2022

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НЕРЕСТИЛИЩ НИЖНЕГО ДОНА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

С.С. Шинкаренко¹, А.А. Васильченко²

¹ Институт космических исследований РАН, науч. сотр., канд. с.-х. наук; e-mail: shinkarenkos@vfanc.ru

² Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, инженер-исследователь; e-mail: vasilchenko-a@vfanc.ru

Строительство Цимлянской плотины в 1952 г. и климатические изменения привели к значительному сокращению весеннего стока и площади нерестилищ р. Дон в его нижнем течении. Если в многоводный 1963 г. было залито 300 тыс. га нерестовых площадей, то в 1979–1994 гг. – не более 130 тыс. га. Во многие последующие годы вода вообще не выходила на пойму. Следствием этого стала деградация рыбного хозяйства нижнего Дона, а нерестовые территории стали распахивать и застраивать. Нерестилища нижнего Дона являлись основой для воспроизводства проходных и полупроходных рыб Азово-Донского бассейна, уже потерявшего свое промысловое значение по осетровым и сельдям. В статье представлены результаты картографирования современной структуры пойменных земель нижнего Дона в границах заливаний разных лет. На основе обработки спутниковых изображений Landsat определены площади заливаний в половодья 1979–2018 гг., по данным Sentinel-2 картографирована современная структура землепользования этих земель. Также проанализированы типы земного покрова по глобальным данным GLC30 и ESRI. Так, в границах затопления 1979–1994 гг. расположено 0,7 тыс. га застройки, около 30 тыс. га пашни и 10 тыс. га залежей. Угроза затопления строений и других объектов инфраструктуры приводит к тому, что половодья на Нижнем Дону стали восприниматься как негативное явление. Необходимо введение ограничений на хозяйственное использование пойменных земель, запрет застройки и размещения нефтепродуктов, удобрений и ядохимикатов в границах заливания 1994 г. Использование технологий спутникового мониторинга является перспективным инструментом для оценки хозяйственного освоения пойм и выделения заливаемых земель. В дальнейшем возможно создание автоматизированной системы мониторинга поймы Дона и других рек, в том числе на основе данных спутниковой микроволновой радиометрии. Преимуществом подобных данных является независимость от наличия облачности, затрудняющей спутниковые наблюдения в оптическом диапазоне.

Ключевые слова: пойма, Landsat, Sentinel-2, Ростовская область, половодье

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.2

ВВЕДЕНИЕ

Площадь доступных нерестилищ является ключевым фактором стабильности популяций рыб [Белоусов, 2016]. Пойма р. Дон в его нижнем течении играет первостепенную роль в формировании рыбных запасов Азовского бассейна, обеспечивая естественное воспроизводство и пополнение запасов промысловых рыб Азовского моря. Несмотря на это, ее изученность в настоящее время недостаточна. Одна из основных причин заключается в отсутствии мониторинга хозяйственного использования пойменных земель, а статистические наблюдения отдельно по пойменным землям не ведутся [Дубинина, 2019; Жукова, 2020]. Имеющиеся работы касаются либо экологического состояния водоемов [Косенко и др., 2018; Matishov et al., 2016], либо гидрологических проблем Дона и функционирования Цимлянского гидроузла [Киреева и др., 2018а; Bolgov et al., 2020; Georgiadi et al., 2020; Dzhamalov et al., 2010; Dzhamalov et al., 2013; Korobkina et al., 2020; Osipova, Bolgov, 2020; Panin et al., 2016; Varentsova et al., 2020]. Оценки современного со-

стояния и хозяйственного освоения нерестилищ поймы Дона в его нижнем течении отсутствуют [Дубинина, 2019; Жукова, 2020]. Существующие оценки структуры земель касаются только бассейна Дона без выделения пойменных земель [Dolgov et al., 2020], в том числе по данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса [Киреева и др., 2018б].

После строительства Цимлянского гидроузла изменился естественный сток р. Дон, периодичность и цикличность его многолетней и сезонной динамики. За это время только 11 раз наблюдалось обводнение нерестилищ, и только четырежды (1963, 1979, 1981, 1994) режим обводнения пойменных нерестилищ р. Дон отвечал экологическим требованиям воспроизводства полупроходных и проходных рыб. В границах заливания 1963 г. (максимальный расход 6320 м³/с) выделяют 12 займищ¹ общей площадью 307,5 тыс. га (табл. 1, рис. 1), наиболее важен для воспроизводства полупроходных рыб уча-

¹ Займище – заливаемая в половодье часть поймы. Термин часто используется в нижнем течении Дона и Волги.

сток поймы от ст. Кочетовская до устья Дона общей площадью около 220 тыс. га [Дубинина, 2019; Жукова, 2020]. В среднем за начало заливания поймы для расчетов принят расход 1800 м³/с в створе ст. Раздорской [Дубинина, 2019].

При условно-естественном стоке выход воды на пойму отмечался в среднем 30 марта при среднем расходе половодья 3200 м³/с, а продолжительность стояния воды на пойме была 58 суток. Частота заливания поймы составляла 84% [Дубинина, 2019; Схема..., 2013]. После строительства Цимлянского водохранилища и зарегулирования стока Дона в 1952 г. средняя площадь всей поймы нижнего Дона составила около 170 тыс. га, при-

чем после 1994 г. полноценного обводнения займищ не было из-за маловодья, вследствие чего не было и эффективного нереста проходных и полупроходных рыб [Дубинина, Жукова, 2016]. Из-за перераспределения водных ресурсов Цимлянского водохранилища для целей судоходства и сельского хозяйства сократилась частота рыбохозяйственных попусков [Схема..., 2013]. В результате Азово-Донской промысловый бассейн потерял свое значение не только по осетровым и азовским сельдям, но и частиковым полупроходным рыбам [Мирзоян и др., 2015]. По данным [Белоусов, 2016], промысловый запас судака Азовского моря снизился более чем в 30 раз.

Таблица 1

Использованные спутниковые изображения для выделения площадей заливания

Год	Максимальный расход, м ³ /с	Даты максимальных расходов	Даты спутниковых снимков	Спутник
1979	3290	24–25 мая	3–4, 30–31 мая	Landsat 2/3 MSS
1981	3280	14–17 мая	28–29 мая	Landsat 2 MSS
1994	3420	19–20 мая	13 мая	Landsat 5 TM
1996	2040	6–7 мая	2 мая	Landsat 5 TM
2003	2160	23 апреля	12 апреля	Landsat 7 ETM+
2018	1940	15 мая	26 апреля, 1, 31 мая	Sentinel-2A/2B

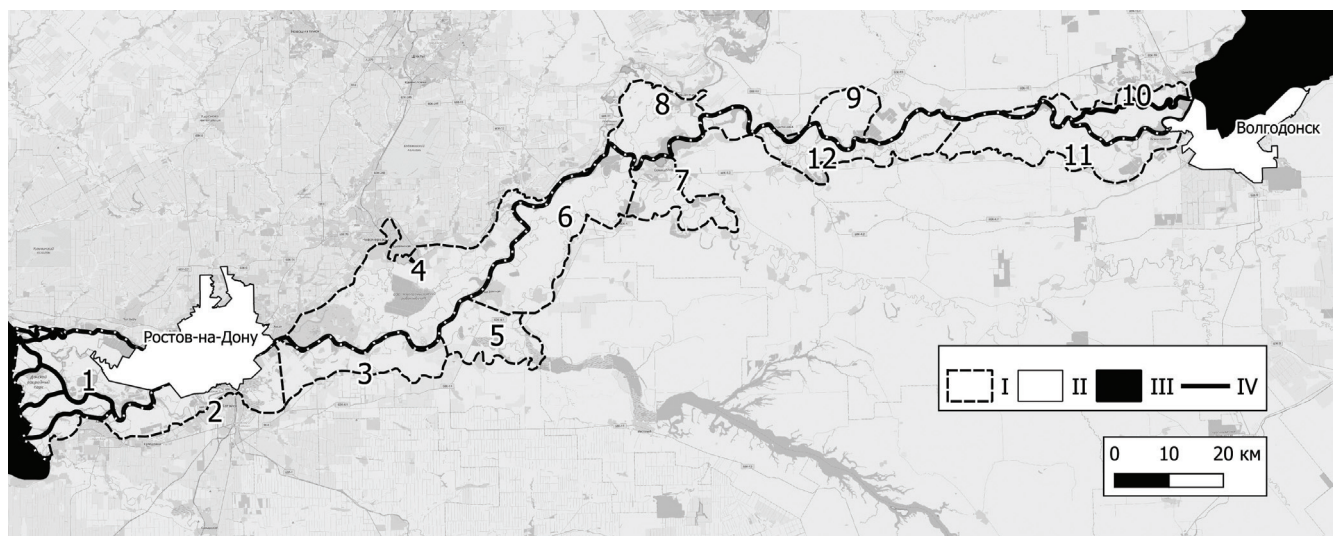


Рис. 1. Расположение нерестилищ в пойме нижнего Дона:

1–12 – номера нерестилищ (см. табл. 1–3); I – границы нерестилищ; II – города Ростов-на-Дону и Волгодонск; III – Таганрогский залив Азовского моря и Цимлянское водохранилище; IV – р. Дон

Fig. 1. Location of spawning grounds in the Lower Don River floodplain:

1–12 – numbers of spawning grounds, see Tables 1–3; I – borders of spawning grounds; II – cities of Rostov-na-Donu and Volgograd; III – the Taganrog Bay of the Azov Sea and the Tsimlyansk reservoir; IV – the Don River

Современная пойма нижнего Дона существенно трансформирована строительством множества гидротехнических сооружений, дорог, построек, орошаемых массивов. В этой связи возникает необходимость придания территории статуса особо охраняемой со специальным режимом хозяйствования в зонах периодического затопления, например в границах 1994 г. [Дубинина, 2019; Мирзоян и др., 2015]. Это даст возможность предотвратить строительство капитальных сооружений, вывести незаконные постройки, запретить размещение отходов, промышленных площадок, использование удобрений и ядохимикатов. В то же время велики риски возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных затоплением в половодья хозяйственно-освоенных территорий на пойменных землях нижнего Дона. Значительная часть населенных пунктов, объектов инфраструктуры, промышленности, сельского хозяйства расположены на прибрежных землях в долинах рек. По этой причине высокие половодья, которые соответствуют требованиям воспроизводства рыбных ресурсов, стали восприниматься как стихийные бедствия, которые могут приводить к многомиллиардным ущербам [Белоусов, 2016; Жукова, 2020].

Изменение гидрологического режима пойменных ландшафтов приводит к их нарушению. Например, для Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги характерны снижение амплитуды колебания вод и стабилизация грунтовых, редукция поемного режима, что ведет к деградации высокой и средней поймы [Kuzmina et al., 2018]. В низовьях Сырдарьи в результате гидрологических изменений в последние два десятилетия в естественных ландшафтах средней ступени поймы отмечается ранее не характерное гидроморфное солончакообразование, а также выход не только высокой, но и низкой ступеней из поемного режима [Kuzmina et al., 2019]. Для пойменных ландшафтов среднего Дона также характерно понижение отметок высокой и средней поймы из-за снижения частоты, продолжительности и высоты половодий [Solodovnikov, Shinkarenko, 2020]. Таким образом, определение заливаемых в половодья пойменных земель важно для последующего анализа их состояния, включающего как определение их хозяйственного освоения, так и степени гидрологических нарушений наземных экосистем [Кузьмина, Трешкин, 2017].

Целью работы является определение современного состояния и структуры пойменных земель в границах заливания при разных уровнях, наблюдавшихся в прошлом. Картографирование заливаемых площадей является одним из важных этапов геоинформационного анализа пойменных ландшафтов и позволяет проанализировать характер

использования земель [Solodovnikov, Shinkarenko, 2020]. В дальнейшем эти данные могут послужить для определения потенциальной рыбопродуктивности нерестилищ, состояния пойменных экосистем и оптимизации попусков из Цимлянского водохранилища.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе применены спектрозональные космические снимки Landsat-2 MSS, 5 TM, 7 ETM+ и Sentinel-2 с 1979 по 2018 г. с пространственным разрешением 80 м (сканер MSS), 30 (TM, ETM+) и 10 м у Sentinel-2 (MSI). Выбор источника данных обусловлен достаточным пространственным разрешением для выделения водных объектов, наличием в свободном доступе и глубиной архива более 40 лет. Прочие доступные данные (например, с радиометра MODIS) не подходят для целей исследования из-за низкого пространственного разрешения, несмотря на высокое временное разрешение. Также данные MODIS не охватывают период до 2000 г. Даты съемки подбирались максимально близко ко времени пиков половодья на нижнем Дону – последняя декада апреля и май (см. табл. 1). Тем не менее реальные площади заливания могут отличаться от полученных оценок, так как даты максимальных уровней воды не совпадают с датами полученных спутниковых изображений, что связано с временным разрешением последних до двух недель. При наличии нескольких снимков за один год бралась объединенная площадь водного зеркала.

Водные объекты и площадь заливания выделялись управляемой классификацией красного и ближнего инфракрасного каналов (3-й и 4-й каналы Landsat-2, 3, 5, 7; 8-й и 4-й каналы Sentinel-2A) в QGIS. После чего классифицированные растры преобразовывались в полигональные объекты, затем корректировались границы объектов, исходя из визуального контроля по панхроматическому каналу и цветовому RGB-композиру 3, 2 и 1-го каналов Landsat-2, 3, 5, 7 (4, 3 и 2-го каналов Sentinel 2A). Этот подход к анализу состояния пойменных земель уже применялся авторами в Волго-Ахтубинской пойме, дельте Волги, дельте Сырдарьи и притоках Дона в его среднем течении [Рулев и др., 2017; Kuzmina et al., 2018; Kuzmina et al., 2019; Solodovnikov, Shinkarenko, 2020].

Структура подстилающей поверхности в бассейне в 2020 г. определялась по данным Global Land Cover (GLC30), которые имеют разрешение 30 м [Chen et al., 2014], а также продукта ESRI Landcover с разрешением 10 м [Karra et al., 2020]. Указанные информационные продукты имеют наибольшее пространственное разрешение из всех доступных [Hua et al., 2018]. Все данные разрешения 10 м были

приведены к разрешению 30 м. Легенда использованных информационных продуктов типов земного покрова включает следующие категории в районе исследований: пашни, леса, водоемы, искусственные поверхности, кустарники, водно-болотные угодья (ВБУ), пастбища и сенокосы (grassland), открытые почвы и грунты.

Кроме использования указанных информационных продуктов, на основе визуального экспертного дешифрирования по спутниковым композитам Sentinel-2A и контролем по данным сверхвысокого разрешения Google Earth Pro выделены категории землепользования в границах заливаний 1979, 1981, 1994 и 2018 гг. Экспертное дешифрирование позволило уточнить границы застройки на заливаемых землях, а также отделить залежные земли от обрабатываемых. С помощью оверлейных операций определены площади участков различных категорий земель на займищах, которые были залиты в исследуемые годы. Границы займищ приводятся согласно работе [Жукова, 2020]. Геоинформационная обработка выполнена в программе QGIS. Площади рассчитывались на эллипсоиде WGS 84 (система координат WGS 84, UTM zone 38N), площади заливаний приводятся после вычитания площадей водоемов в период летне-осенней межени и русел. Статистический анализ произведен в Microsoft Office Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе классификации красного и ближнего инфракрасного каналов Landsat были определены площади заливаний в пойме нижнего Дона в 1979, 1981, 1994 и 2018 гг. Также выход воды на пойму отмечен в 1985, 1993, 1996 и 2003 гг., но из-за облачности определить площадь всех займищ в эти годы не удалось. Наибольшая площадь заливания отмечена в 1979 г. при максимальных расходах в створе ст. Раздорской – 3290 м³/с. В этот год было залито примерно 130 тыс. га, или 41,5% от площади половодья 1963 г. (табл. 2). В дельте Дона во все годы площадь водной поверхности занижена, поскольку перекрыта зарослями тростника и другой высокорослой околосводной растительности. По этой причине на спутниковых снимках водное зеркало, маскированное растительностью, идентифицировалось не всегда. В реальности доля заливания в дельте значительно выше, чем получена по данным дистанционного зондирования. В то же время в дельте Дона имеют место сгонно-нагонные явления [Матишов, Бердников, 2015], которые могут вносить существенную неопределенность при определении зон заливаний в дельтовой части в весенний период.

Половодье 1994 г. стало третьим по водности после 1963 и 1979 гг., было залито примерно 38% площади. Обеспеченность весеннего стока

Таблица 2

Площади заливания займищ в половодья разных лет

№ п/п	Займище	Площадь, тыс. га / %						
		Год						
		1979	1981	1993	1994	1996	2003	2018
1	Дельта Дона	3,9 / 9,7	2,5 / 6,2	8,3 / 20,9	8,3 / 20,9	4,0 / 10,0	2,8 / 7,0	3,9 / 9,8
2	Койсугское	11,0 / 49,6	10,0 / 45,0	3,9 / 17,6	9,1 / 41,0	2,8 / 12,8	1,1 / 4,8	2,0 / 8,9
3	Ольгинское	4,7 / 24,6	4 / 20,9	0,9 / 4,6	5,5 / 28,8	1,3 / 6,7	0,3 / 1,8	0,4 / 1,9
4	Аксайское	37,6 / 74,1	34,5 / 67,9	10,7 / 21,1	34,7 / 68,3	15,7 / 30,9	5,3 / 10,3	4,7 / 9,2
5	Манычское	8,6 / 58,3	7,6 / 51,5	2,3 / 15,6	8,5 / 57,3	2,2 / 14,9	0,6 / 3,8	1,1 / 7,5
6	Сусатско-Подпольненское	14,3 / 40,9	9,6 / 27,5	1,9 / 5,5	18,7 / 53,7	1,4 / 4,0	0,4 / 1,0	0,9 / 2,5
7	Сальское	3,6 / 25,3	2,3 / 15,8	1,6 / 11,5	5,3 / 37,2	2,3 / 15,9	1,0 / 6,8	1,3 / 8,9
8	Кочетовское	3,2 / 19,0	0,6 / 3,6	0,2 / 1,2	3,9 / 23,2	0,4 / 2,6	0,1 / 0,6	0,1 / 0,9
9	Кагальницкое	5,7 / 60,8	3,9 / 41,7	0,1 / 0,8	0,8 / 8,8	0,2 / 1,7	0,1 / 1,2	0,4 / 4,1
10	Сухо-Кумшакское	5,1 / 32,2	0,3 / 1,6	–	–	–	–	0,4 / 2,4
11	Дубенцовское	8,2 / 28,0	3,5 / 11,9	–	–	–	–	1,2 / 4,2
12	Задоно-Кагальницкое	14,4 / 64,2	6,9 / 30,7	0,5 / 2,2	14,5 / 64,8	0,9 / 4,2	0,1 / 0,4	1,2 / 5,3
Всего		120,2 / 41,5	85,6 / 29,5	30,5 / 10,5	108,5 / 37,5	31,7 / 10,7	11,6 / 4,4	15,4 / 5,3

в 1994 г. составила 5%, границы заливания этого года предлагается использовать в качестве актуальных для займищ [Жукова, 2020]. Для Сухо-Кумшакского и Дубенцовского займищ не удалось определить площади из-за отсутствия безоблачных спутниковых изображений, поэтому данная оценка имеет неопределенность в 5–7%. Также к 1994 г. из-за строительства дамбы, ограждающей сельскохозяйственные поля, Кагальницкое займище большей частью вышло из пойменного режима: в 1994 г. площадь заливания сократилась в 8 раз по сравнению с 1979 г. Наиболее эффективным во все годы было Аксайское займище, залитое на 74% в 1979 г., на 68,3% в 1994 г. В последующие годы оно также заливалось наиболее сильно. К 2018 г. кроме Аксайского на 7–10% заливались также дельта

Дона, Койсугское, Манычское и Сальское займища. При этом весной 2018 г. вода на пойме держалась около месяца, что вдвое меньше средней продолжительности половодья в период условно-естественного стока.

По данным GLC30 в 2020 г. в пойме нижнего Дона в границах заливания 1963 г. преобладают луга (39%), пашни (30%) и ВБУ (17%). Искусственные поверхности занимают 12 тыс. га, или 4% территории. Наиболее сильно освоены в сельскохозяйственном отношении Ольгинское, Кочетовское, Кагальницкое и Сухо-Кумшакское займища, половина площади которых распаханна. Наименее освоена дельта Дона, представленная на 80% водно-болотными угодьями. Наиболее застроены Ольгинское и Сальское займища (рис. 2, табл. 3).

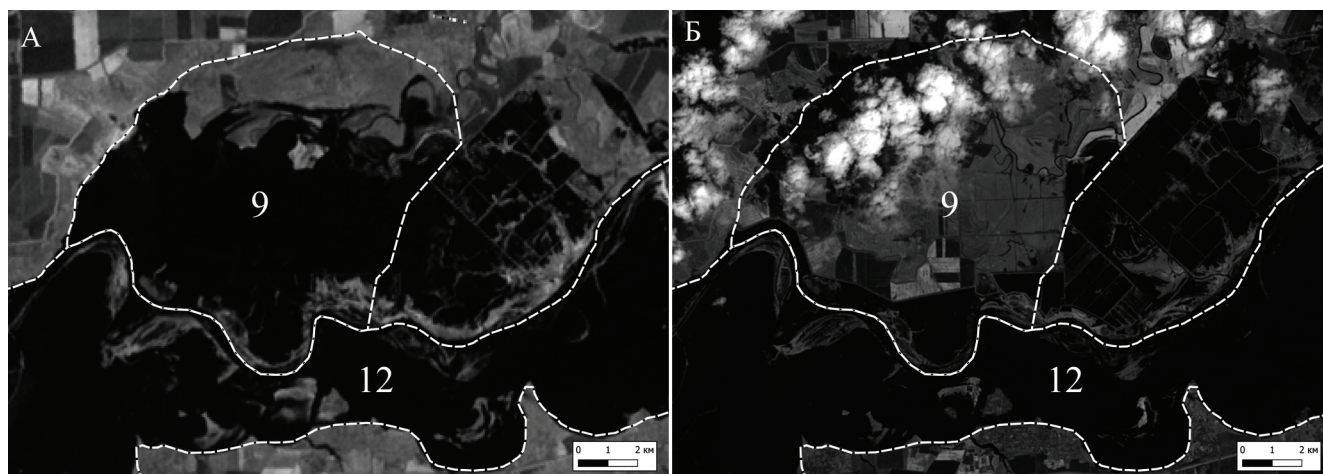


Рис. 2. Кагальницкое (9) и Задано-Кагальницкое (12) займища 30 мая 1979 г. (А) и 13 мая 1994 г. (Б), пунктирная линия – граница займищ

Fig. 2. Kagalnitskoye (9) and Zadono-Kagalnitskoye floodplain meadows on May 30, 1979 (А) and May 13, 1994 (Б); the dotted line – the borders of floodplain meadows

Согласно продукту ESRI Land cover, большая часть поймы в 2020 г. представлена пашней (42%) и кустарниками (27%), луга и ВБУ занимают всего 9,5 и 2% соответственно. Площадь застройки составляет 4% (табл. 4). Данные ESRI показывают наличие кустарников в пойме Дона, которые на самом деле здесь почти не представлены, что подтверждается данными GLC30, не зафиксировавшими этот тип растительности (shrubland). Видимо, алгоритм продукта ESRI относит к кустарникам водно-болотные угодья, представленные высокопродуктивной околосудной растительностью, отсюда заниженные оценки площадей ВБУ и завышенные площади кустарниковой растительности. Оба информационных продукта дают сходную оценку площади застройки (4%) и лесов (6%). Реальная площадь пашни в пойме Дона составляет не более 40% территории, поскольку многочисленные осушенные пруды рыб-

ных хозяйств также могли быть отнесены к сельскохозяйственным землям по данным использованных информационных продуктов.

Для оценки структуры заливаемых земель полученные электронные карты типов земного покрова GLC30 и ESRI были сопоставлены с границами водного зеркала в половодья 1979, 1981, 1994 и 2018 гг. Таким образом были определены земли, которые могут быть залиты при повторении половодий указанных лет в настоящее время. Так, площадь застройки, которая будет затоплена при повторении уровней 1979 и 1994 гг., составляет 1,2 тыс. га, в 2018 г. было залито 0,2 и 0,6 тыс. га застроенной площади согласно GLC30 и ESRI соответственно. Большая часть застройки, которая находится в зоне затопления, расположена на Койсугском (0,3–0,4 тыс. га) и Аксайском (0,2–0,3 тыс. га) займищах.

Таблица 3

**Список займищ нижнего Дона и площади различных типов земного покрова
по данным GLC30 в 2020 г.**

№ п/п	Займище	Площадь, тыс. га						
		Всего	Пашни	Лес	Луга	ВБУ	Водные объекты	Искусственные поверхности
1	Дельта Дона	42,83	0,04	0,03	2,01	34,34	4,58	1,84
2	Койсугское	23,76	1,80	1,27	9,82	7,07	2,61	1,18
3	Ольгинское	19,38	8,86	0,12	7,88	0,06	0,65	1,80
4	Аксайское	52,28	15,65	0,59	28,17	4,60	2,12	1,15
5	Манычское	15,28	2,86	0,10	7,64	2,82	1,66	0,19
6	Сусатско-Подпольненское	36,61	9,06	1,69	21,52	1,01	1,52	1,80
7	Сальское	14,45	4,68	0,29	6,25	0,10	1,75	1,38
8	Кочетовское	17,36	9,70	1,35	5,37	0,00	0,41	0,53
9	Кагальницкое	9,41	5,17	1,03	2,87	0,00	0,26	0,08
10	Сухо-Кумшакское	17,41	9,81	2,53	2,97	0,02	1,79	0,29
11	Дубенцовское	30,39	8,30	6,87	11,38	0,19	2,14	1,51
12	Задано-Кагальницкое	23,64	5,69	3,60	12,08	0,06	2,09	0,13
Всего		302,79	302,79	19,49	117,96	50,26	21,58	11,88

Таблица 4

Площади различных типов земного покрова на займищах нижнего Дона по данным ESRI в 2020 г.

№ п/п	Займище	Площадь, тыс. га							
		Разлив 1963 г.	Пашни	Лес	Луга	ВБУ	Водные объекты	Искусственные поверхности	Кустарники
1	Дельта Дона	43,46	4,59	0,54	12,28	2,36	6,42	1,50	15,73
2	Койсугское	23,78	3,70	0,66	2,73	0,71	2,58	1,79	11,45
3	Ольгинское	19,40	10,62	0,26	0,49	0,01	0,85	1,72	5,44
4	Аксайское	52,29	31,65	1,77	3,18	0,09	2,84	1,30	11,34
5	Манычское	15,29	6,33	0,27	0,73	1,07	1,69	0,29	4,91
6	Сусатско-Подпольненское	36,64	15,30	3,09	1,31	0,03	1,95	1,93	13,00
7	Сальское	14,49	6,59	0,38	0,53	0,15	2,08	1,33	3,40
8	Кочетовское	17,38	10,52	3,46	0,20	0,00	0,58	0,61	1,96
9	Кагальницкое	9,42	6,56	0,49	0,31	0,00	0,30	0,08	1,69
10	Сухо-Кумшакское	17,43	8,09	2,44	0,80	0,18	2,33	0,13	3,45
11	Дубенцовское	30,38	11,68	2,80	4,32	1,43	3,10	1,37	5,67
12	Задано-Кагальницкое	23,65	11,69	2,51	1,91	0,05	2,71	0,09	4,68
Всего		303,61	303,6	18,68	28,81	6,08	27,42	12,15	82,71

Угроза затопления населенных пунктов, дачных поселков и других объектов инфраструктуры может стать существенным ограничивающим фактором для высоты половодья на нижнем Дону. Так, в 2001, 2004 и 2007 гг. приток воды в Цимлянское водохранилище позволял увеличить попуски для заливания поймы, но это не было сделано во многом из-за

угрозы затопления объектов инфраструктуры [Белоусов, 2016]. В результате застройки пойменных земель половодья воспринимаются как стихийные бедствия, приводящие к ущербу. По этой причине необходимо срочное ограничение строительства в границах заливания 1994 г. [Белоусов, 2016; Дубинина, 2019]. Также необходимо проведение разъяс-

нительной работы с населением, поскольку периодические заливания поймы являются нормальным режимом функционирования рек [Жукова, 2020].

Для уточнения площадей застройки было проведено экспертное дешифрирование спутниковых снимков Sentinel-2 разрешения 10 м на 2020 г. Общая площадь застроенных земель на 2020 г. в зоне затопления 1979–1994 гг. составила около 700 га, из которых 312 га расположены на Койсугском займище, еще 130 га – на Ольгинском и 190 га – на Аксайском. Пойменные земли застраиваются как за счет расширения существующих населенных

пунктов, так и за счет постройки дачных поселков в пойме. Например, СНТ «Задонье», созданное в 2003 г. на левом берегу Дона на землях, полностью заливаемых в 1979 и 1994 гг. (рис. 3). По данным [Белоусов, 2016], в границах Ростова-на-Дону площадь застройки после 1994 г. увеличилась в 40 раз, включая опасные производственные объекты: АЗС, склады нефтепродуктов и химических реактивов. Застройка пойм и водно-болотных угодий – проблема общемировая, которая ведет к негативным экологическим последствиям [Penfound, Vaz, 2021].

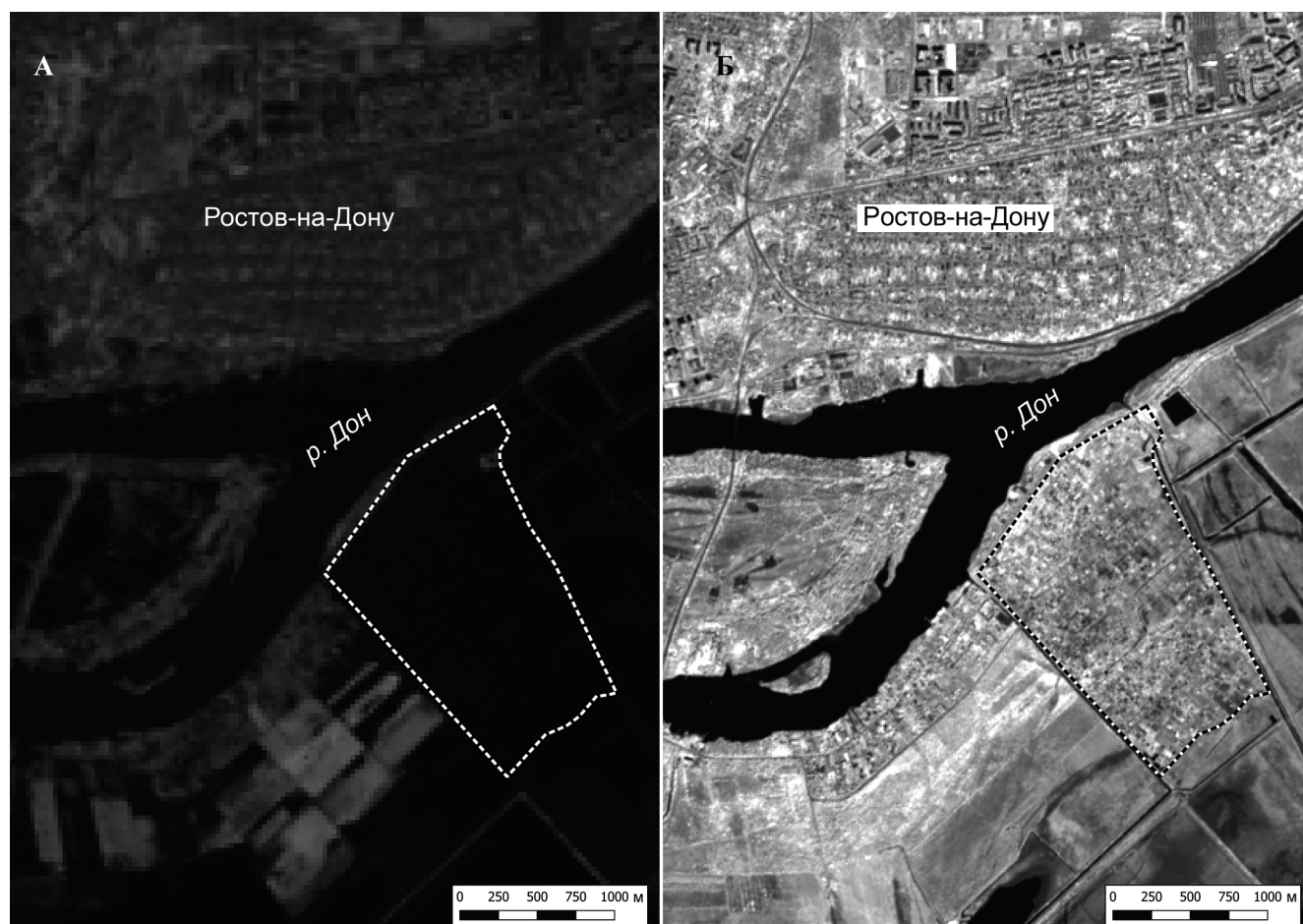


Рис. 3. Пример застройки залитых в 1994 г. земель:
пунктирная линия – граница СНТ; А – 13 мая 1994 г.; Б – 5 мая 2021 г.

Fig. 3. An example of the development of lands flooded in 1994:
the dotted line is the border of SNT; А – on May 13, 1994; Б – on May 5, 2021

По данным экспертного дешифрирования спутниковых снимков Sentinel-2, на 2020 г. в зоне затопления 1994 г. расположено 32,5 тыс. га пашни и 9,3 тыс. га залежей (30 и 8,5% всех заливаемых земель). Пахотные земли являются источником поступления в воду загрязняющих веществ, поэтому распашка пойменных земель должна регулироваться. Здесь должно быть ограничено использование и

запрещено складирование удобрений и ядохимикатов. Наиболее распахан Аксайское займище (около 30%), где расположено более 15 тыс. га пашни и 2,7 тыс. га залежей (44 и 28% всей площади этих категорий земель поймы).

В бассейне Дона в последние десятилетия зафиксировано существенное снижение весеннего стока [Киреева и др., 2018а; Киреева, Фролова, 2013;

Solodovnikov, Shinkarenko, 2020]. При сохранении этой тенденции частота, высота и длительность половодий могут снижаться. В результате может интенсифицироваться застройка и хозяйственное освоение заливаемых ранее участков поймы. Спутниковый мониторинг является достаточно перспективным методом оценки состояния пойменных земель и их хозяйственного использования: площадей заливания, застройки, распахки. В дальнейшем возможно развитие системы автоматизированного мониторинга хозяйственного освоения пойм не только Дона, но и других крупных рек. В настоящее время большая часть исследований на основе данных ДЗЗ направлена на мониторинг и прогнозирование наводнений, оценку рисков затопления территорий населенных пунктов. Результаты чаще всего основаны на цифровых моделях рельефа и местности, климатических данных и гидродинамическом моделировании [Chen et al., 2021]. Результаты картографирования водного зеркала по спутниковым данным могут служить основой для калибровки подобных моделей. Развитие методов спутниковой микроволновой радиометрии позволяет проводить картографирование независимо от доступности безоблачных изображений, поскольку радиоволны проникают через облака, а разрешение радарных данных приближается к оптическим сенсорам. Это также одно из направлений оптимизации методов картографирования водных объектов как на глобальном, так и на локальном уровнях [Bueso-Bello et al., 2021].

ВЫВОДЫ

Пойма нижнего Дона значительно освоена в хозяйственном отношении: в границах заливания 1963 г. по разным данным 30–40% представлено пашней и 4% застройкой. Около 50–60% составляют луга и водно-болотные угодья. Таким образом, в пойме сохраняется значительный нерестовый потенциал. Самая высокая доля лугов на Аксайском займище – 54%, также луга преобладают на Манычском, Сусатско-Подпольненском, Сальском и Задон-

но-Кагальницком займищах – это 50, 59, 43 и 51% соответственно.

В настоящее время из 307,5 тыс. га площади займищ, заливаемых в 1963 г., отмечено фактическое заливание на площади лишь около 120 тыс. га. За последние два десятилетия площадь заливаний не превысила 20 тыс. га, что связано со снижением стока в весенний период как из-за климатических изменений, так и гидротехнического регулирования. Наибольшая доля заливания характерна для Аксайского займища – от 74% в 1979 до 9% в 2018 г. Кагальницкое займище после постройки оросительного канала и дамбы потеряло свое нерестовое значение: в 1979 г. оно было залито на 60%, а в 1994 г. всего на 9%. Судя по половодью 2018 г., актуальны для нереста следующие займища: дельта Дона, Койсугское, Аксайское, Манычское, Сальское (8–10% обводнения). Общая площадь разлива в 2018 г. без учета русел составила 15,4 тыс. га.

Среди заливаемых земель преобладают нескшиваемые луга и другие земли, велика доля пашни. В границах заливания в половодье 5% обеспеченности (например, в 1994 г.) в настоящее время будет залито около 33 тыс. га пахотных земель и около 10 тыс. га залежей. Примерно 10 тыс. га сенокосов, около 0,7 тыс. га застройки. В условиях периодического заливания пойменных земель возникают существенные риски чрезвычайных ситуаций и затопления населенных пунктов и объектов инфраструктуры. Наибольшая площадь урбанизированных территорий характерна для Койсугского, Ольгинского, Сальского и Сусатско-Подпольненского займищ. Необходимо создать особо охраняемую природную территорию в пойме Дона в границах затопления 1994 г., где ввести запрет на застройку и ограничить распахку пойменных земель. Должна проводиться просветительская работа с населением и представителями местного самоуправления, так как периодические заливания пойменных земель – нормальный процесс функционирования любой реки.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-77-00018) с использованием инфраструктуры Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [Лузян и др., 2015] и возможностей информационного сервиса Вега [Барталев и др., 2012]. Авторы благодарны младшему научному сотруднику ФНЦ агроэкологии РАН В.А. Романову за помощь в экспорте дешифрировании спутниковых снимков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барталев С.А., Еришов Д.В., Лузян Е.А., Толтин В.А. Возможности использования спутникового сервиса ВЕГА для решения различных задач мониторинга наземных экосистем // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 1. С. 49–56.
- Белоусов В.Н. Последний рубеж естественного воспроизводства в Азово-Донском районе // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 14–19.
- Дубинина В.Г. Требования рыбного хозяйства при управлении режимами водохранилищ // Экосистемы: эко-

- логия и динамика. 2019. Т. 3. № 1. С. 67–97. DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027.
- Дубинина В.Г., Жукова С.В. Оценка возможных последствий строительства Багаевского гидроузла для экосистемы нижнего Дона // Рыбное хозяйство. 2016. № 4. С. 20–30.
- Жукова С.В. Обеспеченность водными ресурсами рыбного хозяйства нижнего Дона // Водные биоресурсы и среда обитания. 2020. Т. 3. № 1. С. 7–19.
- Киреева М.Б., Илич В.П., Гончаров А.В., Богачев А.Н., Фролова Н.Л., Пахомова О.М., Соловьева В.В. Влияние маловодья 2007–2015 гг. в бассейне р. Дон на состояние водных экосистем // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018а. № 5. С. 3–13.
- Киреева М.Б., Илич В.П., Сазонов А.А., Михайлюкова П.Г. Оценка трансформации поверхности водосбора и ее влияния на условия формирования стока в бассейне р. Дон на основе данных космической съемки // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018б. Т. 15. № 2. С. 191–200. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-191-200.
- Киреева М.Б., Фролова Н.Л. Современные особенности весеннего половодья рек бассейна Дона // Водное хозяйство России. 2013. № 1. С. 60–76.
- Косенко Ю.В., Баскакова Т.Е., Картамышева Т.Б. Роль стока реки Дон в формировании продуктивности Таганрогского залива // Водные биоресурсы и среда обитания. 2018. Т. 1. № 3–4. С. 32–39.
- Кузьмина Ж.В., Трешкин С.Е. Методика оценки нарушений в наземных экосистемах и ландшафтах в результате климатических и гидрологических изменений // Экосистемы: экология и динамика. 2017. Т. 1. № 3. С. 146–188.
- Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашицкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычуглов И.Г., Толтин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
- Матишов Г.Г., Бердников С.В. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г. // Известия РАН. Сер. Географическая. 2015. № 1. С. 111–118. DOI: 10.15356/0373-2444-2015-1-111-118.
- Мирзоян А.В., Жукова С.В., Подмарева Т.И., Лутынская Л.А., Фоменко И.Ф., Бурлачко Д.С., Карманов В.Г., Шишкин В.М., Куропаткин А.П. Современное состояние и пути реконструкции поймы нижнего Дона // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года». Т. 1. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2015. С. 327–335.
- Рулев А.С., Шинкаренко С.С., Кошелева О.Ю. Оценка влияния гидрологического режима Волги на динамику затопления острова Сарпинский // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159. Кн. 1. С. 139–152.
- Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Vlasenko M.V., Shul'gin M.V. Azov – Don water problem, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 1065–1076, DOI: 10.1134/S0097807820060032.
- Bueso-Bello J.-L., Martone M., González C., Sica F., Valdo P., Posovszky P., Pulella A., Rizzoli P. The Global Water Body Layer from TanDEM-X Interferometric SAR Data, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5069, DOI: 10.3390/rs13245069.
- Chen C., Luan D., Zhao S., Liao Z., Zhou Y., Jiang J., Pei Q. Flood Discharge Prediction Based on Remote-Sensed Spatiotemporal Features Fusion and Graph Attention, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5023, DOI: 10.3390/rs13245023.
- Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map, *Nature*, 2014, vol. 514, p. 434, DOI: 10.1038/514434c.
- Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Barabanova E.A. Landscape-hydrological changes in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 934–944, DOI: 10.1134/S0097807820060056.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don River basin, *Water resources*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 573–584, DOI: 10.1134/S0097807813060043.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin, *Water Resources*, 2010, vol. 37, no. 5, p. 733–742, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Kashutina E.A. Contemporary and scenario changes in river runoff in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 913–923, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Hua T., Zhao W., Liu Y., Wang S., Yang S. Spatial Consistency Assessments for Global Land-Cover Datasets: A Comparison among GLC2000, CCI LC, MCD12, GLOB-COVER and GLCNMO, *Remote Sensing*, 2018, vol. 10, no. 11, p. 1846, DOI: 10.3390/rs10111846.
- Korobkina E.A., Filippova I.A., Kharlamov M.A. Evaluating the runoff in the Don basin: the need to change the paradigm of hydrological calculations, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 924–933, DOI: 10.1134/S009780782006007X.
- Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region, *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 4, p. 231–244, DOI: 10.1134/S2079096118040066.
- Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr-Darya River under Modern Changing Conditions, *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, no. 4, p. 226–236, DOI: 10.1134/S207909611904005X.
- Matishov G.G., Stepan'yan O.V., Khar'kovskii V.M., Startsev A.V., Bulysheva N.I., Semin V.V., Soier V.G., Krenneva K.V., Glushchenko G.Yu., Svistunova L.D. Characteristic of Lower Don aquatic ecosystem in late autumn, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 6, p. 873–884, DOI: 10.1134/S009780781606004X.
- Osipova N.V., Bolgov M.V. Assessing the characteristics of the maximal spring flood runoff in the Don basin under nonstationary conditions, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 945–952, DOI: 10.1134/S009780782006010X.
- Panin G.N., Vyrychalkina T.Yu., Grechushnikova M.G., Solomonova I.V. Specific features of the hydrological regime of the Tsimlyansk reservoir under climate changes in the Don basin, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 2, p. 249–258, DOI: 10.1134/S0097807816020123.

- Penfound E., Vaz E. Analysis of Wetland Landcover Change in Great Lakes Urban Areas Using Self-Organizing Maps, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 4960, DOI: 10.3390/rs13244960.
- Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin, *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 719–728, DOI: 10.1134/S0097807820060135.
- Varentsova N.A., Kireeva M.B., Frolova N.L., Kharlamov M.A., Ilich V.P., Sazonov A.A. Forecasting water inflow into the Tsimlyansk reservoir during spring flood under current climate conditions: problems and reproducibility, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 953–967, DOI: 10.1134/S0097807820060159.
- Электронные ресурсы
- Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Дон. 2013. URL: http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/ (дата обращения 15.01.2022).
- Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning, IGARSS 2021–2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, 2021, URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499 (дата обращения 15.01.2022).

Поступила в редакцию 14.02.2022

После доработки 06.05.2022

Принята к публикации 27.06.2022

ACTUAL STATE OF THE LOWER DON SPAWNING GROUNDS ACCORDING TO REMOTE SENSING DATA

S.S. Shinkarenko¹, A.A. Vasilchenko²

¹ Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, Scientific Researcher, Ph.D. in Agricultural Sciences; e-mail: shinkarenkos@yafanc.ru

² Federal Scientific Centre for agroecology, complex amelioration and protective afforestation of the Russian Academy of Sciences, Research Engineer; e-mail: vasilchenko-a@yafanc.ru

The construction of the Tsimlyansk reservoir in 1952 and the actual climate changes led to significant reduction of spring water flow and the area of the Lower Don River spawning grounds. About 300 thousand hectares of spawning lands were flooded in 1963, while not more than 130 thousand hectares in 1979–1994. In later years water often didn't rise to the floodplain at all. As a result, the fishing industry of the Lower Don River underwent degradation and the spawning grounds were ploughed or built over. The spawning grounds of the Lower Don were the basis for the reproduction of anadromous and semi-anadromous fish of the Azov – Don basin, which has already lost its commercial value for sturgeon and herring. The article presents the results of mapping the modern structure of the floodplain lands of the Lower Don River within the flooding areas in different years. The areas of 1979–2018 floods were determined by processing the Landsat satellite images; the modern structure of their land use was mapped according to Sentinel-2 data. The types of land cover were also analyzed using the global data (GLC30 and ESRI). Within the area of 1979–1994 flooding there are 0,7 thousand hectares of built-up territories, about 30 thousand hectares of arable land and 10 thousand hectares of fallow lands. There is a threat of flooding the buildings and other infrastructure facilities, therefore the floods in the Lower Don River area are now perceived as a negative phenomenon. It is necessary to impose restrictions on the economic use of floodplain lands, and ban the construction activities and stocking of oil products, fertilizers and pesticides within the 1994 flooding area. Application of satellite monitoring technologies is a promising tool for assessing the economic development of floodplain lands and identification of flooded lands. In the future, it is possible to create an automated system for monitoring floodplains of the Don River and other rivers, basing among other on the satellite microwave radiometry data. The advantage of such data is the independence from the presence of clouds, which impedes satellite observations in the visible range.

Keywords: floodplain, Landsat, Sentinel-2, Rostov region, spring flood

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 21-77-00018) using the infrastructure of the IKI-Monitoring Shared Use Center [Loipyan et al., 2015] and the capabilities of the Vega information service [Bartalev et al., 2012]. The authors are grateful to V.A. Romanov, Junior Researcher of the FSC of Agroecology RAS, for his assistance in the expert interpretation of satellite images.

REFERENCES

- Bartalev S.A., Egorov V.A., Efremov V.Yu., Loupian E.A., Stytsenko F.V., Flitman E.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya sputnikovogo servisa VEGA dlya resheniya razlichnykh zadach monitoringa nazemnykh ekosistem [Possible application of VEGA satellite service for addressing various problems of land ecosystems monitoring], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, vol. 9, no. 2, p. 9–27. (In Russian)
- Belousov V.N. Poslednii rubezh estestvennogo vosproizvodstva v Azovo-Donskom raione [The last frontier of natural fish reproduction in the Azov-Don region], *Rybnoe khozyaistvo*, 2016, no. 4, p. 1419. (In Russian)
- Bolgov M.V., Belyaev A.I., Pugacheva A.M., Vlasenko M.V., Shul'gin M.V. Azov – Don water problem, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 1065–1076, DOI: 10.1134/S0097807820060032.
- Bueso-Bello J.-L., Martone M., González C., Sica F., Valdo P., Posovszky P., Pulella A., Rizzoli P. The Global Water Body Layer from TanDEM-X Interferometric SAR Data, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5069, DOI: 10.3390/rs13245069.
- Chen J., Ban Y., Li S. China: Open access to Earth land-cover map, *Nature*, 2014, vol. 514, p. 434, DOI: 10.1038/514434c.
- Chen C., Luan D., Zhao S., Liao Z., Zhou Y., Jiang J., Pei Q. Flood Discharge Prediction Based on Remote-Sensed Spatiotemporal Features Fusion and Graph Attention, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 5023, DOI: 10.3390/rs13245023.
- Dolgov S.V., Koronkevich N.I., Barabanova E.A. Landscape-hydrological changes in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 934–944, DOI: 10.1134/S0097807820060056.
- Dubiniina V.G. Trebovaniya rybnogo khozyaistva pri upravlenii rezhimami vodokhranilishch [Requirements for fishery under management of water reservoir regimes], *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2019, vol. 3, no. 1, p. 67–97, DOI: 10.24411/2542-2006-2019-10027 (In Russian)
- Dubiniina V.G., Zhukova S.V. Otsenka vozmozhnykh posledstviy stroitel'stva Bagaevskogo gidrouzla dlya ekosistemy Nizhnego Dona [Assessment of possible consequences of the Bagaevsky hydroelectric system construction for the Lower Don ecosystem], *Rybnoe khozyaistvo*, 2016, no. 4, p. 20–30. (In Russian)
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B. Current changes in river water regime in the Don River basin, *Water resources*, 2013, vol. 40, no. 6, p. 573–584, DOI: 10.1134/S0097807813060043.
- Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I. Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin, *Water Resources*, 2010, vol. 37, no. 5, p. 733–742, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Georgiadi A.G., Milyukova I.P., Kashutina E.A. Contemporary and scenario changes in river runoff in the Don basin, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 913–923, DOI: 10.1134/S0097807810050131.
- Hua T., Zhao W., Liu Y., Wang S., Yang S. Spatial Consistency Assessments for Global Land-Cover Datasets: A Comparison among GLC2000, CCI LC, MCD12, GLOBCOVER and GLCNMO, *Remote Sensing*, 2018, vol. 10, no. 11, p. 1846, DOI: 10.3390/rs10111846.
- Kireeva M.B., Ilich V.P., Goncharov A.V., Bogachev A.V., Frolova N.L., Pakhomova O.M., Solovieva V.V. Vliyaniye malovod'ya 2007–2015 gg. v basseine r. Don na sostoyaniye vodnykh ekosistem [Influence of 2007–2015 extreme low flow period in the Don River basin on water ecosystems], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018a, no. 5, p. 3–13. (In Russian)
- Kireeva M.B., Frolova N.L. Sovremennye osobennosti vesenego polovod'ya rek basseina Dona [Current specific features of spring flood on the Don River basin rivers], *Vodnoe khozyaistvo Rossii*, 2013, no. 1, p. 60–76. (In Russian)
- Kireeva M.B., Ilich V.P., Sazonov A.A., Mikhailyukova P.G. Otsenka transformatsii poverkhnosti vodosbora i ee vliyaniya na usloviya formirovaniya stoka v basseine r. Don na osnove dannykh kosmicheskoi s'emki [An assessment of changes in land usage and their impact on Don river basin runoff using satellite imagery], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018b, vol. 15, no. 2, p. 191–200. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-2-191-200. (In Russian)
- Korobkina E.A., Filippova I.A., Kharlamov M.A. Evaluating the runoff in the Don basin: the need to change the paradigm of hydrological calculations, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 924–933, DOI: 10.1134/S009780782006007X.
- Kosenko Yu.V., Baskakova T.E., Kartamysheva T.B. Rol' stoka reki Don v formirovanii produktivnosti Taganrogskogo zaliva [Role of the Don River flow in productivity formation of the Taganrog Bay], *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya*, 2018, vol. 1, no. 3–4, p. 32–39. (In Russian)
- Kuzmina Zh.V., Shinkarenko S.S., Solodovnikov D.A. Main Tendencies in the Dynamics of Floodplain Ecosystems and Landscapes of the Lower Reaches of the Syr-Darya River under Modern Changing Conditions, *Arid Ecosystems*, 2019, vol. 9, no. 4, p. 226–236, DOI: 10.1134/S207909611904005X.
- Kuz'mina Zh.V., Treshkin S.E. Metodika otsenki narushenii v nazemnykh ekosistemakh i landshaftakh v rezul'tate klimaticheskikh i gidrologicheskikh izmenenii [Technique of a valuation of violations in land ecosystems and landscapes owing to climatic and hydrological changes], *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*, 2017, vol. 1, no. 3, p. 146–188. (In Russian)
- Kuzmina Zh.V., Treshkin S.E., Shinkarenko S.S. Effects of River Control and Climate Changes on the Dynamics of the Terrestrial Ecosystems of the Lower Volga Region, *Arid Ecosystems*, 2018, vol. 8, no. 4, p. 231–244, DOI: 10.1134/S2079096118040066.
- Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitskiy A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A. Tsentr kolektivnogo pol'zovaniya sistemami arkhivatsii, obrabotki i analiza sputnikovyykh dannykh IKI RAN dlya resheniya zadach izucheniya i monitoringa okruzhayushchei sredy [IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving the problems of environment study and monitoring], *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, vol. 12, no. 5, p. 263–284. (In Russian)

- Matishov G.G., Berdnikov S.V. Ekstremal'noe zatoplenie del'ty Dona vesnoi 2013 g. [Extreme Flooding in the Don River Delta in Spring 2013], *Izvestiya RAN. Ser. Geograficheskaya*, 2015, no. 1, p. 111–118, DOI: 10.15356/0373-2444-2015-1-111-118. (In Russian)
- Matishov G.G., Stepan'yan O.V., Khar'kovskii V.M., Startsev A.V., Bulysheva N.I., Semin V.V., Soier V.G., Krenova K.V., Glushchenko G.Yu., Svistunova L.D. Characteristic of Lower Don aquatic ecosystem in late autumn, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 6, p. 873–884, DOI: 10.1134/S009780781606004X.
- Mirzoyan A.V., Zhukova S.V., Podmareva T.I., Lutynskaya L.A., Fomenko I.F., Burlachko D.S., Karmanov V.G., Shishkin V.M., Kuropatkin A.P. [Current state and ways of reconstruction of the Lower Don floodplain], *Nauchnoe obespechenie realizatsii "Vodnoi strategii Rossiiskoi Federatsii na period do 2020 goda", t. 1* [Scientific support for the implementation of the Water Strategy of the Russian Federation for the period till 2020, vol. 1], 2015, p. 327–335. (In Russian)
- Osipova N.V., Bolgov M.V. Assessing the characteristics of the maximal spring flood runoff in the Don basin under nonstationary conditions, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 945–952, DOI: 10.1134/S009780782006010X.
- Panin G.N., Vyruchalkina T.Yu., Grechushnikova M.G., Solomonova I.V. Specific features of the hydrological regime of the Tsimlyansk reservoir under climate changes in the Don basin, *Water resources*, 2016, vol. 43, no. 2, p. 249–258, DOI: 10.1134/S0097807816020123.
- Penfound E., Vaz E. Analysis of Wetland Landcover Change in Great Lakes Urban Areas Using Self-Organizing Maps, *Remote Sensing*, 2021, vol. 13, no. 24, p. 4960. DOI: 10.3390/rs13244960.
- Rulev A.S., Shinkarenko S.S., Kosheleva O.Yu. Otsenka vliyaniya gidrologicheskogo rezhima Volgi na dinamiku zatopleniya ostrova Sarpinskii [Assessment of the Influence of the Hydrological Regime of the Volga River on the Dynamics of the Sarpinsky Island Flooding], *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Estestvennye nauki*, 2017, vol. 159, no. 1, p. 139–152. (In Russian)
- Solodovnikov D.A., Shinkarenko S.S. Present-Day Hydrological and Hydrogeological Regularities in the Formation of River Floodplains in the Middle Don Basin, *Water Resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 719–728, DOI: 10.1134/S0097807820060135.
- Varentsova N.A., Kireeva M.B., Frolova N.L., Kharlamov M.A., Ilich V.P., Sazonov A.A. Forecasting water inflow into the Tsimlyansk reservoir during spring flood under current climate conditions: problems and reproducibility, *Water resources*, 2020, vol. 47, no. 6, p. 953–967, DOI: 10.1134/S0097807820060159.
- Zhukova S.V. Obespechennost' vodnymi resursami rybnogo khozyaistva Nizhnego Dona [Availability of water resources for the fisheries of the Lower Don River], *Vodnye bioresursy i sreda obitaniya*, 2020, vol. 3, no. 1, p. 7–19. (In Russian)
- Web sources*
- Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z., Mazzariello J.C., Mathis M., Brumby S.P. Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning, *IGARSS 2021-2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE, 2021, URL: <https://www.arcgis.com/home/item.html?id=d6642f8a4f6d4685a24ae2dc0c73d4ac>, DOI: 10.1109/IGARSS47720.2021.9553499 (access date 15.01.2022).
- Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov basseina r. Don, kn. 1, Obschaya kharakteristika rechnogo basseina [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Don River Basin, book 1, General characteristics of the river basin], URL: http://www.donbv.ru/activities/use_and_protection_don/ (access date 15.01.2022).

Received 14.02.2022

Revised 06.05.2022

Accepted 27.06.2022

МЕТОДЫ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 912.44

ПОЧВЕННЫЕ КАРТЫ В КОМПЛЕКСНЫХ РЕГИОНАЛЬНЫХ АТЛАСАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

М.Д. Богданова¹, М.И. Герасимова²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв*

¹ *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: md-bogdanova@yandex.ru*

² *Проф., д-р биол. наук; e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com*

Проведен обзор и анализ содержания, легенд и способов оформления базовых почвенных карт в комплексных региональных атласах, изданных за последние 60 лет. Атласы сгруппированы по назначению и времени издания. Основное внимание обращалось на содержание и концепцию карт, их соответствие традициям и опыту отечественного почвенного картографирования, требованиям, предъявляемым к почвенным картам: информативности, современности, наглядности, читаемости. Содержание карт рассмотрено по следующим направлениям: природные почвы, наличие антропогенно-измененных почв, используемая классификация, состав и структура почвенного покрова, рельеф, гранулометрический состав почв. Легенда оценивалась с позиций информативности и отражения концепции карты – структура, количество единиц и порядок почв в легенде; обсуждалось использование способов картографических изображений. Почвенные карты в атласах второй половины прошлого века составлялись в зональной концепции, почвы в основном соответствовали классификации 1977 г. с некоторыми дополнениями. Среди карт в атласах последнего периода имеются составленные в системе субстантивно-генетической классификации почв России. На картах атласов преимущественно использовались стандартные картографические приемы изображения, в современный период имеет место отход от традиций и стандартов отечественной почвенной картографии, что влияет на информативность и наглядность карт.

Ключевые слова: природные и антропогенные почвы, виды легенд, способы изображения, требования к картам, обновление карт

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.3

ВВЕДЕНИЕ

Комплексные атласы представляют собой особые картографические произведения: их можно рассматривать как энциклопедии, «хранилища информации», базы данных о природных и социально-экономических пространственных структурах. Атласы весьма разнообразны по уровню информативности и ориентированы на разных потребителей [Сваткова, 2002].

Комплексные атласы создавались уже в первой половине XX в., например в 1914 г. был опубликован Атлас Азиатской России. Начало создания комплексных региональных атласов в СССР относится к 1950-м гг. На 1960–1980-е гг. приходится разработка теоретических основ комплексного регионального картографирования и издание первой серии региональных атласов разного назначения [Комплексные..., 1976; Котова, 2005; Салищев, 1975]. К концу 1990-х гг. 40% субъектов РФ

были обеспечены комплексными атласами, а более 80% – учебно-справочными [Картографическая..., 1999]. На рубеже веков период традиционной картографии сменился периодом геоинформационного картографирования, активного использования компьютерных технологий, что вызвало новый подъем атласной картографии, расширение тематики карт, использование современного дизайна, разнообразного иллюстративного материала, высококачественной полиграфии [Атласное..., 2015; Касимов и др., 2012; Комедчиков и др., 2011].

Более чем за полвека было опубликовано около 200 комплексных атласов субъектов РФ/СССР. Работы по составлению, обновлению, переизданию региональных атласов продолжают и в настоящее время. В создании атласов принимают участие различные научные организации, университеты и педагогические институты. За это время сложилась методика комплексного картографи-

рования, регионального и глобального, накоплен большой опыт, обобщенный в ряде публикаций [Губанов и др., 2009; Комплексные..., 1976; Салищев, 1975; Сваткова, 2002]. Главными особенностями комплексных атласов является внутреннее единство, системность, согласованность содержания тематических карт. В то же время развиваются отдельные (отраслевые) направления тематического картографирования, в том числе почвенного [Андроников, Руднева, 1993; Географическое..., 2016; Герасимова и др., 2010; Заруцкая, Красильникова, 1989; Руднева, 1990]. Синтез методологических основ комплексного и отраслевого подходов создает благоприятные условия для создания картографических произведений высокого научного уровня.

Почти во всех комплексных атласах имеются почвенные разделы или, как минимум, базовые почвенные карты. Их содержание зависит от исходных почвенных материалов, природы региона, масштаба и назначения атласа. Настоящее исследование представляет собой обзор и анализ содержания и принципов оформления базовых почвенных карт в комплексных региональных атласах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объектами картоведческого анализа послужили 100 отечественных комплексных региональных атласов¹, изданных в разное время, начиная с 1960-х гг. Среди них преобладают традиционные атласы на бумажных носителях, но в последние десятилетия появляются электронные атласы. Мы постарались включить в анализ атласы, разнообразные по назначению, времени издания, природным условиям и размерам территорий. Большая часть атласов – традиционные комплексные атласы субъектов РФ, а также некоторых других территориальных единиц (рис. 1). В анализ включены шесть экологических атласов, по своему содержанию близких к комплексным, и три справочно-энциклопедических атласа издательства «Феория»/«ДИК». Последние содержат карты природы, в том числе почвенные, хотя существенно отличаются от традиционных комплексных атласов преобладанием материалов по истории, экономике и культуре.

По назначению атласы традиционно делятся на три категории: учебно-справочные², атласы для широкого круга потребителей и научно-справочные [Картоведение, 2003; Котова, 2005; Сваткова, 2002]. Строгих границ между этими категориями атласов нет, особенно между первыми двумя.

¹ В анализ вошли атласы, имеющиеся на географическом факультете МГУ, в Российской государственной библиотеке, часть атласов оценивалась по интернет-ресурсам.

² Собственно школьные атласы в работе не рассматриваются.

Учебно-справочные атласы предназначены для студентов, школьников, краеведов и, как правило, имеют ограниченный общий объем, небольшой набор карт. Карты часто относительно просты по содержанию, по количеству единиц легенды и контурной нагрузке. *Научно-справочные* атласы – капитальные картографические произведения, именно они считаются «картографическими энциклопедиями». Они содержат полную и научно достоверную характеристику территории, отличаются полнотой и подробностью, высоким уровнем информативности, контурной дробностью, разнообразием карт. Некоторые научно-справочные атласы созданы на географическом факультете МГУ при непосредственном участии и/или под редакцией К.А. Салищева, И.П. Заруцкой, И.Н. Гусевой, Л.Ф. Январевой. К промежуточной категории относятся атласы, ориентированные на широкий круг потребителей, образующие весьма обширную группу и называемые картографами «атласами широкого потребления» [Сваткова, 2002]. Они дают общее и относительно полное представление о территории, содержат карты различного уровня информативности и сложности; как правило, они ближе к учебно-справочным.

При группировке атласов для анализа мы ориентировались главным образом на оценку их назначения, данную в предисловиях или аннотациях. Для удобства анализа атласы трех категорий были разделены на группы по времени издания на три двадцатилетних периода (табл. 1).

Основное внимание при анализе почвенных разделов в региональных атласах обращалось на содержание и концепцию базовых почвенных карт, способы изображения и принципы оформления, их соответствие традициям и опыту отечественного почвенного картографирования, требованиям, предъявляемым к любым почвенным картам: информативности, современности, наглядности, читаемости. Анализ базовых карт проводился по следующим направлениям: *содержание* – почвы, наличие антропогенно-измененных почв, используемая классификация почв, состав и структура почвенного покрова, рельеф, гранулометрический состав почв; *легенда* как отражение концепции карты – структура, количество единиц и порядок почв в легенде; *способы картографического изображения* – цветовая шкала, индексация почв, штриховой фон и другие приемы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Во всех рассмотренных атласах имеются базовые почвенные карты. В дополнение к ним комплексные атласы часто содержат различные карты почвенной тематики: почвенно-географическое

и/или мелиоративное районирование, кислотность почв, содержание гумуса и элементов питания, эрозия, бонитет почв и др. В 53 рассмотренных атласах имеются дополнительные карты, их больше всего в научно-справочных атласах – в 84% этой группы. Количество дополнительных карт в атласе колеблется от 1 до 25 [Атлас Алтайского..., 1978]. Раз-

нообразие тематики дополнительных карт почвенного содержания в отечественных региональных и в национальных атласах рассматривалось нами ранее [Богданова, Герасимова, 2017; Герасимова, Богданова, 2015].

Основные показатели, по которым проводился анализ почвенных карт, приведены в табл. 2, 3, 4.



Рис. 1. Атласы. Состав выборки показан на карте следующим образом: названия городов – столиц субъектов РФ с указанием года (годов) издания показывают наличие комплексных атласов; для экологических атласов год издания дан курсивом; для справочно-энциклопедических атласов издательства «Феория» / «ДИК» год издания дан в квадратных скобках. Серой заливкой показаны территории, на которые имеются научно-справочные атласы, вошедшие в выборку. На выносах показано наличие комплексных атласов отдельных территорий: название и год издания атласа

Fig. 1. Atlases. Composition of the sample is shown on the map as follows: names of the cities-capitals of the constituent entities of the Russian Federation and the year(s) of publication – complex atlases are available; the same for ecological atlases – the year(s) in italics; for reference and encyclopedic atlases published by “Feoria”/”DIK” Publ. – the year(s) in square brackets; gray fill indicates constituent entities for which reference atlases are available; the callouts indicate the availability of complex atlases for individual territories, the name of the atlas and the year of publication are given

Таблица 1

Количество атласов разных типов в анализируемой выборке

Атласы, категория	Период			Всего
	1960–1979	1980–1999	2000–2020	
Учебно-справочные	12	24	14	50
Для широкого круга пользователей	11	1	16	28
Научно-справочные	8	3	11	22
Всего	31	28	41	100

Таблица 2

Характеристики почвенных карт в атласах 1960–1979 гг. издания

Атласы	Легенды			Стандартные цвета	Индексы			Горные почвы			Гранулометриче- ский состав			Состав ПП			Структура ПП (фигурные сетки, штриховки)		
	Тип	Произвольный порядок			Кол-во областей с горными почвами	Способ показа		Не выделены	Способ показа	Не показан		Значки	Способ показа	Не показан					
		Список простой	Список группированный			Буквенные	Цифровые			Отсутствуют	Косая штриховка				В легенде	Штриховки		В легенде	
Назначение	Количество	7	5	1	10	—	7	5	6	3	3	—	—	10	1	3	8	—	
		9	2	1	8	1	2	2	3	—	2	9	—	2	1	5	5	1	
		4	4	1	8	1	1	7	1	7	7	—	7	1	3	4	1	2	
		20	11	2	26	7	10	15	16	10	5	1	16	2	13	5	12	14	3
		65	35	6	84	21	31	48	21	31	62	31	7	51	6	43	16	38	48
Учебно-справочные	12	5	1	10	—	7	5	6	3	3	—	—	10	1	3	8	—		
Для широкого круга	11	2	1	8	1	2	9	3	—	2	2	1	2	1	5	5	1		
Научно-справочные	8	4	—	8	6	1	1	7	7	7	—	—	1	3	4	1	2		
Всего	31	11	2	26	7	10	15	16	10	5	1	16	2	13	5	12	14	3	
%																			

Таблица 3

Характеристики почвенных карт в атласах 1980–1999 гг. издания

Атласы		Легенды				Стандартные цвета	Индексы			Горные почвы				Гран. состав			Состав ПП			Структура ПП (фигурные сетки, штриховки)
		Тип								Кол-во областей с горными почвами	Способ показа		Не выделены		Способ показа	Не показан		Способ показа	Не показан	
		Список простой	Список группированный	Таблица	Произвольный порядок		Буквенные	Цифровые	Отсутствуют		Косая штриховка	В легенде	Штриховки	В легенде		Значки	В легенде			
Назначение	Количество	24	13	10	1	17	3	13	8	10	7	2	1	6	2	16	3	13	8	—
		1	—	1	—	1	—	—	—	1	—	—	—	1	—	—	—	1	—	—
		3	1	1	1	3	1	2	—	3	2	1	1	—	—	3	—	2	1	2
		28	14	12	2	21	4	16	8	14	9	3	3	7	2	19	3	16	9	2
		%	50	43	7	75	14	58	28	65	21	14	21	14	25	7	68	10	57	33

Таблица 4

Характеристики почвенных карт в атласах 2000–2020 гг. издания

Атласы	Легенды				Стандартные цвета	Индексы			Горные почвы				Гранулометрический состав				Состав ПП			Структура ПП (фигурные сетки, штриховки)		
	Тип		Произвольный или алфавитный порядок			Буквенные	Цифровые	Нет	Способ показа		Не выделены		Способ показа		Не показан		Способ показа		Не показан			
Назначение	Количество	Список простой	Список	Группированный	Таблица	Произвольный или алфавитный порядок																
Учебно-справочные	14	9	5	–	–	10	6	4	4	4	6	2	2	2	4	–	10	2	7	5	2	2
Для широкого круга	16	12	4	–	2	9	7	4	5	5	6	4	1	1	9	–	7	2	8	6	–	–
Научно-справочные	11	6	2	3	1	8	4	4	3	3	8	5	2	1	5	2	4	2	5	4	1	1
Всего	41	27	11	3	3	27	17	12	12	12	20	11	5	4	18	2	21	6	20	15	3	3
%		66	27	7	7	66	42	29	29	29	55	25	25	20	44	5	51	15	49	36		

Общие особенности почвенных карт в атласах. Базовые почвенные карты в атласах незначительно различаются в отношении концептуальной основы, больше различий отмечено в полноте информации и способах изображения. Значительная часть карт составлена в масштабах от 1:1 000 000 до 1:3 000 000, но есть карты и другого масштаба в зависимости от размера территории и формата атласа.

Содержание почвенных карт в атласах определяется общепринятой зонально-фациальной концепцией строения почвенного покрова. Практически все почвенные карты составлены в системе традиционных представлений о зонах и подзонах, иногда учитываются фациальные особенности почв; им соответствует используемая почти везде факторно-генетическая классификация почв СССР 1977 г. В XXI в. появились почвенные карты с легендой в новой классификации почв России 2004 г., это атласы Ханты-Мансийского АО [2004], Курильских островов [2009], Иркутской области [Атлас. Иркутск и Иркутская..., 2010; 2018], бассейна Байкала [Экологический атлас бассейна..., 2015], Арктики [Национальный атлас Арктики, 2017].

Преобладающий таксономический уровень почв в учебно-справочных атласах – типы и подтипы, редко роды. В научно-справочных атласах почвы представлены на различных таксономических уровнях, часто до видов и разновидностей. Как принято в почвенном картографировании, таксономический уровень почв определяется масштабом карты, контрастностью почвенного покрова, размерами ареалов и их значением для отражения региональной специфики территории.

Практически на всех почвенных картах в рассмотренных атласах показаны природные почвы, не подверженные антропогенным воздействиям. Даже в атласах последнего периода практически нет информации об антропогенных почвах, что не соответствует современной реальности.

Пахотные почвы показаны только на карте в атласе Московской области [Московская область..., 2005]. Они даны в ареалах пашни штриховкой как аналоги природных почв. Больше агропочв нет ни на одной карте даже в пределах земледельческой зоны страны. В атласе Калининградской области [Географический атлас Калининградской..., 2002] есть раздел легенды «Окультуренные почвы», в котором представлены аналоги природных почв, измененные интенсивным и давним земледельческим использованием. Но они показаны, так же как и природные почвы, цветным фоном, т. е. визуально не выделены.

Нарушенные почвы (без разделения и названий) есть в легенде на карте Курильских островов [2009]; урбаноземы и другие нарушенные почвы (также без разделения) – на карте Удмуртской Республики

[2016]. В двух атласах имеются отдельные карты городов: на почвенной карте Саратова [Учебно-краеведческий..., 2013] наряду с природными почвами показаны антропогенные почвы и почвогрунты; на карте Перми [Атлас Пермского..., 2012] показаны урбопеδοкомплексы. Введение на почвенные карты антропогенно-измененных почв имеет много сложностей и проблем, методология еще слабо разработана, однако уже есть определенный опыт [Герасимова, Богданова, 2013].

Состав почвенного покрова на картах отражается введением в ареалы основной почвы (обычно зональной) одной-двух сопутствующих почв, занимающих малые площади, которые не могут быть показаны в силу масштаба. Чаще всего сопутствующими бывают различные болотные почвы, реже – модификации зональных почв, связанные с дополнительными процессами (оглеением, солонцеватостью и т. д.) или с особенностями почвообразующих пород. Информация о составе почвенного покрова присутствует на 60% почвенных карт. Сопутствующие почвы отсутствуют преимущественно на картах учебно-справочных атласов ранних периодов, поскольку в учебных целях подчеркивались главные закономерности, а сведения о сопутствующих почвах могли быть избыточны.

Информация о структуре почвенного покрова на картах атласов встречается редко. Исключением является почвенная карта Ярославской области в обоих атласах [Атлас Ярославской..., 1999; Экологический атлас Ярославской..., 2015], где она представляет основное содержание: характеризуется состав почвенных комбинаций, их формы, генезис, условия рельефа и почвообразующие породы. Много внимания уделено криогенным комплексам – их компонентам и геометрическим формам в атласах Арктики [Атлас Арктики, 1985; Национальный атлас Арктики, 2017]. На карте в атласе Красноярского края [1994] структуре почвенного покрова посвящен отдельный раздел легенды с горными и равнинными вариантами структур, характеристической генезиса, типов и геометрических форм структур почвенного покрова.

Гранулометрический состав почв – важный элемент содержания почвенной карты, как в почвенно-генетическом, так и прикладном отношениях. Гранулометрический состав показан в целом на 46% карт всей выборки. Количество единиц гранулометрического состава на картах колеблется от 2 до 26. По категориям атласов прослеживается следующая закономерность, соответствующая их назначению: в научно-справочных атласах гранулометрический состав присутствует в 68%, в атласах для широкого круга – в 67%, а в учебно-справочных – в 29% почвенных карт.

В 12 атласах кроме гранулометрического состава почв содержатся сведения о почвообразующих породах: плотных осадочных и магматических, их гранулометрическом, химическом составе, иногда генезисе. Например, в атласе Вологодской области [1965] представлено девять вариантов генезиса почвообразующих пород. В атласе Алтайского края [1978] детально представлена информация о породах в сочетании с условиями рельефа: гранулометрический состав почв равнин на рыхлых четвертичных отложениях, почв гор на плотных и рыхлых отложениях, подстилающие породы.

Традиционно на почвенных картах отражаются условия рельефа, прежде всего разделение почв на равнинные и горные. В нашей выборке имеется 50 атласов областей, где имеются горные территории; из них в 43 атласах выделены почвы горных территорий, в остальных атласах горные почвы никак не отделены от равнинных. Есть примеры более детального разделения. В атласе Иркутской области [2004] почвы сгруппированы по условиям рельефа следующим образом: почвы высокогорий и подгольцового пояса, гор, плато и предгорий, равнин и межгорных понижений.

К элементам содержания почвенных карт относятся также ландшафтные зоны/подзоны, иногда они служат основой группировки почв в легенде. Таких атласов только четыре, что, в частности, определяется относительно большими размерами территорий, расположенных в пределах нескольких зон. В выборке присутствуют атласы других крупных территорий, на картах которых ландшафтные условия не отражаются.

На почвенных картах встречаются также дополнительные сведения: мерзлотные условия, проявления процессов эрозии, засоления, осолодения, наличие второго гумусового горизонта и др.

Легенды большинства карт отражают зональную концепцию, а их структура следует определенным правилам [Герасимова и др., 2010]. Традиционно почвы помещаются в легенде в строгой последовательности: зональные почвы равнинных территорий перечисляются с севера на юг, горных территорий – от вершины к подножью. Почти во всех атласах легенды даны в виде списка почв: в 60% атласов легенды представляют собой простой список почв, в 35% – список группированный: почвы объединены в общности по условиям рельефа и/или по ландшафтным зонам. Оригинальная классификационная группировка имеется в атласе Адыгеи [2001], где группы выделены по генетическим типам и подтипам почв, а единицы легенды соответствуют видам и разновидностям. Группированные легенды позволяют ввести дополнительную информацию о почвах или условиях почвообразования и подчеркивают концепцию карты.

Примером избыточной насыщенности информацией служит легенда в атласе Иркутской области [2004], в ней почвы сгруппированы по условиям рельефа и высотным поясам. В легенде дается подробная характеристика условий почвообразования (породы, растительность и ее продуктивность, длительность промерзания почв) и приводятся сведения о некоторых свойствах почв (кислотность, емкость поглощения, режим увлажнения); каждая категория легенды содержит сведения не по одной почве, а по двум-трем, и таким образом характеризуется состав почвенного покрова. В результате существенно увеличивается информативность карты, однако «теряются» главные сведения о самих почвах и легенда становится трудной для восприятия.

Примером отказа от традиционной последовательности почв в легенде может служить организация легенды по алфавиту. Так построены легенды карт в атласах Пермского края [2012] и Владимирской области [Экологический атлас Владимирской..., 2007]. Заметим, что на широко известной Почвенной карте мира проекта ФАО/ЮНЕСКО произвольный порядок почв подчеркивает отсутствие какой-либо концепции [FAO/UNESCO, 1971–1981]. Произвольный порядок почв в легенде принят на картах в атласах Чечено-Ингушской АССР [1978] и Республики Бурятия [2000]. Учитывая, что эти атласы предназначены для неспециалистов, такой тип легенды существенно усложняет ее восприятие.

Табличные легенды встречаются редко – всего на пяти картах (из 100), они позволяют вводить дополнительные сведения, увеличивающие информативность карты. Так, табличная легенда карты в Экологическом атласе Мурманской области [1999] содержит показатели биогенности почв, карта в атласе Курильских островов [2009] построена по гранулометрическому составу, бассейна Байкала [Экологический атлас бассейна..., 2015] – по составу почвенного покрова, в атласах Ярославской области [Атлас Ярославской..., 1999; Экологический атлас Ярославской..., 2015] – по типам структур почвенного покрова.

Количество единиц легенды, безусловно, зависит от масштаба карты, размера территории и сложности почвенного покрова, но в целом можно отметить, что в ряду атласов от учебно-справочных к научно-справочным оно существенно возрастает. Для первых оно обычно колеблется от 6 до 25, для научно-справочных – от 20 до 78 единиц [Атлас Алтайского..., 1978].

В некоторых атласах используются некорректные формулировки в легендах. Например, легенды почвенных карт озаглавлены следующим образом: «Типы почв», «Виды почв», «Почвенное районирование», «Типизация почв». По традиции легенда не требует дополнительных названий, и обычно

легенды начинаются со слов «Почвы» или «Почвы равнин».

Приемы картографического изображения.

Одним из важных способов обеспечения высокого уровня почвенных карт, имеющих достаточно сложное содержание, являются приемы графического оформления. От них во многом зависят объем информации, выразительность и читаемость карты, ее эстетическое восприятие.

Легенды и приемы оформления отечественных почвенных карт были разработаны ведущими специалистами, почвоведом-картографом Почвенного института им. В.В. Докучаева В.Я. Марусовой, В.П. Форсенковым под руководством Л.И. Прасолова, позднее Е.Н. Рудневой. Они были реализованы при создании многих карт, прежде всего листов Государственной почвенной карты СССР масштаба 1:1 000 000, Почвенной карты РСФСР масштаба 1:2 500 000 [1988], Почвенной карты Нечерноземной зоны РСФСР масштаба 1:1 500 000 [1978]. Эти карты являются образцами высокой картографической культуры, примерами сочетания большой информативности, оптимального подбора изобразительных средств и высоких эстетических качеств.

Цветовая шкала. Цвет, как главный способ изображения, обеспечивает различимость объектов, улучшает читаемость и наглядность, помогает выявить взаимосвязи явлений, их соподчиненность, увеличивая таким образом информативность карты. Начиная с работ В.В. Докучаева, почвам, как и геологическим формациям, присвоены определенные цвета; они ассоциируются с какими-либо особенностями зональных ландшафтов или со свойствами почв. Близкие цвета должны подчеркивать близость генезиса и свойств почв, а контрастность свойств соседних ареалов почв должна быть подчеркнута различными тонами. Сложившаяся шкала цветов и оттенков стала привычной и служит эталоном при оформлении отечественных почвенных карт. Широко используемые в настоящее время компьютерные технологии дизайна карт, базируясь на принципах традиционной картографии, развивают их благодаря существенно большим возможностям в подборе цветов, оттенков, насыщенности и т. д. для адекватного отображения логических связей и соподчиненности картографируемых объектов [Востокова и др., 2002; Сваткова, 2012].

Доля стандартных цветов среди карт всей выборки атласов в рассматриваемом возрастном ряду по двадцатилетиям изменялась следующим образом: 84 → 75 → 66%. На картах научно-справочных атласов использовались преимущественно традиционные цвета, однако в атласах современного периода появились карты с произвольной окраской ареалов почв. Отход от традиционной цветовой

гаммы приводит к искажению восприятия карты и неудобствам при работе с несколькими картами; причины этой тенденции, к сожалению, непонятны.

Важным элементом, облегчающим работу с картой, является *индексация* почв. Буквенные индексы были специально разработаны при создании Государственной почвенной карты, они стандартны, легко узнаваемы, дают представление о генетических чертах почв и удобны при работе с картой, как цифровой, так и бумажной. Цифровые индексы – номера почв по порядку в легенде – менее удобны, так как необходимо постоянно обращаться к легенде. Но они просты, компактны и технологичны в отличие от сложных комбинаций букв с надстрочными и подстрочными знаками. В целом, буквенные индексы использовались на 28% карт, цифровые – на 38%, индексы отсутствовали на 34% всех карт. На почвенных картах научно-справочных атласов буквенные индексы применялись чаще, чем цифровые; в первые два периода индексы использовались на всех картах и только в современный период появились карты без индексов.

При коротких легендах нет строгой необходимости вводить индексацию, хотя и в таких случаях она помогает чтению карт. Но при легендах, содержащих более 15–20 единиц, индексация необходима. Без индексов и при использовании нестандартных цветов составлены почвенные карты в некоторых атласах [Атлас Республики Татарстан, 2005; Атлас Пермского края, 2012; Экологический атлас бассейна..., 2015]. Легенды этих карт содержат 20, 30 и 47 единиц соответственно, и отсутствие индексов существенно затрудняет чтение карты.

Штриховой фон на почвенных картах используется для разных целей.

Гранулометрический состав традиционно показывается штриховками разного рисунка и плотности; так сделано на 41% карт всей выборки, а на картах научно-справочных атласов – на 57% карт. На шести картах сведения о гранулометрическом составе добавлены в легенду к названиям почв, что, по нашему мнению, ограничивает наглядность и информативность карты. По категориям атласов ясно прослеживается следующая закономерность: в научно-справочных атласах гранулометрический состав показан тем или иным способом (т. е. штриховкой или в легенде) в 67%, в атласах для широкого круга – в 65%, а в учебно-справочных – в 27% карт.

Горные почвы обычно выделяются на картах косой штриховкой. Черная штриховка или белая штриховка (тонкие белые полосы по фону основного цвета почвы) зрительно отделяет горные территории от равнинных, символизируя фрагментарность почвенного покрова в горах и крутизну горных склонов. В некоторых атласах в легендах

представлены все горные почвы, а в других – только не имеющие аналогов на равнинах, например, горно-луговые. На картах 50 областей, где имеются горные территории, косая штриховка используется примерно на половине карт. На 26% карт горные почвы только названы в легендах, что явно не способствует наглядности карт. На 14% карт горные почвы никак не отделены от равнинных. На картах научно-справочных атласов в целом горные почвы показаны штриховкой на 76% карт и никак не выделены только на некоторых картах современного периода. В учебных (!) атласах Иркутской области [2010 и 2018] в легенде присутствуют горные почвы – органо-аккумулятивные и литоземы, но о том, что они горные, написано только в пояснительном тексте.

Состав почвенного покрова показан разными способами: внесмасштабными значками в ареалах основных почв, формулами из индексов почв или сочетаниями почв в легенде. Значки используются только на 14% карт выборки. Часто информация о сопутствующих почвах перенесена в легенду, на 48% карт в легенде даны сочетания основной почвы с одной-двумя сопутствующими. Например, в Экологическом атласе бассейна Байкала [2015] каждая единица легенды основного списка дополнена сопутствующими почвами (15–20%) и встречающимися (5–10%), что рационально, так как при очень высокой дробности контурной части внесмасштабные значки существенно перегрузили бы карту. В то же время такой способ не позволяет отразить разнообразие сочетаний почв. В большинстве случаев этот подход уменьшает наглядность карты и вызывает необходимость часто обращаться к легенде. Перенесение информации в легенду выросло за весь период с 40 до 48% карт всей выборки. На 40% карт, преимущественно в учебно-справочных атласах, сопутствующие почвы отсутствуют. Количество карт без информации о составе почвенного покрова немного уменьшилось, но осталось довольно высоким.

Информация о структуре почвенного покрова редко встречается на просмотренных картах. Традиционно показывались на почвенных картах почвенные комплексы, как своеобразный тип строения почвенного покрова. Оптимальным изобразительным средством для них являются цветные фигурные сетки, которые позволяют, прежде всего, резко отделить их от других территорий, отразить регулярную повторяемость почв, составляющих комплексы, их состав и геометрические формы. Криогенным комплексам уделено много внимания в атласах Арктики [Атлас Арктики, 1985; Национальный атлас Арктики, 2017]. Криогенные и галогенные комплексы очень детально представлены на Почвенной карте РСФСР [1988]. В анализируемой выборке на вось-

ми картах штриховками или фигурными сетками показаны почвенные комбинации – сочетания и комплексы. В то же время имеются два относительно новых атласа – Волгоградской [1993] и Астраханской [1997] областей, где широко распространены галогенные почвенные комплексы. Комплексам посвящены разделы легенд с указанием доли участия зональных, засоленных почв и солонцов в процентах, но, к сожалению, цветные фигурные сетки, как наиболее наглядный способ показа почвенных комплексов, не используются.

Подводя итоги анализа графических приемов, можно отметить, что намечается тенденция перевода части информации в легенду и отказ от разнообразия изобразительных средств (рис. 2). Конечно, перенос информации в легенду имеет место среди разнообразных почвенных карт не только в комплексных атласах, но это оправдано при большой информационной насыщенности, чтобы не перегружать карту и сохранить ее наглядность и легкую читаемость. В нашей выборке такие случаи нечасты. Многие карты из графических приемов используют только цвет, а вся остальная информация перенесена в легенду, что технически, конечно, упрощает процесс составления, но существенно снижает наглядность карты.

Особенности почвенных карт в некоторых региональных атласах. Среди рассмотренных атласов выделяется несколько изданий, отличающихся более высоким уровнем информативности почвенных карт от атласов своей группы, несмотря на сравнительно невысокое разнообразие почв на территории.

Атлас Псковской области [1969] создан сотрудниками Ленинградского университета для широкого круга пользователей; почвенная карта в нем по уровню информативности приближается к картам научно-справочных атласов. Легенда содержит 22 единицы почв и их сочетаний (показанных фигурными сетками) с буквенными индексами, 11 вариантов гранулометрического состава почв и почвообразующих пород. Высока дробность контурной нагрузки.

Почвенная карта учебного атласа Кабардино-Балкарской Республики [1997] содержит в легенде 53 единицы; кроме основного списка почв показаны эродированные, дефлированные и намытые почвы. В легенде почвы сгруппированы по условиям рельефа и ландшафтными зонам.

В учебном атласе Пермского края [Атлас. География Пермского..., 2020] в легенде почвенной карты имеется 36 единиц почв, в том числе один грядово-мочажинный болотный комплекс (показанный штриховкой), 16 единиц гранулометрического состава почв и почвообразующих пород. Отмечены ареалы развития водной эрозии разной интенсивности.

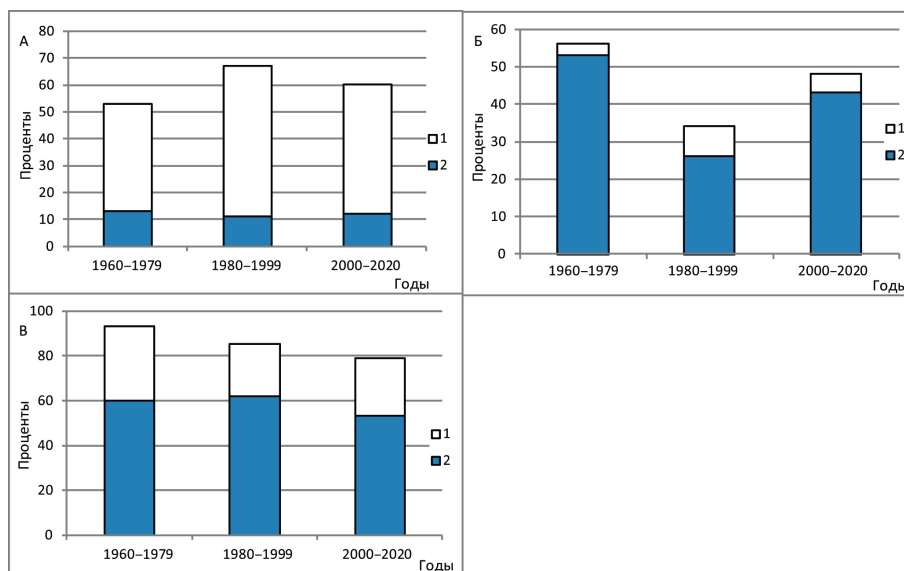


Рис. 2. Использование графических приемов и перенос информации в легенду на картах всех типов атласов (%):
 А – состав почвенного покрова: 1 – в легенде; 2 – значки; Б – гранулометрический состав почв: 1 – в легенде; 2 – штриховки;
 В – горные почвы: 1 – в легенде; 2 – штриховки

Fig. 2. Conventions: graphic techniques and transfer of information to the legends for all types of atlases (%):
 А – soil cover composition: 1 – in the legend; 2 – symbols; Б – soil texture: 1 – in the legend; 2 – hatching; В – soils of the mountains:
 1 – in the legend; 2 – hatching

Особенного внимания заслуживает Учебно-краеведческий атлас Саратовской области [2013]. Легенда почвенной карты содержит 36 единиц, в том числе девять вариантов комплексов с процентным участием почв (показанных штриховками). Кроме карт области есть раздел, посвященный городу Саратову, состоящий из 15 карт различного содержания; в их числе имеется почвенная карта с показом природных и антропогенных почв, а также карты возраста и генезиса почвообразующих пород. Надо отметить, что в нашей выборке это единственный атлас, который содержит специальный раздел карт города.

Примером содержательного и прекрасно иллюстрированного атласа небольшой территории служит Атлас Амгинского улуса Якутии [2011]. Легенда почвенной карты содержит всего девять единиц (в том числе мелкоконтурные сочетания), разделенных по ландшафтным и мерзлотным условиям; имеется четыре варианта гранулометрического состава почв и почвообразующих пород, два варианта строения поверхности (по абсолютным высотам и степени расчленения).

К сожалению, в выборке имеются и неудачные картографические решения. В двух атласах – Пермского края [2012] и Владимирской обл. [Экологический атлас Владимирской..., 2007] – почвенные карты составлены методом «пластики рельефа» (что очевидно по рисунку контуров), широко рекламировавшемуся в конце прошлого века. Метод подвергался заслуженной критике, на таких картах ис-

кажется рисунок почвенного покрова, нарушается соотношение площадей почв [Гедымин, Сорокина, 1988]. Неясно, каким образом в таком случае проводилось согласование карт природного блока, являющееся методологической основой комплексного атласа [Комплексные..., 1976].

Оценка изменений в содержании и оформлении почвенных карт, обновление карт. В нашу выборку входит ряд субъектов РФ, по которым имеются атласы разных лет издания, что позволяет выявить временные тренды в изменении или обновлении карт, несмотря на их относительность, поскольку атласы часто имеют разное назначение и масштаб почвенных карт.

В целом можно отметить некоторое повышение информативности карт учебно-справочных атласов. В ранний период среди них преобладали очень простые обобщенные карты по легенде и по контурной нагрузке. Со временем информативность карт возросла, чаще показывается состав почвенного покрова, гранулометрический состав, вводятся некоторые дополнительные характеристики, что вовсе не противоречит их учебному назначению; карты более адекватно отражают разнообразие и сложность почвенного покрова.

Увеличивается информативность карт за счет расширения списка почв в легенде в ряде атласов, например атласы Дагестана [Атлас Дагестанской..., 1979; Атлас Республики Дагестан..., 1999; Географический атлас Дагестанской..., 1964], Башкортостана [Атлас Башкирской..., 1976; Атлас

Республики Башкортостан, 1992; Атлас Республики Башкортостан, 2005; Историко-культурный..., 2007], Астраханской области [1968, 1997], Оренбургской области [1969, 1999]. Однако и в более поздних изданиях часто отсутствуют сведения о гранулометрическом составе и рельефе.

В научно-справочных атласах Иркутской области [1962, 2004] существенно расширился список почв, детализированы условия рельефа, введены дополнительные характеристики почв. В атласах Ямало-Ненецкого АО [Атлас Ямало-Ненецкого..., 1997; Географический атлас Ямало-Ненецкого..., 2004] увеличилось количество единиц почв, введено 13 вариантов комплексов, три варианта гранулометрического состава. В качестве дополнительной характеристики введены эродированные почвы (или процессы эрозии разной интенсивности) на картах в атласах Курской области [2000] и Пермского края [2020].

В ряде атласов никакого обновления не отмечено, воспроизводится карта предыдущего издания, например атласы Белгородской [Атлас Белгородской..., 1982; Атлас. Природные ресурсы..., 2005; Географический атлас Белгородской..., 2018], Новосибирской [1979, 2002], Тамбовской [1966, 1981, 1999] областей.

Обновление содержания карт в плане отражения антропогенных почв практически отсутствует.

Проведенный анализ позволяет высказать ряд пожеланий в отношении дальнейших работ по составлению атласных почвенных карт. Обновление почвенных карт в региональных атласах может идти в нескольких направлениях:

- увеличение дробности легенды и контурной части, показ состава и строения почвенного покрова, гранулометрического состава почв, состава почвообразующих пород, благодаря использованию

новых сведений, региональных публикаций о почвах, материалов дистанционного зондирования;

- введение дополнительных характеристик почв (в легенду и/или на саму карту), например по условиям почвообразования (рельеф, породы, ландшафтные зоны, мерзлота);

- введение на карту антропогенно-спровоцированных процессов, например эрозии – наиболее распространенного деградационного процесса;

- введение новых антропогенных почв, прежде всего агропочв;

- перевод в новую классификацию.

ВЫВОДЫ

Почвенные карты в атласах второй половины прошлого века составлялись в зональной концепции. Почвы в основном соответствовали классификации 1977 г. с некоторыми дополнениями. Среди атласных карт последнего периода имеются карты, составленные с элементами субстантивно-генетической классификации почв России. Очевидно, что научно-справочные атласы отличаются наиболее высоким научным уровнем и информативностью.

На картах атласов использовались разнообразные приемы картографического изображения. В современный период компьютерные технологии существенно увеличили возможности составления, корректировки карт, подбора цветовой шкалы, введения новой информации. Однако приемы графического оформления карт, от которых зависят объем информации, выразительность и читаемость карты, ее эстетическое восприятие, используются в последние годы не в полной мере.

Как общую тенденцию следует отметить недостаточное обновление содержания карт, ослабление традиций отечественной почвенной картографии.

Благодарности. Авторы благодарят Н.В. Рябову за помощь в подготовке иллюстраций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андроников В.Л., Руднева Е.Н. Почвенно-географические закономерности и принципы отображения почвенного покрова на почвенной карте Российской Федерации // Почвоведение. 1993. № 10. С. 19–27.
- Атлас Алтайского края. М.: ГУГК, 1978. Т. 1.
- Атлас Амгинского улуса (района) Республики Саха (Якутия). Якутск, 2011.
- Атлас Арктики. М.: ГУГК, 1985.
- Атлас Астраханской области. М.: ГУГК, 1968.
- Атлас Астраханской области. М.: Роскартография, 1997.
- Атлас Башкирской АССР. М.: ГУГК, 1976.
- Атлас Белгородской области. М.: ГУГК, 1982.
- Атлас Волгоградской области. Киев, 1993.
- Атлас Вологодской области. М.: ГУГК, 1965.
- Атлас. География Пермского края. Пермь, 2020.
- Атлас Дагестанской АССР. М.: ГУГК, 1979.
- Атлас Иркутской области. М.: Иркутск, 1962.
- Атлас. Иркутск и Иркутская область. Иркутск, 2010.
- Атлас. Иркутск и Иркутская область. Иркутск, 2018.
- Атлас Иркутской области. Экологические условия развития. М.; Иркутск, 2004.
- Атлас Кабардино-Балкарской Республики. М.: ГУГК, 1997.
- Атлас Красноярского края и Республики Хакасии. М.: Роскартография, 1994.
- Атлас Курильских островов. М.; Владивосток, 2009.
- Атлас Курской области. М.: Роскартография, 2000.
- Атлас Новосибирской области. М.: ГУГК, 1979.
- Атлас Новосибирской области. М.: Роскартография, 2002.
- Атлас Оренбургской области. М.: ГУГК, 1969.
- Атлас Оренбургской области. М.: ГУГК, 1999.
- Атлас Пермского края. Пермь, 2012.

- Атлас. Природные ресурсы и экономическое состояние Белгородской области. Белгород, 2005.
- Атлас Псковской области. М.: ГУГК, 1969.
- Атлас Республики Адыгея. Майкоп, 2001.
- Атлас Республики Башкортостан. М.: ГУГК, 1992.
- Атлас Республики Башкортостан. Уфа: Китап, 2005.
- Атлас Республики Бурятия. М.: ГУГК, 2000.
- Атлас Республики Дагестан. М.: ГУГК, 1999.
- Атлас Республики Татарстан. М.: Роскартография, 2005.
- Атлас Тамбовской области. М.: ГУГК, 1966.
- Атлас Тамбовской области. М.: ГУГК, 1981.
- Атлас Тамбовской области. М.: Роскартография, 1999.
- Атлас Удмуртской республики. М.: Феория, 2016.
- Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том II: Природа и экология. Ханты-Мансийск; М., 2004.
- Атлас Чечено-Ингушской АССР. М.: ГУГК, 1978.
- Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Тюмень. 2004.
- Атлас Ярославской области. М.: ДИК, 1999.
- Атласное картографирование: традиции и инновации. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2015. 228 с.
- Богданова М.Д., Герасимова М.И. Карты почвенной тематики в отечественных комплексных и специальных атласах с середины XX века и до нашего времени / Материалы 3-й Всероссийской науч. конференции, Пушино. 2017. С. 74–76.
- Востокова А.В., Кошель С.М., Ушакова Л.А. Оформление карт. Компьютерный дизайн. М.: Аспект Пресс, 2002. 288 с.
- Гедымин А.В., Сорокина Н.П. О методе «пластики рельефа» // Почвоведение. 1988. № 6. С. 110–120.
- Географический атлас Белгородской области: природа, общество, хозяйство. Белгород: КОНСТАНТА, 2018.
- Географический атлас Дагестанской АССР. Махачкала, 1964.
- Географический атлас Калининградской области. Калининград, 2002.
- Географический атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. М.: ДИК, 1999.
- Географическое картографирование: карты природы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2016. 316 с.
- Герасимова М.И., Богданова М.Д. Проблемы мелкомасштабного картографирования антропогенно-измененных почв / Структура и морфогенез почвенного покрова в условиях антропогенного воздействия // Материалы Международной конференции, Минск: Издат. центр БГУ, 2013. С. 3–6.
- Герасимова М.И., Гаврилова И.П., Богданова М.Д. Мелкомасштабное почвенное картографирование. М.: Географический факультет МГУ, 2010. 90 с.
- Герасимова М.И., Богданова М.Д. Почвы в национальных атласах разных стран // Почвоведение. 2015. № 9. С. 1036–1048.
- Государственная почвенная карта СССР масштаба 1:1 000 000.
- Губанов М.Н., Калинин И.В., Карпович Л.Л. Комплексный атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: новый подход к созданию региональных атласов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2009. № 3. С. 43–49.
- Заруцкая И.П., Красильникова Н.В. Проектирование и составление: карты природы. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. 210 с.
- Историко-культурный энциклопедический атлас Республики Башкортостан. М.; Уфа: ДИК, 2007.
- Картоведение / под ред. А.М. Берлянта. М.: Аспект Пресс, 2003. 477 с.
- Картографическая изученность России (топографические и тематические карты) / под ред. А.А. Лютого и Н.Н. Комедчикова. М.: ИГРАН, 1999. 319 с.
- Касимов Н.С., Котляков В.М., Котова Т.В., Тикунов В.С. Тематическое и атласное картографирование: современное состояние и перспективы // Геодезия и картография. 2012. № 11. С. 40–47.
- Комедчиков Н.Н., Котляков В.М., Краюхин А.Н., Тикунов В.С. Атласная картография в России в начале нового тысячелетия: итоги и перспективы // Геодезия и картография. 2011. № 1. С. 18–22.
- Комплексные региональные атласы / под ред. К.А. Салищева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. 638 с.
- Котова Т.В. Региональное атласное картографирование: развитие, проблемы, перспективы // Университетская школа географической картографии. К 100-летию профессора К.А. Салищева. М.: Аспект Пресс, 2005. С. 97–104.
- Московская область. История. Культура. Экономика. М.: Феория, 2005.
- Национальный атлас Арктики. М.: Роскартография, 2017.
- Почвенная карта Нечерноземной зоны РСФСР. Масштаб 1:1 500 000 / отв. ред. В.М. Фридланд. М.: ГУГК, 1978.
- Почвенная карта РСФСР. Масштаб 1:2 500 000 / гл. ред. В.М. Фридланд. М.: ГУГК, 1988.
- Руднева Е.Н. Проблемы почвенной картографии в трудах Е.Н. Ивановой и принципы отображения на картах почвенного покрова // Почвоведение. 1990. № 1. С. 48–57.
- Салищев К.А. Национальные и региональные атласы (принципы и перспективы) // Пути развития картографии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. С. 197–209.
- Сваткова Т.Г. Атласная картография. М.: Аспект-Пресс, 2002. 204 с.
- Сваткова Т.Г. Преемственность традиций географической картографии на этапе компьютеризации // Современная географическая картография. М.: Дата+, 2012. С. 114–120.
- Учебно-краеведческий атлас Саратовской области. Саратов, 2013.
- Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2015.
- Экологический атлас Владимирской области. Владимир, 2007.
- Экологический атлас Мурманской области. М.; Апатиты, 1999.
- Экологический атлас Ярославской области. Ярославль, 2015.
- FAO/UNESCO. Soil map of the world, scale 1:5 000 000. 1971–1981, Sheet I. Legend.

Поступила в редакцию 13.04.2022

После доработки 25.06.2022

Принята к публикации 27.06.2022

SOIL MAPS IN COMPLEX REGIONAL ATLASES OF THE CONSTITUENT ENTITIES OF THE RUSSIAN FEDERATION

M.D. Bogdanova¹, M.I. Gerasimova²

^{1,2} *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography,
Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography*

¹ *Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: md-bogdanova@yandex.ru*

² *Professor, D.Sc. in Biology; e-mail: maria.i.gerasimova@gmail.com*

The content, legends and methods of designing the basic soil maps in complex regional atlases published over the past 60 years were analyzed. The atlases were grouped in accordance with the time of publication and potential users. The main attention was paid to the content and conceptual background of maps, their compliance with the rules and experience of traditional soil mapping in Russia, as well as to the requirements for soil maps, i. e. completeness of information with new knowledge included, visual clarity and readability. The content of maps is assessed in the following aspects: natural soils, presence of human-modified soils, classification used, soil cover composition and pattern, relief, and soil texture. The legends were evaluated in terms of information on soils and presentation of the mapping concepts, namely, legend structure, the number of units and the order of soils in the legend; methods of cartographic presentation were discussed as well. Soil maps in the atlases dating from the second half of the last century were compiled in accordance with the zonality concept; the soils basically corresponded to the USSR soil classification (1977) with some additions. In the atlases of the latest period, there are several maps compiled according to the new classification of soils in Russia. Soil maps in the atlases mostly used standard cartographic techniques; at present a certain deviation from the rules and standards of traditional soil cartography is obvious, which affects the information content and visual clarity of maps.

Keywords: natural and anthropogenic soils, types of legends, design methods, requirements, map updating

Acknowledgements. The authors are grateful to N.V. Ryabova for her assistance in preparing illustrations.

REFERENCES

- Andronikov V.L., Rudneva E.N. Pochvenno-geograficheskie zakonomernosti i printsipy otobrazheniya pochvennogo pokrova na pochvennoj karte Rossijskoj Federatsii [Soil-geographical regularities and principles of soil cover visualization on the soil map of the Russian Federation], *Pochvovedenie*, 1993, no. 10, p. 19–27. (In Russian)
- Atlas Altaiskogo kraja* [Atlas of the Altai Krai], Moscow: Main Directorate of Geodesy and Cartography, vol. 1, 1978. (In Russian)
- Atlas Amginskogo ulusa (raiona) Respubliki Sakha (Yakutiya)* [Atlas of the Amginsky ulus (district) of the Republic of Sakha (Yakutia)], Yakutsk, 2011. (In Russian)
- Atlas Arktiki* [Atlas of the Arctic], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1985. (In Russian)
- Atlas Astrakhanskoi oblasti* [Atlas of the Astrakhan region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1968. (In Russian)
- Atlas Astrakhanskoi oblasti* [Atlas of the Astrakhan region], Moscow, Roskartografiya, 1997. (In Russian)
- Atlas Bashkirskoi ASSR* [Atlas of the Bashkir ASSR], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1976. (In Russian)
- Atlas Belgorodskoi oblasti* [Atlas of the Belgorod region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1982. (In Russian)
- Atlas Checheno-Ingushskoi ASSR* [Atlas of the Chechen-Ingush ASSR], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1978. (In Russian)
- Atlas Dagestanskoi ASSR* [Atlas of the Dagestan ASSR], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1979. (In Russian)
- Atlas Irkutskoi oblasti* [Atlas of the Irkutsk region], Moscow, Irkutsk, 1962. (In Russian)
- Atlas Irkutskoi oblasti, Ekologicheskie usloviya razvitiya* [Atlas of the Irkutsk region. Ecological conditions of development], Moscow, Irkutsk, 2004. (In Russian)
- Atlas Kabardino-Balkarskoi Respubliki* [Atlas of the Kabardino-Balkarian Republic], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1997. (In Russian)
- Atlas Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga, Yugry, tom II, Priroda i ekologiya* [Atlas of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug, Yugra, vol. 2, Nature and ecology], Khanty-Mansiisk, Moscow, 2004. (In Russian)
- Atlas Krasnoyarskogo kraja i Respubliki Khakasii* [Atlas of the Krasnoyarsk Territory and the Republic of Khakassia], Moscow, Roskartografiya, 1994. (In Russian)
- Atlas Kuril'skikh ostrovov* [Atlas of the Kuril Islands], Moscow, Vladivostok, 2009. (In Russian)
- Atlas Kurskoi oblasti* [Atlas of the Kursk region], Moscow, Roskartografiya, 2000. (In Russian)
- Atlas Novosibirskoi oblasti* [Atlas of the Novosibirsk region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1979. (In Russian)
- Atlas Novosibirskoi oblasti* [Atlas of the Novosibirsk region], Moscow, Roskartografiya, 2002. (In Russian)
- Atlas Orenburgskoi oblasti* [Atlas of the Orenburg region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1969. (In Russian)

- Atlas Orenburgskoi oblasti* [Atlas of the Orenburg region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1999. (In Russian)
- Atlas Permskogo kraja* [Atlas of the Perm Krai], Perm', 2012. (In Russian)
- Atlas Pskovskoi oblasti* [Atlas of the Pskov region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1969. (In Russian)
- Atlas Respubliki Adygeya* [Atlas of the Republic of Adygea], Maikop, 2001. (In Russian)
- Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Republic of Bashkortostan], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1992. (In Russian)
- Atlas Respubliki Bashkortostan* [Atlas of the Republic of Bashkortostan], Ufa, Kitap, 2005.
- Atlas Respubliki Buryatiya* [Atlas of the Republic of Buryatia], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 2000. (In Russian)
- Atlas Respubliki Dagestan* [Atlas of the Republic of Dagestan], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1999. (In Russian)
- Atlas Respubliki Tatarstan* [Atlas of the Republic of Tatarstan], Moscow, Roskartografiya, 2005. (In Russian)
- Atlas Tambovskoi oblasti* [Atlas of the Tambov region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1966. (In Russian)
- Atlas Tambovskoi oblasti* [Atlas of the Tambov region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1981. (In Russian)
- Atlas Tambovskoi oblasti* [Atlas of the Tambov region], Moscow, Roskartografiya, 1999. (In Russian)
- Atlas Udmurtskoi respubliki* [Atlas of the Udmurt Republic], Moscow, Feoriya, 2016. (In Russian)
- Atlas Volgogradskoi oblasti* [Atlas of the Volgograd region], Kiev, 1993. (In Russian)
- Atlas Vologodskoi oblasti* [Atlas of the Vologda region], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1965. (In Russian)
- Atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug], Tyumen'. 2004. (In Russian)
- Atlas Yaroslavskoi oblasti* [Atlas of the Yaroslavl region], Moscow, Design, Informatics, Cartography, 1999. (In Russian)
- Atlas, Geografiya Permskogo kraja* [Atlas. Geography of the Perm Territory], Perm', 2020. (In Russian)
- Atlas, Irkutsk i Irkutskaya oblast'* [Atlas. Irkutsk and Irkutsk region], Irkutsk, 2010. (In Russian)
- Atlas, Irkutsk i Irkutskaya oblast'* [Atlas. Irkutsk and the Irkutsk region], Irkutsk, 2018. (In Russian)
- Atlas, Prirodnye resursy i ekonomicheskoe sostoyanie Belgorodskoi oblasti* [Atlas, Natural resources and economic state of the Belgorod region], Belgorod, 2005. (In Russian)
- Atlasnoe kartografirovanie: tradicii i innovacii* [Atlas mapping: traditions and innovations], Irkutsk, Institute of Geography Publ., SO RAN, 2015, 228 p. (In Russian)
- Bogdanova M.D., Gerasimova M.I. [Maps of soil topics in domestic complex and special atlases from the middle of the 20th century to the present], *Materialy 3 Vserossijskoj Nauchnoj konferentsii* [Proceedings of the 3rd All-Russian. Scientific conf.], 2017, p. 74–76. (In Russian)
- Ekologicheskii atlas basseina ozera Baikal* [Ecological Atlas of the Baikal Basin], Irkutsk, 2015. (In Russian)
- Ekologicheskii atlas Murmanskoi oblasti* [Ecological atlas of the Murmansk region], Moscow, Apatity, 1999. (In Russian)
- Ekologicheskii atlas Vladimirskoi oblasti* [Ecological atlas of the Vladimir region], Vladimir, 2007. (In Russian)
- Ekologicheskii atlas Yaroslavskoi oblasti* [Ecological atlas of the Yaroslavl region], Yaroslavl', 2015. (In Russian)
- FAO/UNESCO, *Soil map of the world, scale 1:5 000 000*, 1971–1981 Sheet I, Legend.
- Gedymin A.V., Sorokina N.P. O metode "plastiki rel'efa" [On the "relief plastics" method], *Pochvovedenie*, 1988, no. 6, p. 110–120. (In Russian)
- Geograficheskii atlas Belgorodskoi oblasti: priroda, obshchestvo, khozyaistvo* [Geographical atlas of the Belgorod region: nature, society, economy], Belgorod, KONSTANTA, 2018. (In Russian)
- Geograficheskii atlas Dagestanskoi ASSR* [Geographical atlas of the Dagestan ASSR], Makhachkala, 1964. (In Russian)
- Geograficheskii atlas Kaliningradskoi oblasti* [Geographic atlas of the Kaliningrad region], Kaliningrad, 2002. (In Russian)
- Geograficheskii atlas Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga* [Geographic atlas of the Yamalo-Nenets Autonomous Okrug], Moscow, Design, Informatics, Cartography, 1999. (In Russian)
- Geograficheskoe kartografirovanie: karty prirody* [Geographic mapping: maps of nature], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 2016, 316 p. (In Russian)
- Gerasimova M.I., Bogdanova M.D. [Problems of small-scale mapping of anthropogenically modified soils], *Struktura i morfogenez pochvennogo pokrova v usloviyakh antropogennogo vozdeistviya* [Structure and morphogenesis of the soil cover under anthropogenic impact], Mat-lы Intl. conf., Minsk, Publishing Center BSU, 2013, p. 3–6. (In Russian)
- Gerasimova M.I., Bogdanova M.D. Pochvy v nacional'nyh atlasah raznykh stran [Soils in national atlases of different countries], *Pochvovedenie*, 2015, no. 9, p. 1036–1048. (In Russian)
- Gerasimova M.I., Gavrilova I.P., Bogdanova M.D. *Melkomasshtabnoe pochvennoe kartografirovanie* [Small-scale soil mapping], Moscow, Faculty of Geography MSU, 2010, 90 p. (In Russian)
- Gosudarstvennaya Pochvennaya karta SSSR masshtaba 1:1 000 000* [State Soil Map of the USSR scale 1:1 000 000], (In Russian)
- Gubanov M.N., Kalinkin I.V., Karpovich L.L. Kompleksnyi atlas Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry: novyi podkhod k sozdaniyu regional'nykh atlasov [Complex atlas of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra: a new approach to the compilation of regional atlases], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2009, no. 3, p. 43–49. (In Russian)
- Istoriko-kul'turnyi entsiklopedicheskii atlas Respubliki Bashkortostan* [Historical and cultural encyclopedic atlas of the Republic of Bashkortostan], Moscow, Ufa, Design, Informatics, Cartography, 2007. (In Russian)
- Kartograficheskaya izuchennost' Rossii (topograficheskie i tematicheskie karty)* [Cartographic knowledge of Russia (topographic and thematic maps)], A.A. Lyutyj, N.N. Komedchikov (eds.), Moscow, IGRAN, 1999, 319 p. (In Russian)
- Kartovedenie* [Cartology], A.M. Berlyant (ed.), Moscow, Aspekt Press, 2003, 477 p. (In Russian)

- Kasimov N.S., Kotlyakov V.M., Kotova T.V., Tikunov V.S. Tematicheskoe i atlasnoe kartografirovanie: sovremennoe sostoyanie i perspektivy [Thematic and Atlas Mapping: Current State and Prospects], *Geodeziya i kartografiya*, 2012, no. 11, p. 40–47. (In Russian)
- Komedchikov N.N., Kotlyakov V.M., Krayuhin A.N., Tikunov V.S. Atlasnaya kartografiya v Rossii v nachale novogo tysyacheletiya: itogi i perspektivy [Atlas Cartography in Russia at the Beginning of the New Millennium: Results and Prospects], *Geodeziya i kartografiya*, 2011, no. 1, p. 18–22. (In Russian)
- Kompleksnye regional'nye atlasy* [Complex regional atlases], K.A. Salishchev (ed.), Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1976, 638 p. (In Russian)
- Kotova T.V. [Regional atlas mapping: development, problems, prospects], *Universitetskaya shkola geograficheskoy kartografii* [University School of Geographical Cartography. To the 100th anniversary of Professor K.A. Salishchev], Moscow, Aspekt Press, 2005, p. 97–104. (In Russian)
- Moskovskaya oblast'. Istoriya. Kul'tura. Ekonomika* [Moscow region. History. Culture. Economy], Moscow, Feoriya, 2005. (In Russian)
- Natsional'nyi atlas Arktiki* [National Atlas of the Arctic], Moscow, Roskartografiya, 2017. (In Russian)
- Pochvennaya karta Nechernozemnoi zony RSFSR, Masshtab 1:1 500 000*, otv. red. V.M. Fridland [Soil map of the Non-Chernozem zone of the RSFSR, Scale 1:1 500 000, V.M. Fridland (ed.)], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1978. (In Russian)
- Pochvennaya karta RSFSR, Masshtab 1:2 500 000*, gl. red. V.M. Fridland [Soil map of the RSFSR, Scale 1:2 500 000, V.M. Fridland (ed.)], Moscow, Main Directorate of Geodesy and Cartography, 1988. (In Russian)
- Rudneva E.N. Problemy pochvennoj kartografii v trudah E.N. Ivanovoj i printsipy otobrazheniya na kartah pochvennogo pokrova [Problems of soil cartography in the works of E.N. Ivanova and the principles of displaying soil cover on maps], *Pochvovedenie*, 1990, no. 1, p. 48–57. (In Russian)
- Salishchev K.A. [National and regional atlases (principles and prospects)], *Puti razvitiya kartografii* [Ways of development of cartography], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1975, p. 197–209. (In Russian)
- Svatkova T.G. [Continuity of traditions of geographical cartography at the stage of computerization], *Sovremennaya geograficheskaya kartografiya* [Modern geographic cartography], Moscow, Data+, 2012, p. 114–120. (In Russian)
- Svatkova T.G. *Atlasnaya kartografiya* [Atlas cartography], Moscow, Aspekt-Press, 2002, 204 p. (In Russian)
- Uchebno-kraevedcheskii atlas Saratovskoi oblasti* [Educational and local history atlas of the Saratov region], Saratov, 2013. (In Russian)
- Vostokova A.V., Koshel' S.M., Ushakova L.A. *Oformlenie kart. Komp'yuternyj dizajn* [Making maps. Computer design], Moscow, Aspekt Press, 2002, 288 p. (In Russian)
- Zarutskaya I.P., Krasil'nikova N.V. *Proektirovanie i sostavlenie: karty prirody* [Designing and Compilation: Maps of Nature], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1989, 210 p. (In Russian)

Received 13.04.2022

Revised 25.06.2022

Accepted 27.06.2022

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МУТНОСТИ ВОДЫ В ВОДОТОКАХ

М.В. Шмакова¹, С.А. Кондратьев²

^{1,2} Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр РАН, Институт озераедения, лаборатория математических методов моделирования

¹ Введ. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: m-shmakova@yandex.ru

² Глав. науч. сотр., д-р физ.-мат. наук; e-mail: 3718470@gmail.com

В практике хозяйственного использования водных объектов актуальны расчеты твердого стока различных масштабов – от секундного до годового. Оценка годового твердого стока и степень ее достоверности, так же как и оценка статистических параметров мутности воды, крайне затруднительны при нерегулярности и недостаточном освещении для разных фаз водного режима. Вместе с этим изученность процессов формирования качества природных вод и создание достаточного арсенала расчетных методов позволяют в настоящее время воспроизводить с приемлемой точностью основные показатели качества воды. Расширить возможности статистического анализа показателей качества воды позволяет комплексный подход к оценке последних посредством хорошо зарекомендовавших себя детерминированных и стохастических алгоритмов расчета с аргументами, наблюдаемыми регулярно и продолжительно. Для оценки параметров распределения расходов наносов или мутности воды в этом случае может быть использован композиционный метод, который позволяет найти параметры кривой распределения функции через параметры кривой распределения ее аргументов. В работе представлена детерминировано-стохастическая моделирующая система «погода – сток – наносы», основанная на стохастической модели погоды, модели формирования стока на водосборе и модели годового твердого стока. Система позволяет оценить параметры распределения суточных значений стока наносов и мутности воды при недостаточности данных наблюдений и в условиях изменения формирования стока на водосборе, произошедших в результате естественных причин или хозяйственной деятельности. Практическая реализация моделирующей системы на примере реки Нарва показала хорошее соответствие между параметрами распределения наблюдаемых и рассчитанных рядов суточных значений мутности воды. Представленная численная реализация климатического прогноза показала, что уменьшение стока реки, вызванное ростом температуры воздуха, приведет к значительному увеличению мутности воды.

Ключевые слова: мутность воды, моделирование, водоток, параметры распределения

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.4

ВВЕДЕНИЕ

Мутность водного объекта определяется геоморфологическими характеристиками водосбора, условиями формирования стока на водосборе, водностью самого объекта, климатическими факторами, а также хозяйственной деятельностью [Алексеевский, 1998]. Режим формирования мутности отличается высокой степенью изменчивости ее значений в течение года. Существующая в настоящее время сеть наблюдений государственного мониторинга за показателями качества воды не может в полной мере обеспечить получение достаточного количества данных натурных наблюдений для их последующей обработки и анализа. Пробы отбираются редко и нерегулярно, количество наблюдательных пунктов ограничено. Так, в наблюдательной сети Северо-Западного УГМС Росгидромета измерения мутности воды в настоящее время регулярно проводятся лишь на шести

гидрологических постах [Автоматизированная..., 2020].

В условиях редких и неэквидистантных наблюдений невозможно полноценно выполнить статистическую оценку вариационных рядов разного масштаба обобщения. Проблемы начинаются уже на этапе идентификации закона распределения, которому подчиняется вариационный ряд [Gumbel, 1963; US EPA, 2000]. Часто при статистическом анализе рядов гидрохимических показателей останавливаются лишь на оценке медианы и межквантильного размаха [Возняк, Лепихин, 2018; Лепихин, Возняк, 2012; Смыжова, 2010]. При этом вопрос оценки экстремальных значений показателей качества воды редкой обеспеченности остается открытым. Редкость и нерегулярность наблюдений не позволяют достоверно выявить выбросы, отличающиеся от естественного (природного) генезиса. Все это приводит к смещению в параметрических

и непараметрических оценках вариационного ряда. Из сказанного следует актуальность создания расчетных методов и моделей оценки характеристик мутности воды водных объектов при недостаточности или отсутствии данных наблюдений. Особенную важность расчеты твердого стока различных прикладных направлений приобретают в неоднократно освещенных в научной литературе условиях хозяйственной деятельности на водосборе и в пределах самого водного объекта и климатических изменений [Moore et al., 1989; Naidu, 1997; Гельфан, 2007; Kondolf et al., 2014; Ailliot et al., 2015].

Вместе с этим изученность процессов формирования качества природных вод и создание достаточного арсенала расчетных методов позволяют в настоящее время воспроизводить с приемлемой точностью основные показатели качества воды. Расширить возможности статистического анализа показателей качества воды позволяет комплексный подход к оценке последних посредством хорошо зарекомендовавших себя детерминированных и стохастических алгоритмов расчета с аргументами, наблюдаемыми регулярно и продолжительно. Для оценки параметров распределения расходов наносов или мутности воды в этом случае может быть использован композиционный метод, который позволяет найти параметры кривой распределения функции через параметры кривой распределения ее аргументов [Крамер, 1975]. Средствами решения такого рода задач могут служить ДС моделирую-

щие системы, включающие блок генерирования продолжительных рядов метеорологических элементов в качестве входа в последующие детерминированные блоки системы. Пространственно-временная динамика, корреляционные структуры, относительная климатическая устойчивость и естественная метеорологическая изменчивость привели к большому разнообразию так называемых стохастических генераторов погоды [Bailey, 1964; Jones et al., 1972; Nick, Harp, 1980; Larsen, Pense, 1982; Виноградов, 1988; Racsco et al., 1991]. В качестве детерминированного блока необходимо при этом располагать алгоритмами оценки стока на водосборе и формулой общего расхода наносов, адекватно описывающей взаимосвязь расхода наносов и гидравлических характеристик потока, причем гидравлические характеристики потока должны относиться к стандартной гидрометрической информации, характер распределения которой хорошо изучен.

В качестве примера практической реализации композиционного метода в приложении к оценке параметров распределения мутности воды может служить детерминировано-стохастическая система «погода – сток – наносы» [Кондратьев, Шмакова, 2019], разработанная в Институте озероведения РАН и представленная следующим комплексом моделей: стохастическая модель погоды, модель формирования стока на водосборе, модель годового твердого стока (рис. 1).

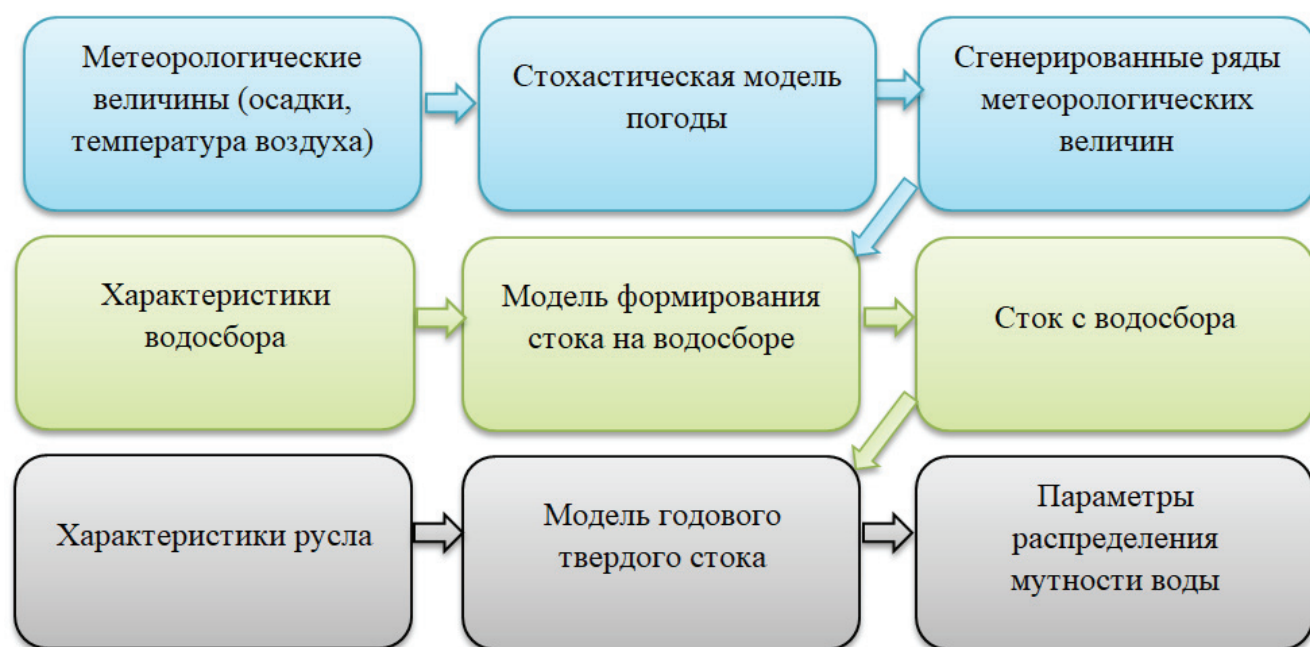


Рис. 1. Схема ДС моделирующей системы «погода – сток – наносы»

Fig. 1. Diagram of the DS modeling system “weather – runoff – sediment”

Целью настоящего исследования является оценка текущего и прогнозного статистического распределения мутности воды в речном потоке на основе детерминировано-стохастической (ДС) моделирующей системы «погода – сток – наносы». Объектом исследования послужила река Нарва, соединяющая Чудское озеро и Финский залив Балтийского моря.

Объект исследования. Река Нарва вытекает из Чудского озера и впадает в Финский залив. Длина реки составляет 77 км, площадь водосбора 56 200 км² (на территории РФ 39 000 км²). Средний уклон реки – 0,39‰. Река по полноводности занимает второе место среди рек, впадающих в Финский залив. Нарва – очень порожистая река, дважды прорезает известняки. В 1955–1956 гг. на участке 18,2–61,0 км в нижнем течении реки было создано Нарвское водохранилище. Таким образом, сток р. Нарвы зарегулирован в верхнем течении Чудско-Псковским озером, в нижнем – Нарвским водохранилищем, устьевой участок реки находится под влиянием Финского залива. Пост р. Нарвы – д. Скамья расположен в 0,55 км ниже истока р. Нарвы из Чудского озера. Прилегающая к посту местность представляет собой низменную равнину, местами заболоченную, занятую у реки под луга и огороды, далее – лесом. Русло прямолинейное, песчано-гравелистое. Река имеет большое водохозяйственное значение как для России, так и для Эстонии и используется для хозяйственно-питьевого водоснабжения, судоходства и выработки элек-

троэнергии (ГЭС Нарва) [Bobrovitskaya et al., 2003; Bobrovitskaya, Kokorev, 2004].

Сток наносов в гидрометрическом створе р. Нарвы – д. Скамья зарегулирован Чудским озером, которое выступает в роли отстойника взвешенных минеральных частиц, поступающих с водосбора и со стоком притоков. За счет малых значений скоростей циркуляции озерных вод наносы притоков и продукты почвенной эрозии водосбора осаждаются на дно. Таким образом, незначительная мутность воды р. Нарвы в исследуемом створе и ее внутригодовое распределение в основном определены почвенно-эрозионными процессами частного водосбора. Ниже по течению небольшая мутность воды определяется влиянием Нарвского водохранилища, также выступающего в роли отстойника взвешенных веществ.

Для последующего анализа в работе использовались средние за пентаду данные наблюдений за расходами воды и мутностью, полученные в 2004–2017 гг. [Bobrovitskaya, Kokorev, 2004].

На рис. 2 приведен внутригодовой ход мутности воды р. Нарвы – д. Скамья, обобщенный за 2004–2017 гг. Нанесенная на диаграмму интерквартильного размаха линия медианы хорошо иллюстрирует асимметричность распределения месячных значений мутности воды в сторону больших значений. Наименьшие значения мутности приходятся на период зимней и весенней межени, наибольшие значения – на период половодья и осенне-зимних паводков.

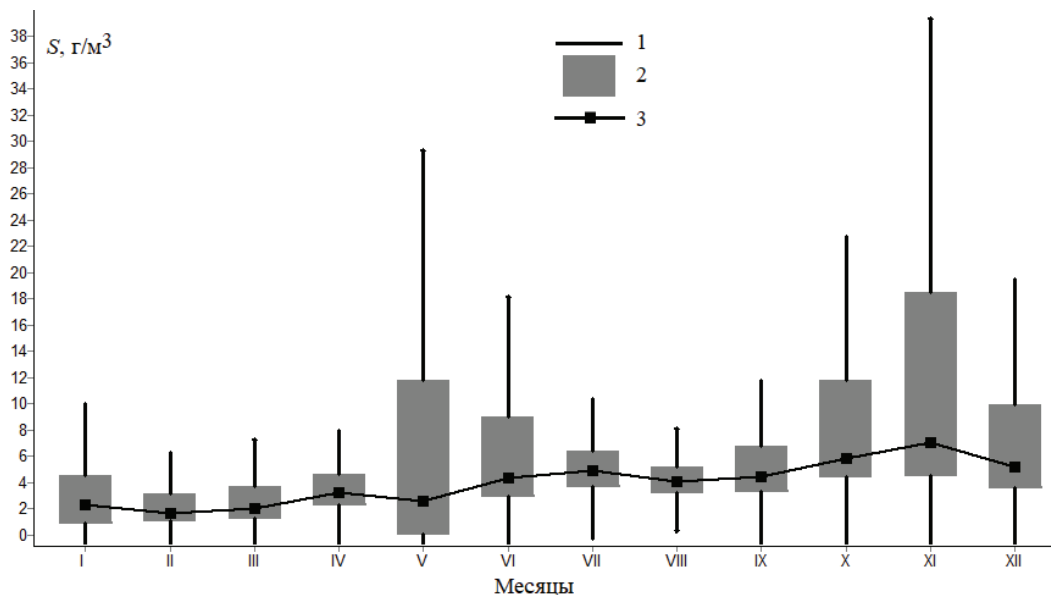


Рис. 2. Внутригодовой ход мутности воды р. Нарвы – д. Скамья, обобщенный за 2004–2017 гг.:

1 – нижняя и верхняя границы 1,5-интерквартильного размаха; 2 – диаграмма интерквартильного размаха;

3 – медианные значения мутности воды, г/м³

Fig. 2. Intra-annual dynamics of water turbidity in the Narva River – Skamya, generalized for 2004–2017: 1 – lower and upper boundaries of 1,5-interquartile span; 2 – diagram of interquartile span; 3 – median values of water turbidity, g/m³

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Модель формирования стока на водосборе ПЛ_НМ (Свидетельство о государственной регистрации № 2015614210 от 09.04.2015) разработана в Институте озероведения РАН [Кондратьев, Шмакова, 2019] и предназначена для расчетов гидрографов талого и дождевого стока с водосбора, а также уровня воды в водоеме. Модель имеет концептуальную основу и описывает процессы снегонакопления и снеготаяния, испарения и увлажнения почв зоны аэрации, формирования стока, а также регулирование стока водоемами в пределах однородного водосбора, характеристики которого принимаются постоянными для всей его площади.

Стохастическая модель погоды СМП (Свидетельство о государственной регистрации № 2015614228 от 09.04.2015) разработана под руководством Ю.Б. Виноградова [Виноградов, 1988] и практически реализована М.В. Шмаковой [Шмакова, 2000]. Модель служит основой для ДС моделирования характеристик стока, обеспечивая поток метеорологической информации на вход различных математических моделей, входящих в моделирующую систему.

Модель погоды состоит из двух основных блоков, предназначенных для оценки параметров распределения суточных, месячных и годовых рядов метеорологических элементов по данным натурных наблюдений на выбранных метеостанциях и генерирования рядов метеорологических величин требуемой продолжительности.

Модель годового твердого стока рек разработана в Институте озероведения РАН (Свидетельство о государственной регистрации № 2014612518 от 27.02.2014). Модель предназначена для решения задач, связанных с количественной оценкой годового твердого стока в разных приложениях (расход наносов, мутность воды) и основана на композиционном методе теории вероятности и аналитической формуле расхода наносов [Кондратьев, Шмакова, 2019].

$$G = \frac{\rho_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}} - \rho_2} Q \left[\frac{c}{hg} - \rho_2 (1 - f) I \right]. \quad (1)$$

При этом формула мутности воды имеет вид

$$S = 10^3 \frac{G}{Q} = 10^3 \frac{\rho_{\text{гр}}}{\rho_{\text{гр}} - \rho_2} \left[\frac{c}{hg} - \rho_2 (1 - f) I \right], \quad (2)$$

где G – общий расход наносов, кг/с; S – мутность воды, г/м³; Q – расход воды, м³/с; $\rho_{\text{гр}}$ и ρ_2 – плотность грунта и воды соответственно, кг/м³; I – уклон дна, б/р; h – глубина потока, м; f – коэффициент внутреннего трения, б/р (допускается значение $f > 1$); c – сцепление частиц грунта при сдвиге, кг/(м·с²); g – ускорение свободного падения, м/с².

Параметры f и c формул (1) и (2) зависят от фазы водности водотока и крупности донных отложений.

Для определения значений параметра f могут быть использованы зависимости для разных периодов водности, приведенные в работе [Кондратьев, Шмакова, 2019].

В общем виде последовательность расчетов по модели годового твердого стока имеет вид:

- оценка параметров распределения суточных расходов воды (или нормализованных значений этой величины);
- генерирование ряда случайных чисел, подчиненных нормальному закону распределения или трехпараметрическому гамма-распределению;
- преобразование полученного ряда в ряд суточных расходов воды операциями, обратными нормированию и при необходимости нормализации;
- расчет значений средних глубин потока h при соответствующих расходах воды Q по функции $Q = f(h)$;
- вычисление значений расхода наносов или мутности воды для смоделированных расходов воды и средней глубины потока с использованием аналитической формулы расхода наносов с учетом периода водности (маловодный, многоводный, период средней водности);
- на основании полученного ряда расхода наносов или мутности воды построение кривой распределения расхода наносов (мутности воды) и оценка ее параметров.

Для приведения суточных расходов воды к нормальному закону распределения используется следующее выражение

$$\begin{aligned} \varepsilon_i &= (Q_i + 1)^n \ln(Q_i + 1), \\ \varepsilon_i &= e^{nQ_i} \ln(Q_i + 1), \\ \varepsilon_i &= (Q_i + 1)^n, \end{aligned} \quad (3)$$

где Q_i и ε_i – суточное значение расхода воды и его нормализованное значение, n – параметр нормализации. Либо, в случае хорошего соответствия эмпирических точек кривой трехпараметрического гамма-распределения, можно не прибегать к нормализации и генерировать ряд случайной величины в виде трехпараметрического гамма-распределения.

Основными этапами детерминировано-стохастического моделирования годового твердого стока и мутности воды являются (см. рис. 1):

- 1) оценка параметров стохастической модели погоды;
- 2) корректировка параметров модели с учетом принятого климатического прогноза;
- 3) генерирование рядов метеорологических величин (среднесуточной температуры воздуха и суточных слоев осадков);
- 4) моделирование рядов расхода воды (модель формирования стока);

5) оценка параметров распределения суточных расходов воды;

6) моделирование рядов расхода наносов и мутности воды (модель годового твердого стока);

7) оценка параметров распределения рядов расхода наносов и мутности воды на основании полученных данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для расчетного створа р. Нарвы была построена кривая распределения суточных значений расхода воды и оценены параметры этой кривой. Соответствие эмпирического распределения суточных значений расхода воды аналитической кривой трехпараметрического гамма-распределения проверялось критерием согласия χ^2 (Пирсона) [Борщ, 2018]. Показано, что гипотеза соответствия эмпирической и аналитической кривых распределения при уровне значимости $\alpha = 2,5\%$ не опровергается.

По причине того, что в стоке наносов на расчетном участке Нарвы преобладают взвешенные частицы [Bobrovitskaya et al., 2003; Bobrovitskaya, Kokojev, 2004], для расчетов может быть использована аналитическая формула общего расхода наносов [Кондратьев, Шмакова, 2019]. Ввиду зарегулированности стока Нарвы и малой амплитуды уровня воды, параметры формулы оценивались минимизацией расхождения между рассчитанными и наблюдаемыми значениями мутности воды совместно для всех периодов водности. Среднее относительное отклонение между последними составило 66%. Большое отклонение объясняется тем, что для пара-

метризации формулы приняты не средние для потока наблюдаемые значения мутности воды, а пробы, взятые недалеко от берега. При этом верификация формулы на независимом материале (данные наблюдений за мутностью воды р. Нарвы за 2018–2019 гг.) показала вполне приемлемые результаты. Среднее относительное отклонение между рассчитанными и наблюдаемыми значениями мутности воды составило 63%.

Следующий этап моделирования состоял в генерировании ряда суточных значений расхода воды продолжительностью 100 лет (36500 значений) заданного закона распределения (трехпараметрического гамма-распределения). Далее для каждого значения расхода воды были рассчитаны средняя глубина потока и мутность воды. На рис. 3 и 4 приведены эмпирические кривые распределения наблюдаемых и смоделированных суточных значений расхода воды и мутности. Соответствие рядов наблюдаемых и смоделированных значений мутности проводилось по критерию Смирнова об однородности двух независимых выборок [Борщ, 2018]. Согласно проведенной оценке на соответствие двух независимых рядов следует, что сравниваемые выборки соответствуют одному закону распределения для 5% уровня значимости. Проверка соответствия средних значений по критерию Стьюдента и дисперсий по критерию Фишера показала, что при полученных значениях статистик $t = 2,14$ и $f = 1,08$ гипотезы о равенстве этих параметров распределения при уровне значимости $2\lambda = 2\%$ для среднего значения и при уровне значимости $\lambda = 10\%$ для дисперсии подтверждаются.

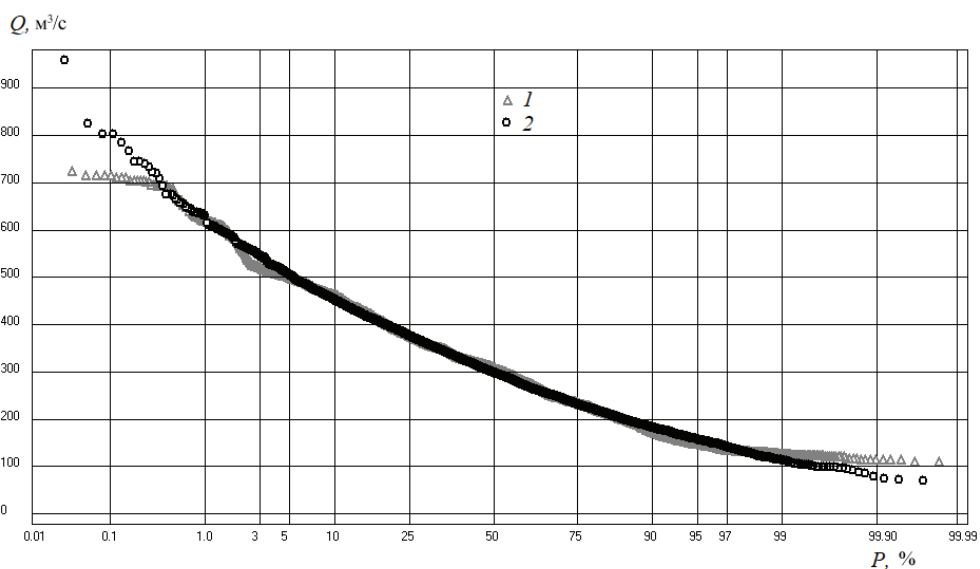


Рис. 3. Эмпирические кривые распределения наблюдаемых (1) и сгенерированных (2) суточных значений расхода воды, $\text{m}^3/\text{с}$

Fig. 3. Empirical distribution curves of observed (1) and generated (2) values of daily water discharge, m^3/s

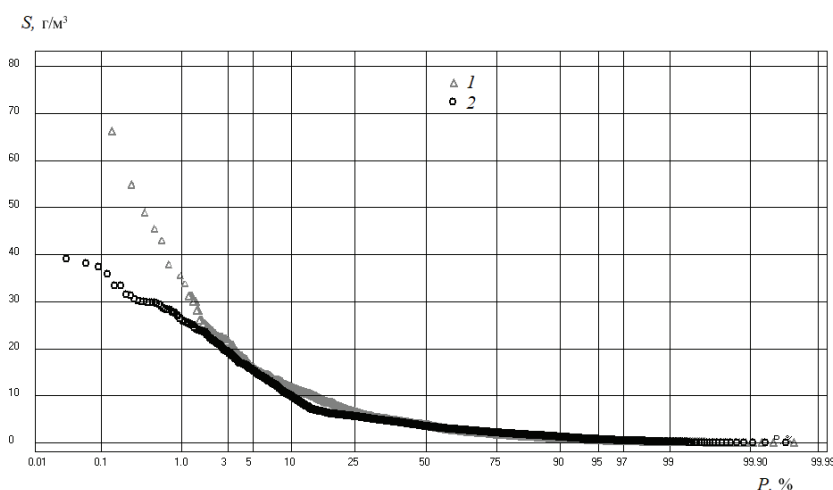


Рис. 4. Эмпирические кривые распределения наблюдаемых (1) и сгенерированных (2) суточных значений мутности воды, г/м³

Fig. 4. Empirical distribution curves of observed (1) and generated (2) values of daily water turbidity, g/m³

Расхождение кривых распределения рассчитанной и наблюдаемой мутности воды в области больших значений объясняется наличием отдельных выбросов в периоды большой воды, хорошо проиллюстрированных на рис. 2. Причиной такого несоответствия скорее всего является процедура отбора пробы воды на мутность в непосредственной близости от берега. Тогда как расчетная формула мутности воды представляет собой интегральное соотношение гидравлических переменных состояния потока и твердого вещества, осредненное в поперечном сечении. Тем не менее достаточно хорошее соответствие полученных результатов дает основание использовать разработанную ДС моделирующую систему для последующих численных экспериментов.

Ввиду большой водохозяйственной востребованности р. Нарвы определенную актуальность приобретает численный эксперимент по оценке параметров распределения мутности в условиях возможного изменения климата. В качестве примера климатического сценария был принят сценарий ЕСНАМ А2 [Карлин, 2010], разработанный для Балтийского региона. Региональные изменения климата в этом сценарии представлены как «вырезка» региона из глобального прогноза, полученного по моделям общей циркуляции атмосферы и океана [Карлин, 2010]. Прогностический период охватывает 2009–2099 гг. Вырезка осуществлена для расчетов по сценарию А2, соответствующему максимальной эмиссии CO_2 в атмосферу. Полученные результаты расчетов могут интерпретироваться как максимально возможные изменения искомых характеристик в условиях будущих наиболее неблагоприятных климатических изменений в регионе. В этом случае предполагается рост средней годовой температуры за 100 лет на 6°C , а рост средних годовых осадков за 100 лет на $0,39$ мм/сут.

На первом этапе моделирования проведена оценка параметров распределения суточных значений температуры воздуха и слоев осадков для метеостанции г. Псков для периода 1980–2010 гг. Далее параметры распределения этих рядов были откорректированы с учетом климатического прогноза и сгенерированы ряды с прогнозными значениями метеорологических элементов продолжительностью 100 лет. Эти ряды обеспечили вход в модель формирования стока согласно схеме ДС моделирующей системы (см. рис. 1). Параметры распределения расходов воды легли в основу генерирования рядов мутности воды. В таблице приведены параметры распределения суточных расходов воды и ее мутности, рассчитанных соответственно по модели формирования стока и модели годового твердого стока. Согласно полученным результатам изменение климата приведет к уменьшению стока и увеличению мутности воды. Тенденция увеличения мутности с уменьшением расхода воды выражена для данных наблюдений в расчетном створе и обеспечивается обратной связью мутности воды и средней глубины потока. При численной реализации сценария ЕСНАМ А2 среднее значение мутности в расчетном створе увеличится на 79% , а медианные значения – на 124% . Как отмечалось выше, полученные оценки соответствуют наиболее неблагоприятным климатическим изменениям в регионе, вызванным максимальной эмиссией CO_2 в атмосферу. Можно предположить, что реальные изменения стока и мутности воды в реке в условиях постоянных попыток мирового сообщества сдерживать объемы выбросов парниковых газов в атмосферу будут находиться в интервале между современными значениями и результатами моделирования по экстремальному климатическому сценарию.

Таблица

Параметры распределения наблюдаемых и сгенерированных рядов (прогноз ЕСНАМ А2) расхода воды и мутности

Параметры	X_{cp}	C_v	M	$X_{25\%}$	$X_{75\%}$	$X_{25\%}-X_{75\%}$
Расход воды наблюдаемый, м ³ /с	312	0,35	308	376	234	142
Расход воды смоделированный (прогноз ЕСНАМ А2), м ³ /с	160	0,26	157	186	130	56
Мутность воды наблюдаемая, г/м ³	5,33	0,99	3,90	6,24	2,14	4,10
Мутность воды смоделированная (прогноз ЕСНАМ А2), г/м ³	9,53	0,64	8,73	13,6	4,68	8,92

Примечание. X_{cp} – среднее; M – медиана; C_v – коэффициент вариации; $X_{25\%}$ и $X_{75\%}$ – квантили с вероятностью 25 и 75%.

ВЫВОДЫ

На настоящем этапе состояния наблюдательной сети государственного мониторинга при решении задач, связанных с моделированием и прогнозированием процессов формирования водных, эрозионных и гидрохимических потоков в системе «водосбор – водный объект» крайне эффективными и актуальными являются методы математического моделирования. Используемая в работе детерминировано-стохастическая моделирующая система позволила оценить текущие и прогнозные параметры распределения суточных значений стока наносов и мутности воды. Дополнительные возможности модели состоят в оценке статисти-

ческих параметров твердого стока при изменении условий формирования стока на водосборе, произошедших в результате естественных причин или хозяйственной деятельности. Практическая реализация модели на примере р. Нарвы показала хорошее соответствие между параметрами распределения наблюдаемых и рассчитанных рядов суточных значений мутности воды. Представленная численная реализация неблагоприятного климатического сценария, связанного с максимальной эмиссией парниковых газов в атмосферу, показала, что уменьшение стока реки, вызванное ростом температуры воздуха, может привести к значительному увеличению мутности воды.

Благодарности. Авторы работы выражают глубокую благодарность руководителю Отдела мониторинга поверхностных вод и экспедиционных исследований ФГБУ ГГИ д-ру геогр. наук Нелле Николаевне Бобровицкой за любезно предоставленные данные.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН по теме FFZF-2024-0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И. Формирование и движение речных наносов. М.: МГУ, 1998. 201 с.
- Борщ С.В., Христофоров А.В., Юмина Н.М. Статистический анализ в гидрологических прогнозах. М.: Гидрометцентр России, 2018. 160 с.
- Виноградов Ю.Б. Математическое моделирование процессов формирования стока. Опыт критического анализа. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 312 с.
- Возняк А.А., Лепихин А.П. Разработка региональных ПДК: необходимость, методика, пример // Географический вестник. 2018. № 2(45). С. 103–115.
- Гельфан А.Н. Динамико-стохастическое моделирование формирования талого стока. М.: Наука, 2007. 280 с.
- Карлин Л.Н. Прогностические оценки влияния изменения климата на экологическое состояние Балтийского моря. Отчет по проекту РФФИ № 09-05-13553. 2010.
- Кондратьев С.А., Шмакова М.В. Математическое моделирование массопереноса в системе «водосбор – водоток – водоем». СПб.: Нестор-История, 2019. 248 с.
- Крамер Г. Математические методы статистики. М.: Мир, 1975. 648 с.
- Лепихин А.П., Возняк А.А. Статистические функции распределения гидрохимических показателей качества воды поверхностных водных объектов // Водное хозяйство России. Проблемы, технологии, управление. 2012. № 4. С. 21–32.
- Смыжова Е.С. Оценка стока биогенных веществ с учетом особенностей гидрохимической информации (на примере реки Великой): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2010. 27 с.
- Шмакова М.В. Стохастическая Модель Погоды в системе детерминировано-стохастического моделирования характеристик стока: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2000. 25 с.
- Ailliot P., Allard D., Monbet V., Naveau P. Stochastic weather generators: an overview of weather type models, *Journal de la Société Française de Statistique*, 2015, vol. 156(1), p. 101–113.

- Bailey N.T.J. The Elements of Stochastic Processes, John Wiley, New York, 1964, 39 p.
- Bobrovitskaya N.N., Kokorev A.V., Lemeshko N.A. Regional patterns in recent trends in sediment yields of Eurasian and Siberian rivers, *Global and Planetary Change*, 2003, vol. 39, p. 127–146.
- Bobrovitskaya N.N., Kokorev A.V. Development of trans-boundary surface water monitoring system. XXIII Nordic Hydrological Conference, Tallinn, Estonia 8–12 August 2004, Selected articles Arvo Jarvet (ed.), vol. 11, NHP Report, no. 48, Tartu, p. 415–423.
- Gumbel E.J. Statistical forecast of droughts, *IAHS Bulletin*, 1963, vol. 8, no. 1, p. 5–23.
- Jones J.W. A simulated environmental model of temperature, evaporation, rainfall and soil moisture, *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, 1972, no. 15, p. 0366–0372.
- Kondolf G.M., Rubin Z.K., Minear J.T. Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation, *Water Resource Research*, 2014, vol. 50, iss. 6, p. 5158–5169.
- Larsen G.A., Pense R.B. Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models, *Agronomy Journal*, 1982, vol. 74, no. 3, p. 510–514.
- Moore J.N., Brook E.J., Johns C. Grain size partitioning of metals in contaminated coarse-grained river flood plain sediment, Clark Fork River, Montana, *Environ. Geol. Wat. Sci.*, 1989, no. 14, p. 107–115.
- Naidu B.S.K. Addressing the problems of silt erosion at hydro plants, *Hydropower and Dams Issue Three*, 1997.
- Nick A.D., Harp J.F. Stochastic generation of temperature and solar radiation data, *Journal of Hydrology*, 1980, 48 p.
- Racsko P.L., Szeidl L., Semenov M. A serial approach to local stochastic weather models, *Ecological Modelling*, 1991, vol. 57, p. 27–41.
- US EPA, *Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs*, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA-822-B00-001, 2000.

Электронный источник

Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) // Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации; Федеральное агентство водных ресурсов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=1> (дата обращения 25.06.2020).

Поступила в редакцию 07.07.2021

После доработки 05.03.2022

Принята к публикации 27.06.2022

MODELING OF STATISTICAL PARAMETERS OF WATER TURBIDITY IN RIVER FLOWS

M.V. Shmakova¹, S.A. Kondratyev²

^{1,2} St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Institute of Limnology, Laboratory of Mathematical Methods of Modeling

¹ Leading Scientific Researcher; D.Sc. in Geography; e-mail: m-shmakova@yandex.ru

² Chief Scientific Researcher; D.Sc. in Mathematics and Physics; e-mail: 3718470@gmail.com

The economic use of water bodies in many ways relies on the calculation of solid runoff at various scales, from momentary to annual. Estimation of the annual solid runoff and the degree of its reliability, as well as the estimation of statistical parameters of turbidity are extremely difficult in case of irregular and insufficient illumination for different phases of water regime. At the same time, the knowledge of the processes of natural water quality formation and the elaboration of sufficient calculation methods allow reproducing the main indicators of water quality with acceptable accuracy. The statistical analysis of water quality indicators could be expanded through a comprehensive approach to their evaluation using well-established deterministic and stochastic calculation algorithms with arguments that are observed regularly and for a long time. In this case, a composite method can be applied to estimate the parameters of sediment flow or water turbidity distribution. The method allows finding the parameters of the distribution curve of a function through the parameters of the distribution curve of its arguments. The paper presents a deterministic-stochastic modeling system “weather-runoff-sediments”, based on a stochastic weather model, a model of runoff formation in the catchment and a model of annual solid runoff. The system makes it possible to estimate the parameters of the distribution of sediment load and turbidity daily values in case of insufficient observation data and changing conditions of runoff formation within the catchment resulting from natural causes or economic activities. The practical implementation of the modeling system for the Narva River showed a good correspondence between the distribution parameters of observed and calculated series of daily water turbidity values. The presented numerical implementation of the climate forecast showed that a decrease in river flow caused by increasing air temperature will lead to a significant increase in water turbidity.

Keywords: water turbidity, modeling, river flow, distribution parameters

Acknowledgments. The work was financially supported by the state assignment of the Institute of Limnology RAS (theme no. 0154-2019-0001).

The authors express deep gratitude to N.N. Bobrovitskaya, D.Sc., Head of the Department for Surface Water Monitoring and Expeditionary Research, State Hydrological Institute, St. Petersburg, for the kindly provided data.

REFERENCES

- Ailliot P., Allard D., Monbet V., Naveau P. Stochastic weather generators: an overview of weather type models, *Journal de la Société Française de Statistique*, 2015, vol. 156(1), p. 101–113.
- Alekseevskij N.I. *Formirovanie i dvizhenie rechnyh nanosov* [Formation and movement of river sediments], Moscow, Moscow State University Publ., 1998, 201 p. (In Russian)
- Bailey N.T.J. *The Elements of Stochastic Processes*, John Wiley, New York, 1964, 39 p.
- Bobrovitskaya N.N., Kokorev A.V., Lemeshko N.A. Regional patterns in recent trends in sediment yields of Eurasian and Siberian rivers, *Global and Planetary Change*, 2003, vol. 39, p. 127–146.
- Bobrovitskaya N.N., Kokorev A.V. Development of transboundary surface water monitoring system. XXIII Nordic Hydrological Conference, Tallinn, Estonia 8–12 August 2004, Selected articles Arvo Jarvet (ed.), vol. 11, *NHP Report*, no. 48, Tartu, p. 415–423.
- Borshch S.V., Hristoforov A.V., Yumina N.M. *Statisticheskij analiz v gidrologicheskikh prognozach*. [Statistical analysis in hydrological forecasts], Moscow, Russia Hydrometeorological center, 2018, 160 p. (In Russian)
- Gel'fan A.N. *Dinamiko-stokhasticheskoe modelirovanie formirovaniya talogo stoka* [Dynamic-stochastic modeling of melt runoff formation], Moscow, Nauka Publ., 2007, 280 p. (In Russian)
- Gumbel E.J. Statistical forecast of droughts, *IAHS Bulletin*, 1963, vol. 8, no. 1, p. 5–23.
- Jones J.W. A simulated environmental model of temperature, evaporation, rainfall and soil moisture, *Trans. Amer. Soc. Agric. Eng.*, 1972, no. 15, p. 0366–0372.
- Karlin L.N. *Prognosticheskie ocenki vliyaniya izmeneniya klimata na ekologicheskoe sostoyanie Baltijskogo moraya* [Prognostic assessments of the impact of climate change on the ecological state of the Baltic Sea], Report for project RFFR no. 09-05-13553, 2010. (In Russian)
- Kondolf G.M., Rubin Z.K., Minear J.T. Dams on the Mekong: Cumulative sediment starvation, *Water Resource Research*, 2014, vol. 50, iss. 6, p. 5158–5169.
- Kondrat'ev S.A., Shmakova M.V. *Matematicheskoe modelirovanie massoperenosa v sisteme "vodobor – vodotok – vodoem"* [Mathematical modeling of mass transfer in the "catchment – watercourse – reservoir system"], St. Petersburg, Nestor-Istoriya Publ., 2019, 248 p. (In Russian)
- Kramer G. *Matematicheskie metody statistiki* [Mathematical methods in statistics], Moscow, Mir Publ., 1975. 648 p. (In Russian)
- Larsen G.A., Pense R.B. Stochastic simulation of daily climatic data for agronomic models, *Agronomy Journal*, 1982, vol. 74, no. 3, p. 510–514.
- Lepihin A.P., Voznyak A.A. Statisticheskie funktsii raspredeleniya gidrohimicheskikh pokazatelej kachestva vody poverhnostnykh vodnykh ob'ektov [Statistical functions of the surface water bodies' water quality hydrochemical indicators distribution], *Vodnoe hozyajstvo Rossii. Problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2012, no. 4, p. 21–32. (In Russian)
- Moore J.N., Brook E.J., Johns C. Grain size partitioning of metals in contaminated coarse-grained river flood plain sediment, Clark Fork River, Montana, *Environ. Geol. Wat. Sci.*, 1989, no. 14, p. 107–115.
- Naidu B.S.K. Addressing the problems of silt erosion at hydro plants, *Hydropower and Dams Issue Three*, 1997.
- Nick A.D., Harp J.F. Stochastic generation of temperature and solar radiation data, *Journal of Hydrology*, 1980, 48 p.
- Racsko P.L., Szeidl L., Semenov M. A serial approach to local stochastic weather models, *Ecological Modelling*, 1991, vol. 57, p. 27–41.
- Shmakova M.V. *Stokhasticheskaya Model' Pogody v sisteme determinirovanno – stokhasticheskogo modelirovaniya harakteristik stoka* [Stochastic Weather Model in the system of deterministic stochastic modeling of flow parameters], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Technic, St. Petersburg, Russian State Hydrometeorol. University Publ., 2010, 25 p. (In Russian)
- Smyzhova E.S. *Ocenka stoka biogennykh veshchestv s uchytom osobennostej gidrohimicheskoy informatsii (na primere reki Velikoj)* [Assessment of runoff of biogenic substances taking into account the features of hydrochemical information (case study of the Velikaya River)], Extended Abstract of Ph.D. Thesis in Geography, St. Petersburg, Russian State Hydrometeorol. University Publ., 2010, 27 p. (In Russian)
- US EPA. *Nutrient Criteria Technical Guidance Manual: Lakes and Reservoirs*, US Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA-822-B00-001, 2000.
- Vinogradov Yu.B. *Matematicheskoe modelirovanie processov formirovaniya stoka. Opyt kriticheskogo analiza* [Mathematical modeling of flow formation processes. Experience of critical analysis], Leningrad, Hydrometeorological Publ., 1988, 312 p. (In Russian)
- Voznyak A.A., Lepihin A.P. *Razrabotka regional'nykh PDK: neobhodimost', metodika, primer* [Development of regional MPC: necessity, methodology, example], *Geograficheskij vestnik*, 2018, no. 2(45), p. 103–115. (In Russian)
- Web source*
 Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov (AIS GMVO) [Automated information system for state monitoring of water bodies (AIS SMWO)], Ministerstvo prirodnih resursov i ekologii Rossijskoj Federacii Federal'noe agentstvo vodnykh resursov [Ministry of natural resources and ecology of the Russian Federation Federal Agency for water resources], URL: <https://gmvo.skniivh.ru/index.php?id=1> (access date 25.06.2020).

Received 07.07.2021

Revised 05.03.2022

Accepted 27.06.2022

УДК 556.5: 556.113.2

ЗИМНИЙ ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕК БАССЕЙНА ДЕБЕД (АРМЕНИЯ)

В.Г. Маргарян¹, Н.Л. Фролова², Е.В. Гайдукова³, А.М. Седракян⁴

¹ Ереванский государственный университет, географический и геологический факультет, кафедра физической географии и гидрометеорологии, доц., канд. геогр. наук; e-mail: vmargaryan@ysu.am

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши, зав. кафедрой, проф., д-р геогр. наук; e-mail: frolova_nl@mail.ru

³ Российский государственный гидрометеорологический университет, Институт гидрологии и океанологии, кафедра инженерной гидрологии, доц., канд. техн. наук; e-mail: oderiut@mail.ru

⁴ Национальный политехнический университет Армении, факультет прикладной математики и физики, кафедра физики, доц., канд. физ.-мат. наук; e-mail: asedrakan@seua.am

Рассмотрены особенности термического режима рек бассейна Дебед в холодное время года (декабрь – март), закономерности их временных колебаний. С целью оценки реакции термического режима рек на изменения климата представлены также особенности пространственно-временной динамики температуры воздуха. В качестве исходных данных использованы данные наблюдений тринадцати гидропостов за температурой воды рек бассейна р. Дебед и температурой воздуха по шести метеостанциям.

Получена корреляционная связь между средними значениями температуры воды и температуры воздуха за декабрь – март в бассейне р. Дебед. Показано, что температура воды в реках в холодный период года почти всегда выше температуры воздуха. Наименьшая средняя месячная температура воды на всех реках отмечается в конце января. Вниз по течению она в основном постепенно возрастает. В среднем за 1964–2018 гг. в холодное время года температура воды колеблется в пределах от 1,1 до 4,4°C.

Для расчета температуры воды на неизученных участках рек получены корреляционные зависимости между ее значениями за холодный период года и площадью водосбора рек, а также зависимости между среднемесячными значениями температуры воды за холодный период и за периоды различной продолжительности.

На действующих в настоящее время метеостанциях и гидропостах наблюдается существенный, в основном статистически значимый рост температуры воздуха и воды за 1984–2018 гг. А за 1964–1983 гг. наблюдается как повышение, так и уменьшение температуры воды и воздуха, но с преобладающим повышением.

Полученные результаты могут быть использованы для расчетов теплового стока, рассмотрения термического режима неизученных бассейнов, для оценки гидроэкологической безопасности территории бассейна р. Дебед.

Ключевые слова: корреляционная связь, линейный тренд, многолетние изменения, статистические характеристики, температуры воды и воздуха, холодный период года

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.5

ВВЕДЕНИЕ

Исследование термического режима рек – важная научная и практическая задача.

Под термическим режимом рек, как правило, понимается либо режим температуры воды, либо режим теплового стока реки, либо вся совокупность происходящих в реках тепловых процессов [Василенко и др., 2020], закономерно повторяю-

щиеся изменения теплового состояния водотоков [Кузьмина, 2013].

Температура речных вод является важным показателем при использовании вод в хозяйстве [Дудник и др., 2014], хорошим индикатором климатических изменений [Marszelewski, Pius, 2016], важной гидроэкологической характеристикой, прямо или косвенно влияющей на ряд гидрологических и экологических

процессов [Василенко и др., 2020]. Температура воды является одним из экологических параметров, который определяет общее состояние водных экосистем. Температура воды имеет как экономическое, так и экологическое значение при рассмотрении таких вопросов, как качество воды и биотические условия в реках [Coutant, 1999]. Термический режим рек играет важную роль в общем состоянии водных экосистем, включая вопросы качества воды и распределение гидробионтов [Caissie, 2006].

От температуры воды зависит концентрация растворенного газа и взвешенных наносов [Webb, Nobilis, 2007], содержание в ней растворенного кислорода, а следовательно, интенсивность процессов самоочищения рек, выживаемость и видовой состав различных гидробионтов, в том числе ценных пород рыб [Василенко и др., 2020], скорость роста водных организмов [Elliott, Hurley, 1997; Jensen, 1990], а также их распространение [Ebersole et al., 2001].

В то же время термический режим может влиять на использование рек людьми для отдыха, бытового водоснабжения, орошения и промышленного охлаждения. В свою очередь, деятельность человека может существенно изменить термический режим реки из-за сброса нагретых стоков, создания плотин, методов ведения лесного хозяйства и забора воды [Dymond, 1984; Mellina et al., 2002; Webb, Nobilis, 2007]. Кроме того, согласно прогнозам, в текущем столетии в результате глобального потепления произойдут значительные изменения температуры воды в реках [Mohseni et al., 2003; Webb, Nobilis, 2007].

Изменения температуры воды в реке влияют на ледовый режим [Маргарян, 2021], химические и биологические процессы, перенос взвешенных наносов потоком, минерализацию, химический состав растворенных веществ, качество воды [Дудник и др., 2014], на временные колебания речного стока [Sinokrot, Gulliver, 2000]. Сезонные и суточные колебания температуры воды являются важными детерминантами распределения гидробионтов [Vannote et al., 1980]. Изменчивость температуры воды может происходить естественным образом при изменении климата и водного режима или в результате антропогенных возмущений, таких как тепловое загрязнение, сведение лесов [Caissie, 2006].

Несмотря на актуальность темы, исследованию термического режима и теплового стока водотоков РА посвящено очень мало научных работ. В настоящее время интерес к рассматриваемой теме преимущественно обусловлен необходимостью изучения проявлений изменений климата в термическом режиме рек [Алексеевский и др., 2014; Василенко и др., 2020; Дудник и др., 2014; Кузьмина, 2013; Шешко, Кухаревич, 2020; Marszelewski, Pius, 2016].

А также нельзя не отметить, что тепловые характеристики рек часто, в том числе в последние годы, описываются в рамках работ биологической тематики (альгология, ихтиология), однако, как правило, это ограниченные во времени экспедиционные наблюдения [Василенко и др., 2020]. Данные исследования редки и для Республики Армения. Обобщения еще более редки в отношении пространственно-временной изменчивости термического режима водотоков в условиях климатических изменений. В основном изучению термического режима рек РА уделялось внимание в работах [Гидрография Армянской..., 1981; Григорян, 1999; Ресурсы..., 1969; 1973]. Однако в этих исследованиях не учтены данные наблюдений за термическим режимом рек за последние 3–4 десятилетия и более. Данные до 2010 г. приведены в работах, посвященных исследованию изменений термического режима рек в регионе Агстев – Тавуша [Маргарян, 2013], рек бассейна Воротан [Маргарян, 2014]. В 1960–1970 гг. проведены статистические и географические обобщения данных о температуре воды рек АрмССР в изданиях справочника «Ресурсы поверхностных вод СССР» [Ресурсы..., 1969; 1973]. Нами впервые предпринята попытка оценить термический режим рек всего бассейна Дебед, используя длительный ряд данных инструментальных наблюдений (1939–2018) на гидропостах и метеостанциях, работающих до настоящего времени в пределах его территории.

Для учета особенностей термического режима рек можно использовать деление на четыре сезона: весеннее нагревание, летнее нагревание, осеннее охлаждение, зимнее охлаждение. Каждый сезон года отличается средней величиной температуры воды и ее сезонной вариацией. Зимнее охлаждение – период близких к 0°C температур воды в случае ледостава или низких и устойчивых температур в его отсутствие [Кузьмина, 2013]. В данной работе оцениваются особенности термического режима рек за холодный период года (с декабря по март).

Цель данного исследования – выявить и оценить особенности термического режима рек за холодный период года за последние 80 лет (1938–2018) в бассейне р. Дебед, а также оценить изменения температуры воздуха за период наблюдений, их влияние на термический режим рек.

Река Дебед впадает в Храми – приток р. Куры за пределами Республики. Дебед получает свое название после слияния двух крупных притоков – Памбак и Дзорагет (рис. 1). Река Памбак (длина 84 км, площадь водосбора 1370 км²) считается верхним течением р. Дебед. Длина р. Дебед с этим притоком – 178 км (в пределах изучаемой территории 152 км), площадь – 4080 км² (в пределах территории 3790 км²). Река Дзорагет имеет длину 67 км, а пло-

щадь водосборного бассейна – 1460 км². Реки Дзорагет и Памбак сливаются на высоте 870 м. Ниже их слияния к крупным притокам р. Дебед относятся реки Марц и Шнох [Маргарян, 2018; 2021]. Река Де-

бед является трансграничной: начало берет в Армении и впадает в правый приток р. Куры в Грузии. Данная особенность реки Дебед делает исследование актуальным для двух стран.

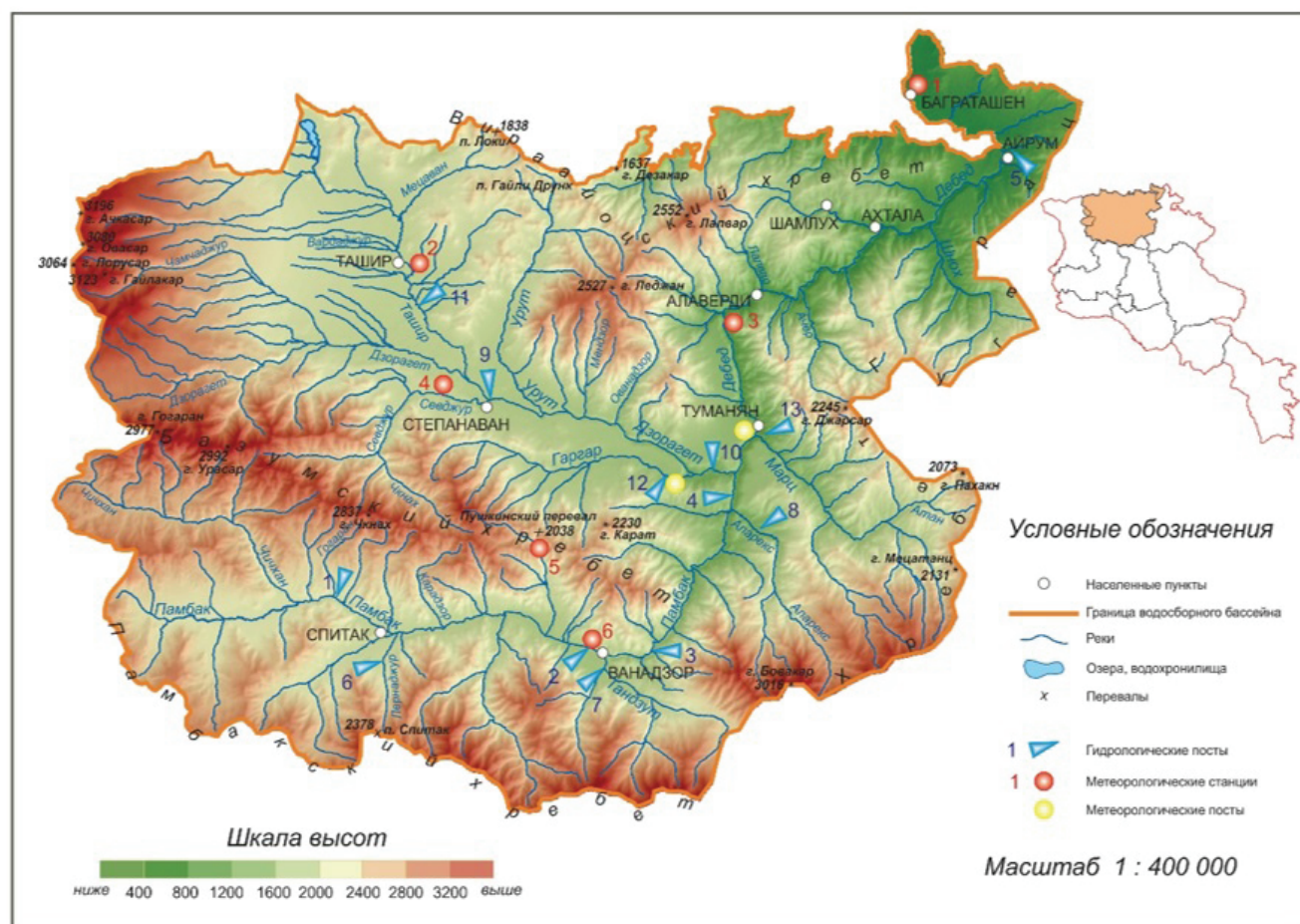


Рис. 1. Сеть метеорологических станций и гидрологических постов в бассейне р. Дебед.

Примечание. Порядковые номера на карте и в табл. 1 аналогичны.

Fig. 1. Network of meteorological stations and stream gauges in the Debed River basin.

Note. The numbers of gauges indicated on the map correspond to the ordinal numbers indicated in Table 1

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения поставленных задач в качестве методической основы были взяты соответствующие опубликованные работы [Артамонов и др., 2020; Гидрография..., 1981; Иванов и др., 2022; Методические указания..., 1981; Михайлов, 2009; Ресурсы..., 1973]. В качестве исходного материала для проведения данной работы использованы фактические данные по температуре воздуха и воды с декабря по март за период с 1935 по 2018 г., предоставленные «Центром гидрометеорологии и мониторинга» ГНКО Министерства окружающей среды Республики Армения. В настоящее время наблюдения за температурой воды проводятся на 13 гидрологических постах, а за температурой воздуха – на

шести метеорологических станциях (см. рис. 1), данные наблюдений по которым использовались для обобщения.

На термический режим рек существенное влияние оказывает фактор вертикальной зональности, и важно знать, насколько обеспечены отдельные высотные зоны гидрологическими постами и метеостанциями. Для изучаемой территории используемые 13 постов распределены неравномерно. Их наибольшее количество приходится на высоты 1000–1500 м (61% общего числа пунктов), на высоты до 1000 м приходится 31% постов, на высоты от 1500 до 2000 м – 8%. Наибольшее количество метеостанций (четыре из шести) расположено на высоте 1000–1500 м, на высоте до 1000 м распо-

ложена одна, на высоте от 2000 до 2100 м – также одна метеостанция. А на высотах 1500–2000 м и выше 2100 м данные наблюдений отсутствуют. Площади водосборов, относящиеся к указанным

13 водомерным постам, составляют от 106 до 3740 км², а средние взвешенные высоты – от 1680 до 2080 м (табл. 1). Влияние ледников на водосборе отсутствует.

Таблица 1

Список гидрологических постов на реках Дебедского бассейна (1935–2018)

Река – пост	Расстояние от устья, км	Высота, м	Уклон реки, ‰		Водосбор		
			Средний	Средне-взвешенный	Площадь, км ²	Средневзвешенная высота, м	Средний уклон, ‰
1. Памбак – п. Ширакамут	148	1606	22,5	15,6	359	2050	178
2. Памбак – п. Ванадзор	117	1318	–	–	886	–	–
3. Памбак – п. Гугарк	111	1254	14,3	11,6	1070	1980	195
4. Памбак – п. Туманян	92	897	15,5	12,7	1370	1920	223
5. Дебед – п. Айрум	40	476	12,7	11,1	3740	1770	188
6. Лернадзур – п. Лернапат	3,3	1442	–	–	128	–	–
7. Тандзут – п. Ванадзор	0,3	1314	67,0	51,0	155	2080	319
8. Аларекс – п. Дебет	2,1	992	79,6	68,3	106	2010	323
9. Дзорагет – п. Степанаван	27	1328	24,5	28,5	1000	1930	134
10. Дзорагет – п. Гаргар	4,4	973	22,0	19,3	1450	1860	97
11. Ташир – п. Саратовка	8,7	1464	31,7	24,3	439	1810	77,9
12. Гаргар – п. Куртан	4,0	1232	43,9	42,8	123	1680	210
13. Марцигет – п. Туманян	0,1	826	41,9	36,6	251	1720	288

Систематические наблюдения над температурой воды начаты в 1938 г. и ведутся в настоящее время на гидрологических постах. Поскольку на реках не наблюдаются устойчивые ледовые образования [Маргарян, 2021], приводимую характеристику термического режима можно отнести к периоду открытой водной поверхности. Незначительные многолетние изменения температуры воды позволили при оценке межгодового хода использовать данные наблюдений за 1938–2018 гг. С другой стороны, учитывая, что некоторые гидрологические посты были открыты только в середине 1960-х гг., а также, что до 1950 г. наблюдения за температурой воды производились только утром (в 8:00), а с 1950 г. – два раза в сутки (в 8:00 и 20:00) [Маргарян, 2013; Ресурсы..., 1973], для возможности сравнения некоторые расчеты и построение графиков проводились за общий период наблюдений с 1964 г., который характеризуется однородностью, связанной с единообразными подходами в методах измерения температуры воды.

Средние месячные значения температуры воды вычислены из средних декадных значений. Последние, в свою очередь, получены как средние арифметические из измеренных в 8 и 20 часов с точностью

до 0,1°C. Измерения температуры воды производятся, как правило, в створе водомерных постов у берега и с термометрами различной точности. Поправка на неточность шкалы термометра, меняющаяся обычно в пределах 0,1–0,4°C, не вводилась.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Тепловые процессы и термический режим в водотоках обусловлены сочетанием множества факторов – орографии, гидрогеологических особенностей (главным образом, выходом подземных вод), климатическими особенностями, изменением водности, источников питания, почвенно-растительного покрова, гидравлическими свойствами и морфологическими характеристиками русла, а также хозяйственной деятельностью [Алексеевский, 2014; Гидрография..., 1981; Григорян, 1999; Ресурсы..., 1973]. Термический режим нерегулируемых рек на горных территориях в существенной мере зависит от орографических факторов. Их воздействие трансформирует широтное изменение температуры воздуха, а также соотношение источников питания рек, влияющих на особенности их термического режима. При наличии ледникового питания темпе-

ратура воды в реках будет ниже по сравнению с реками со смешанным питанием. Подземное питание повышает температуру речной воды в зимний период и понижает ее в остальные фазы термического режима [Кузьмина, 2013].

Так как в работах [Маргарян, 2018; 2021] представлены физико-географические особенности изучаемой территории, а в работах [Ресурсы..., 1973; Маргарян, 2013] – особенности формирования температуры воды, то здесь эти вопросы не рассматриваются. В работе [Caissie, 2006] описываются различные тепловые процессы, ответственные за

изменчивость температуры воды как во временном (например, суточный, сезонный), так и в пространственном масштабах, и главное, возможные методы оценки этой изменчивости.

При совместном влиянии вышеуказанных факторов температура воды рек изучаемой территории за период с декабря по март характеризуется неравномерным распределением – в среднем за 1964–2018 гг. колеблется в пределах от 1,1°C (р. Аларекс – п. Дебет) до 4,4°C (р. Памбак – п. Гугарк) (табл. 2). Вниз по течению рек температура воды, как правило, возрастает.

Таблица 2

Значения температур воды рек за декабрь – март 1964–2018 гг. (*1975–2018) на створах гидрологических постов в бассейне р. Дебед

Река – пост	Высота над уровнем моря, м	Месяц				Значения температур	
		ХІІ	І	ІІ	ІІІ	Среднее за декабрь – март	Среднее за год
1. Памбак – п. Ширакамут	1606	1,7	1,0	1,4	2,6	1,7	7,1
2. Памбак – п. Ванадзор*	1318	3,4	2,4	3,0	5,0	3,4	9,6
3. Памбак – п. Гугарк	1254	4,4	3,3	4,0	5,8	4,4	10,2
4. Памбак – п. Туманян	897	3,3	2,2	2,8	5,2	3,4	9,6
5. Дебед – п. Айрум	476	3,8	2,8	3,8	6,5	4,2	11,1
6. Лернадзур – п. Лернапат	1442	1,8	1,1	1,5	3,2	1,9	7,6
7. Тандзут – п. Ванадзор	1314	2,6	2,0	2,2	3,3	2,5	8,0
8. Аларекс – п. Дебет	992	1,0	0,4	0,7	2,2	1,1	7,2
9. Дзорагет – п. Степанаван	1328	3,4	2,7	3,0	4,5	3,4	8,3
10. Дзорагет – п. Гаргар	973	3,0	2,2	2,8	4,8	3,2	9,0
11. Ташир – п. Саратовка	1464	4,1	3,4	3,8	5,1	4,1	9,1
12. Гаргар – п. Куртан	1232	1,7	0,7	0,9	3,0	1,6	8,8
13. Марцигет – п. Туманян	826	1,3	0,5	1,0	3,3	1,5	8,6

Примечание. Номера постов в таблице соответствуют номерам постов на рис. 1.

Реки исследуемой территории имеют общую тенденцию к повышению температуры воды вниз по течению. Наинизшие значения средней температуры воды за декабрь – март наблюдаются в верховьях, с уменьшением высоты местности температура воды возрастает. Так, например, если в верховьях реки у п. Ширакамут на р. Памбак (среднее течение) средняя температура воды за декабрь – март равна 1,7°C, то у п. Айрум на р. Дебед (нижнее течение) она равна 4,2°C.

Средняя месячная температура воды во всех действующих створах рек бассейна Дебед за период с декабря по март в основном положительна или близка к нулю. Температура воздуха, согласно данным действующих в бассейне метеорологиче-

ских станций, за месяцы этого периода в основном имеет отрицательные значения. Средние январские температуры наблюдаются в пределах от –6,4°C (Пушкинский перевал) до 0,7°C (Баграташен), а с декабря по март – соответственно от –4,6°C (Пушкинский перевал) до 2,9°C (Баграташен). Средняя температура воздуха с декабря по март положительна также на метеостанции Одзун (0,9°C).

Температура воды рек (в холодный период года) почти всегда выше температуры воздуха (рис. 2). Сведения о температуре воздуха при этом берутся по данным метеостанции, расположенной примерно на той же высоте в том же водосборном бассейне рек. Годовой ход температуры речных вод в основном отражает годовой ход температуры воздуха.

Температура воды, как и воздуха, характеризуется плавным повышением, начиная с февраля – марта, продолжающимся до июля – августа, когда она достигает максимального значения. Наименьшая средняя месячная температура воды (от 0,4–0,5 до 3,3–3,4°C) на всех реках отмечается в конце января.

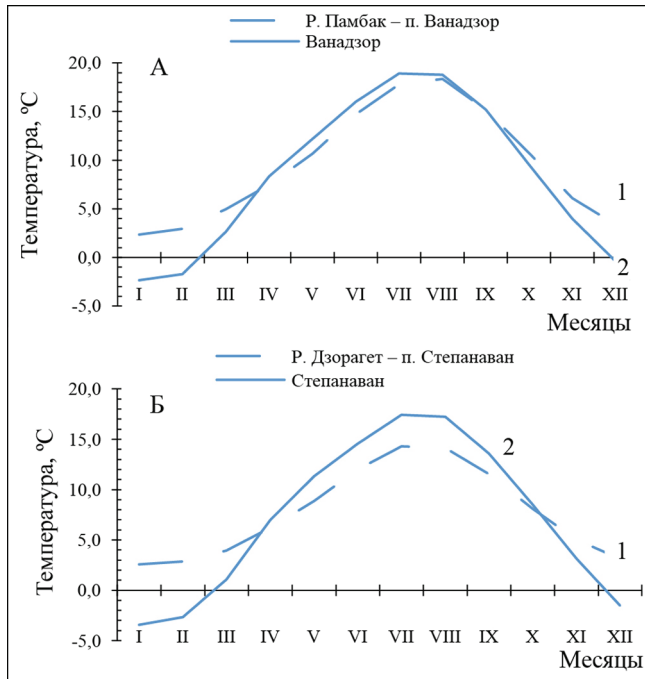


Рис. 2. Годовой ход температуры воды на водомерных постах (р. Памбак – п. Ванадзор (А, 1), р. Дзорагет – п. Степанаван (Б, 1)) и температуры воздуха на метеостанциях (Ванадзор (А, 2), Степанаван (Б, 2))

Fig. 2. Annual cycles of water temperature at water measuring stations (the Pambak River – Vanadzor st. (A, 1), the Dzoraget River – Stepanavan st. (B, 1)) and air temperature at meteorological stations Vanadzor (A, 2), Stepanavan (B, 2)

Обычно температура воды рек, текущих в горных условиях, связана с высотой местности [Ресурсы..., 1973; Маргарян, 2013]. Однако исследования показывают, что в холодное время года в бассейне реки Дебед эта закономерность проявляется в неявном виде.

В качестве определяющего фактора в формировании температуры воды может быть, например, площадь водосбора, которая косвенно связана с высотой местности: истоки рек, как правило, находятся в горных районах; чем ближе пост к истоку, тем меньше площадь его водосбора. Удаляясь от истока, площадь увеличивается и меняется характер формирования стока от горного, полугорного до равнинного. Территории с пониженными температурами воды, как правило, совпадают с наиболее высокими в орографическом отношении районами.

На рис. 3 представлена корреляционная связь между средними значениями температуры воды и температуры воздуха за декабрь – март для рек бассейна р. Дебед. Для месячной дискретизации закономерна прямая связь: с ростом температуры воздуха растет температура воды.

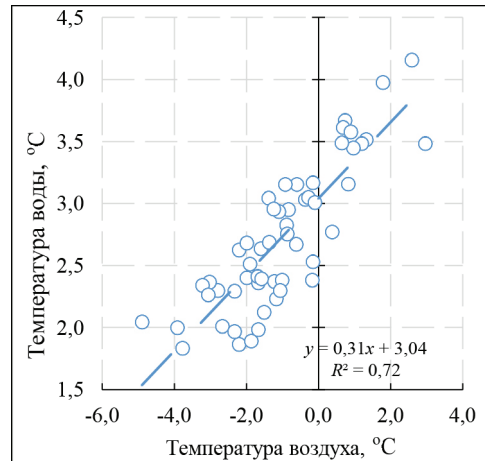


Рис. 3. Связь между средними значениями температуры воды и температуры воздуха за декабрь – март в бассейне р. Дебед

Fig. 3. Correlation between the average values of water temperature and air temperature for December – March in the basin of the Debed River

Так, у находящихся почти в высотной зоне рек Тандзут (п. Ванадзор, 1314 м) и Дзорагет (п. Степанаван, 1328 м) с площадями водосборов 155 и 1000 км² соответственно температура воды равна 2,5 и 3,4°C. Рассмотренные зависимости между температурой воды за холодный период и площадью водосбора представлены на рис. 4 отдельно для бассейна р. Памбак и р. Дзорагет – Дебед.

Это обусловлено особенностями физико-географических (в частности, гидрогеологических) условий бассейнов, о чем уже отмечалось в работе [Маргарян, 2021]. В работе [Самохвалов, Ухов, 2018] рассмотрена похожая связь температуры водотоков бассейна реки Колымы с их размерами (протяженность и площадь водосбора). Выявлена тенденция возрастания температур воды с увеличением размеров ручьев и рек.

Связи между среднемесячными значениями температуры воды (рис. 5А, Б), а также между средними значениями температуры воды за холодный период и за год (см. рис. 5Г) и за январь (В) для всех рассматриваемых рек бассейна р. Дебед выражается в виде кривой, изображенной на рис. 5. Эти графические связи можно использовать для получения приближенных средних значений температуры воды неизученных рек.

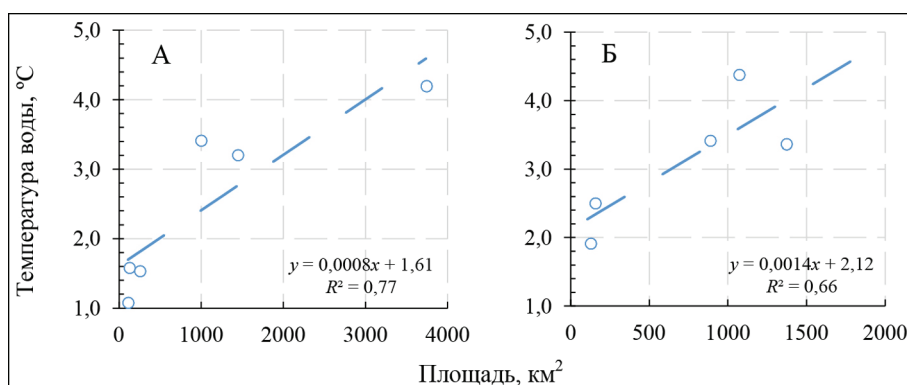


Рис. 4. Зависимость среднего значения температуры воды за декабрь – март от площади водосбора в бассейнах рек Дзорaget – Дебед (А) и Памбак (Б)

Fig. 4. Dependence of the average water temperature for December–March on the drainage basin area in the basins of the Dzoraget and Debed rivers (А), the Pambak River (Б)

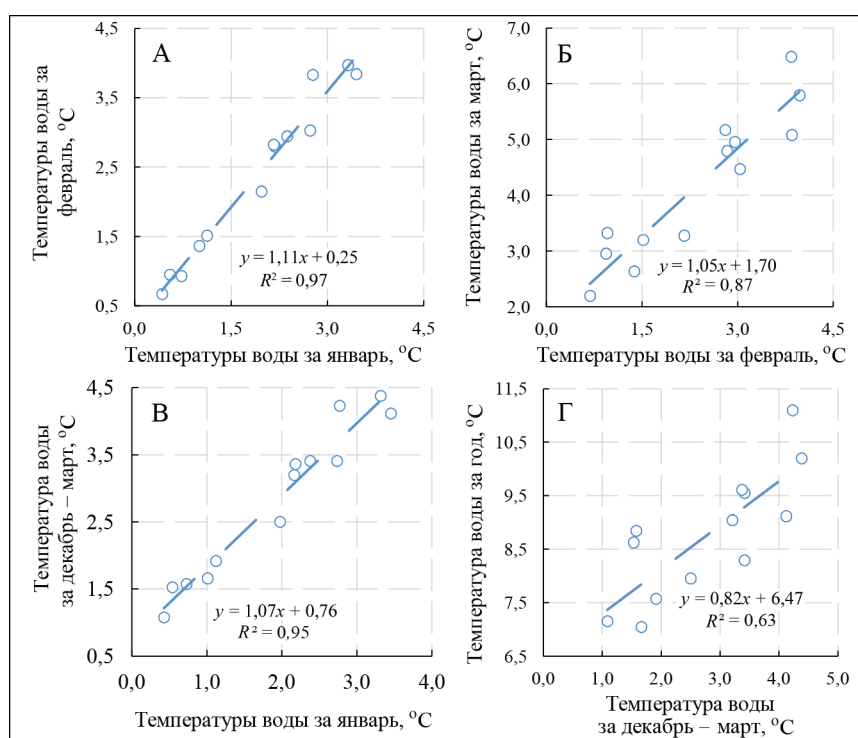


Рис. 5. Корреляционная связь между среднемесячной температурой воды (А, Б), средней температурой за декабрь – март и январь (В), средней температурой за декабрь – март и за год (Г)

Fig. 5. Correlation between the average monthly water temperature (А, Б), the average for December–March and for January (В), the average for December–March and for the year (Г)

Построены хронологические графики изменений средней температуры воды и воздуха за период декабрь – март в бассейне р. Дебед (рис. 6А, Б), а также по каждому гидропосту и метеорологической станции в отдельности (см. рис. 6В–Е). В рядах многолетних наблюдений преимущественно преобладает тенденция повышения температуры воды и воздуха, что подтверждается более ранними нашими исследованиями. Как пример на рис. 6 представлены межгодовые изменения температуры воздуха для метео-

станций на разных высотах: Степанаван – 1507 м (В), Одзун – 1105 м (Г) и температуры воды р. Дзорaget – п. Степанаван (Д) и р. Марцигет – п. Туманян (Е).

Однако при значительном диапазоне межгодовых колебаний четко виден перелом в ходе температур в начале – середине 1980-х гг., после чего началось их существенное повышение. Таким образом, очевидно, что: 1) было два отличающихся периода; 2) в первый из них, до начала 1980-х гг., тренды температуры воздуха не проявляли заметной положительной тенден-

ции; 3) существенный рост температуры воды после середины 1980-х гг. происходил прежде всего за счет значительного потепления. Расчеты для отдельных действующих в настоящее время метеостанций показали, что во всем бассейне р. Дебед независимо от высоты водосборов за 1984–2018 гг. наблюдается существенный рост температуры воздуха в декабре – марте. Такие закономерности проявляются также во всех действующих створах рек, кроме створов Ванадзор и Гугарк р. Памбак. А за 1964–1983 гг. наблюдается как повышение, так и уменьшение температуры воды и воздуха. При этом преобладают случаи повышения.

В зимний период за последние 40 лет температура воды повысилась также для большинства рек Приазовья и Предкавказья, южного склона Северного Кавказа [Кузьмина, 2013]. Эта закономерность

характерна также и для других регионов нашей планеты [Михайлов, 2009; Arismendi et al., 2013; Isaak et al., 2012; Langan et al., 2001]. Как правило, существующие исследования долгосрочных тенденций показывают, что температура воды в реках реагирует на изменения климата [Bartholow, 2005; Elliott et al., 2000; Kiffney et al., 2002], особенно на изменение такого метеорологического фактора, как температура воздуха, которую можно назвать основной причиной временных изменений температуры воды в реке [Дудник и др., 2014; Дмитриева, Бучик, 2021]. Повышение температуры воды сильно коррелировало с повышением температуры воздуха [Алексеевский, 2014; Михайлов, 2009; Langan et al., 2001; Marszelewski, Pius, 2016; Webb, Nobilis, 2007]. Влияние изменений стока на температуру в реках менее однозначно [Webb, Nobilis, 2007].

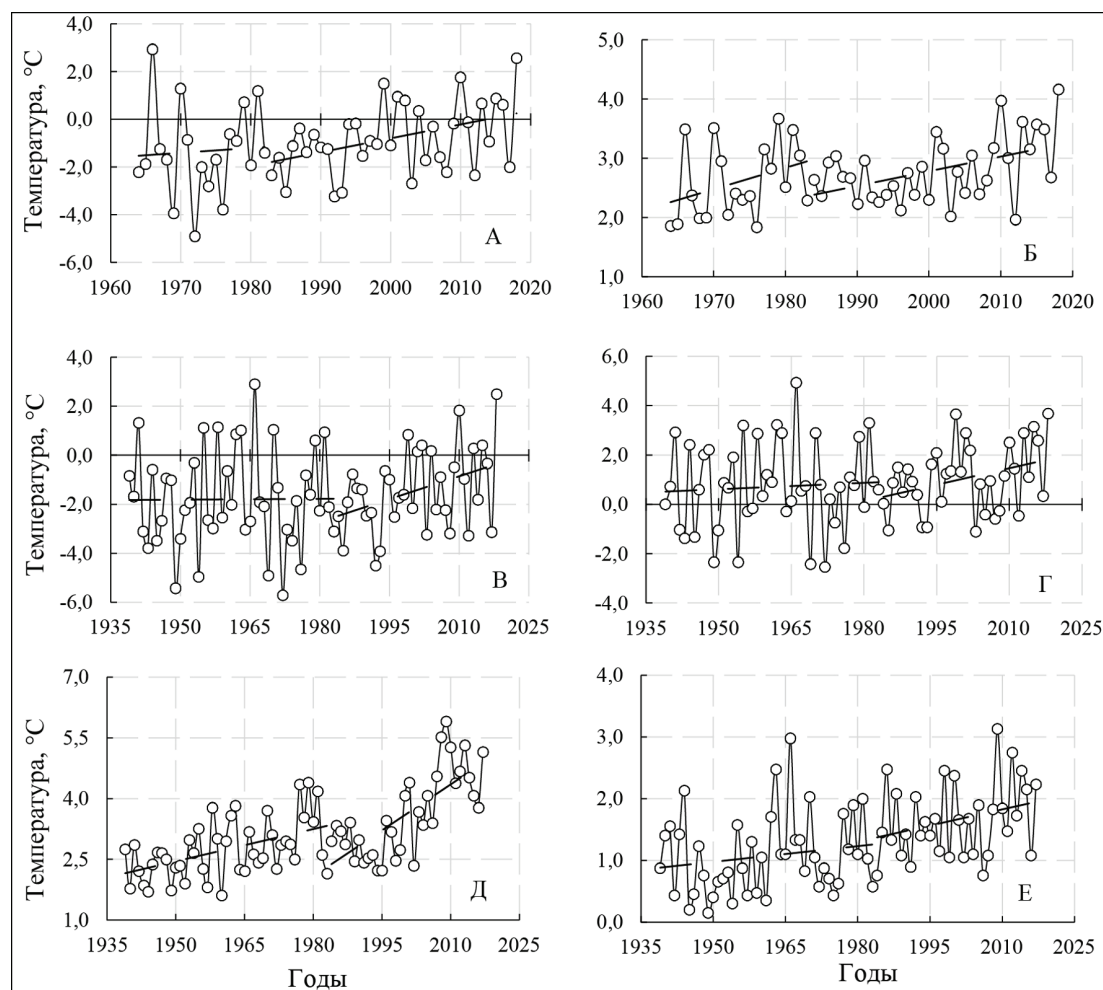


Рис. 6. Многолетние изменения средней температуры воды (А) и температуры воздуха (Б) за декабрь – март в бассейне р. Дебед (значения территориально осреднены).

Температура воздуха для метеостанций на разных высотах: В – Степанаван, 1507 м; Г – Одзун, 1105 м; температура воды: Д – р. Дзорагет – п. Степанаван; Е – р. Марцигет – п. Туманян

Fig. 6. Long-term changes in the average water temperature (A) and air temperature (B) for December–March in the Debed River basin as a whole.

The air temperature for meteorological stations at different heights: B – Stepanavan, 1507 m; Г – Odzun, 1105 m; and in water temperatures: Д – the Dzoraget River, Stepanavan st. and E – the Martsiget River, Tumanyan st.

Величину изменений температуры воды и воздуха иллюстрирует табл. 3. Наибольшая скорость изменения (коэффициент линейного тренда) температуры, особенно воздуха, зафиксирована после середины 1980-х гг. В целом в бассейне р. Дебед за 1984–2018 гг. скорость изменения температуры воздуха составляет $+0,55^{\circ}\text{C}/10$ лет, а скорость изменения температуры воды – $+0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет. На территории бассейна р. Дебед с 1964 по 1983 г. температура воды повысилась на $0,7^{\circ}\text{C}$, с 1984 по 2018 г. – на $0,9^{\circ}\text{C}$, а температура воздуха – соответственно на $0,1$ и $1,9^{\circ}\text{C}$. В целях выяснения наличия у исследуемых рядов монотонного (возрастающего или убывающего) тренда использован непараметрический критерий тренда Спирмена [Христо-

форов, 1988]. Практически для всех исследуемых рядов выявлены статистически значимые (при уровне значимости 5%) возрастающие тренды как для всего периода наблюдений (1939–2018), так и для 1984–2018 гг.

В бассейне р. Дебед статистические характеристики имеют следующие значения: средние квадратические отклонения за периоды 1964–1983 и 1984–2019 гг. для воды составляют 0,53 и 0,60 соответственно, коэффициент вариации – 0,19 и 0,23, а для температуры воздуха – 1,40 и 1,84; 1,32 и 1,94 соответственно. Наблюдается увеличение значений во второй период, характеризующее возрастающие среднегодовые величины и изменчивость процессов.

Таблица 3

**Статистические характеристики изменения температур воздуха и воды
в разные периоды наблюдений**

Пост	Период, годы	Статистическая характеристика			
		Средняя температура за периоды, °C	Скорость изменения температуры, °C/10 лет	Изменения температуры, °C	Среднее квадратическое отклонение
Температура воды, °C					
Р. Дзорагет – п. Степанаван	1939–1983	2,7	+0,27	+1,2	0,70
	1984–2018	3,6	+0,76	+2,7	1,02
Р. Марцигет – п. Туманян	1939–1983	1,1	+0,09	+0,4	0,63
	1984–2018	1,6	+0,18	+0,6	0,58
Бассейн р. Дебед	1964–1983	2,6	+0,36	+0,7	0,60
	1984–2018	2,8	+0,25	+0,9	0,53
Температура воздуха, °C					
Степанаван	1939–1983	–1,8	+0,01	+0,0	1,97
	1984–2018	–1,4	+0,62	+2,2	1,61
Одзун	1939–1983	0,7	+0,08	+0,4	1,74
	1984–2018	1,1	+0,45	+1,6	1,33
Бассейн р. Дебед	1964–1983	–1,4	+0,04	+0,1	1,84
	1984–2018	–0,7	+0,55	+1,9	1,40

Частичная оценка влияния возможного изменения средней температуры воздуха в холодное время года на температуру воды и ледовый режим рек изучаемого водосбора сделана также в работе [Маргарян, 2021].

ВЫВОДЫ

В высокогорной зоне, т. е. вблизи истоков, речные воды холодные, вниз по течению быстро прогреваются, и температура достигает наибольших значений в устьевых участках. Многолетняя сред-

няя температура воды с декабря по март за 1964–2018 гг. колеблется в пределах от $1,1$ до $4,4^{\circ}\text{C}$.

Для предварительной оценки температур воды неизученных или малоизученных рек получены корреляционные зависимости между величиной средних температур воды холодного периода и площадью водосбора бассейна. С увеличением площади водосборного бассейна повышается и температура воды рек.

Полученные корреляционные зависимости между средними месячными значениями температуры

воды холодного периода, а также между средними значениями температуры воды за холодный период и за год, между средними значениями температуры воды за холодный период и за январь можно использовать для получения приближенных средних значений температуры воды неизученных рек и для прогнозирования температуры воды за холодный период и за год.

В бассейне р. Дебед большая скорость изменения температуры воздуха зафиксирована с середины 1980-х гг., а температуры воды, наоборот, – до середины 1980-х гг. Скорость изменения температуры воздуха составляет: за 1964–1983 гг. $+0,04^{\circ}\text{C}/10$ лет, за 1984–2018 гг. $+0,55^{\circ}\text{C}/10$ лет. А скорость из-

менения температуры воды соответственно составляет $+0,36^{\circ}\text{C}/10$ лет и $+0,25^{\circ}\text{C}/10$ лет. Исключение составляет р. Дзорагет – п. Степанаван и р. Марцигет – п. Туманян, где рост температуры воды усиливается после 1984 г. При этом скорость изменений температуры воды и воздуха на разных метеостанциях и гидропостах бассейна Дебеда различна.

Полученные результаты можно использовать для решения ряда прикладных задач, связанных с определением таких важных составляющих теплового баланса, как испарение, теплообмен водной поверхности с атмосферой, теплообмен в водной массе, водоснабжения и др., для оценки антропогенного воздействия на водный объект.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке гранта КН РА 20RF-039 (Комитет науки Республики Армения) и РФФИ № 20-55-05006/20 в рамках совместной научной программы «Краткосрочный вероятностный прогноз стока рек в период весеннего половодья», а также в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеевский Н.И., Кузьмина Е.О., Базелюк А.А. Термический режим рек на юге европейской территории России // Известия РАН. Сер. географическая. 2014. № 5. С. 56–66.
- Артамонов Ю.В., Скрипалева Е.А., Никольский Н.В. Внутригодовая изменчивость поля температуры в Арктическом бассейне // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2020. № 2. С. 100–109.
- Василенко А.Н., Магрицкий Д.В., Фролова Н.Л. Закономерности изменений среднегодовой температуры воды рек Арктической зоны России в связи с изменениями климата // Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 8–22. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-1.
- Гидрография Армянской ССР. Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1981. 177 с. (На армян. яз.)
- Григорян А.Т. Ледово-термический режим рек Республики Армения (Географические факторы формирования): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ереван, 1999. 22 с. (На армян. яз.)
- Дмитриева В.А., Бучик С.В. Термический режим речных вод как ответная реакция на климатические процессы в бассейне верхнего Дона // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 1(86). С. 127–134.
- Дудник С.Н., Буковский М.Е., Можаров А.В., Колкова К.С., Чернова М.А., Суrowикина И.В. Динамика гидротермического режима в реках Донского бассейна на территории Тамбовской области // Вестник ТГУ. 2014. Т. 19. Вып. 5. С. 1404–1409.
- Иванов В.В., Архипкин В.С., Лемешко Е.М., Мысленков С.А., Смирнов А.В., Суркова Г.В., Тузов Ф.К., Чечин Д.Г., Шестакова А.А. Изменение гидрологических условий в Баренцевом море как индикатор климатических трендов в евразийской Арктике в XXI веке // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2022. № 1. С. 13–25.
- Кузьмина Е.О. Особенности термического режима рек на юге европейской территории России // Вестн. ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. 2013. № 2. С. 86–92.
- Маргарян В.Г. Особенности термического режима рек в регионе Агстев – Тавуша // Науч. труды Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института. 2013. Вып. 264. С. 51–64.
- Маргарян В.Г. Динамика изменения температуры воды рек бассейна Воротан (на территории Республики Армения), как результат антропогенной деятельности // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей: тр. VIII Международной научно-практической конференции. 24–27 ноября 2014 г. Т. 1. М.: РУДН, 2014. С. 469–488.
- Маргарян В.Г. Геолого-гидрогеологическое строение и состав почвогрунта речных бассейнов как важный фактор формирования речного стока территории (на примере речного бассейна р. Дебед) // Горные науки и технологии, НИТУ «МИСиС». 2018. № 4. С. 3–9. DOI: 10.17073/2500-0632-2018-4-3-9.
- Маргарян В.Г. Ледовый режим рек бассейна Дебед, Армения // Лед и снег. 2021. Т. 61. № 2. С. 248–261.
- Михайлов В.М. Основные закономерности формирования термического режима рек и водоемов на северо-востоке Азии // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2009. № 4. С. 27–34.
- Методические указания по ведению Государственного водного кадастра. Раздел 1. Вып. 4. Ч. 1: Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1981. 80 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 9: Закавказье и Дагестан. Вып. 1: Западное Закавказье. Л.: Гидрометеоиздат, 1969. 312 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 9. Вып. 2: Бассейн р. Аракса. М.: Гидрометеоиздат, 1973. 472 с.
- Самохвалов В.Л., Ухов Н.В. Температурный режим водотоков разных порядков в бассейне верхней Колымы // Вестн. ВГУ. Сер.: География. Геоэкология. 2018. № 4. С. 48–51.
- Христофоров А.В. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие. М.: Изд-во МГУ, 1988. 132 с.

- Шешко Н.Н., Кухаревич М.Ф. Многолетняя изменчивость термического режима и тепловой баланс реки Лань // Вестн. Брестского гос. тех. ун-та. 2020. № 2. С. 48–51.
- Arismendi I., Johnson S.I., Dunham J.B., Haggerty R. Descriptors of natural thermal regimes in streams and their responsiveness to change in the Pacific Northwest of North America, *Freshwater Biology*, 2013, no. 58, p. 880–894, DOI:10.1111/fwb.12094.
- Bartholow J.M. Recent water temperature trends in the lower Klamath River, California, *North American Journal of Fisheries Management*, 2005, vol. 25, iss. 1, p. 152–162, DOI: org/10.1577/M04-007.1.
- Caissie D. The thermal regime of rivers: a review, *Freshwater Biology*, 2006, no. 51, p. 1389–1406, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01597.x.
- Coutant C.C. Perspective on Temperature in the Pacific Northwest's Fresh Water, *Environmental Sciences Division*, 1999, no. 4849, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-1999/44, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 109 p.
- Dymond J.R. Water temperature change caused by abstraction, *Hydraulic Engineering ASCE*, 1984, no. 110(7), p. 987–991.
- Elliott J.M., Hurley M.A. A functional model for maximum growth of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England, *Functional Ecology*, 1997, no. 11, p. 592–603.
- Elliott J.M., Hurley M.A., Maberly S.C. The emergence period of sea trout fry in a Lake District stream correlates with the North Atlantic Oscillation, *Fish Biology*, 2000, no. 56, p. 208–210.
- Ebersole J.L., Liss W.J., Frissell C.A. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States, *Ecology of Freshwater Fish*, 2001, no. 10, p. 1–10.
- Isaak D.J., Wollrab S., Horan D., Chandler G. Climate change effects on stream and river temperatures across the north-west U.S. from 1980–2009 and implications for salmonid fishes, *Climatic Change*, 2012, no. 113, p. 499–524.
- Jensen A.J. Growth of young migratory brown trout *Salmo trutta* correlated with water temperature in Norwegian rivers, *Animal Ecology*, 1990, no. 59, p. 603–614.
- Kiffney P.M., Bull J.P., Feller M.C. Climatic and hydrologic variability in a coastal watershed of southwestern British Columbia, *Journal of the American Water Resources Association*, 2002, no. 38(5), p. 1437–1451.
- Langan S.J., Johnston L., Donaghy M.J., Youngson A.F., Hay D.W., Soulsby C. Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period, *Science of the Total Environment*, 2001, no. 265(1–3), p. 195–207, DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00659-8.
- Marszelewski W., Pius B. Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate: A case study of Polish rivers, *Hydrological Sciences Journal*, 2016, vol. 61, iss. 8, p. 1430–1442.
- Mellina E., Moor R.D., Hinch S.G., Macdonald J.S., Pearson G. Stream temperature responses to clearcut logging in British Columbia: the moderating influences of groundwater and headwater lakes, *Can. J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2002, no. 59, p. 1886–1900.
- Mohseni O., Stefan H.G., Eaton J.G. Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams, *Climate Change*, 2003, no. 59, p. 389–409.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, no. 37, p. 130–137.
- Sinokrot B.A., Gulliver J.S. In-stream flow impact on river water temperatures, *Journal of Hydraulic Research*, 2000, no. 38, p. 339–349.
- Webb B.W., Nobilis F. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors, *Hydrological Sciences, Sciences Hydrologiques*, 2007, no. 52(1), p. 74–85, DOI: 10.1623/hysj.52.1.74.

Поступила в редакцию 25.05.2021

После доработки 13.12.2021

Принята к публикации 27.06.2022

WINTER THERMAL REGIME OF RIVERS OF THE DEBED RIVER BASIN (ARMENIA)

V.G. Margaryan¹, N.L. Frolova², E.V. Gaidukova³, A.M. Sedrakyan⁴

¹ Yerevan State University, Faculty of Geography and Geology, Department of Physical Geography and Hydrometeorology, Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: vmargaryan@ysu.am

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Head of Department, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: frolova_nl@mail.ru

³ Russian State Hydrometeorological University, Institute of Hydrology and Oceanology, Department of Engineering Hydrology, Associate Professor, Ph.D. in Engineering; e-mail: oderiut@mail.ru

⁴ National Polytechnic University of Armenia (NPUA), Faculty of Applied Mathematics and Physics, Department of Physics, Associate Professor, Ph.D. in Physics and Mathematics; e-mail: asedrakyan@seua.am

Specific features of thermal regime of the rivers of the Debed River basin in the cold season (December – March) are considered, as well as the patterns of their temporal fluctuations. Characteristics of the space-time dynamics of air temperature are also presented in order to assess the response of thermal regime to climate change. Observations on water temperature of the rivers of the Debed River basin at 13 gauging stations and on air temperature at 6 meteorological stations were used as the initial data.

A correlation was obtained between the average values of water temperature and the air temperature for December – March in the basin of the Debed River. It is shown that water temperature in the cold season is almost always higher than the air temperature. The lowest average monthly water temperature on all rivers is observed at the end of January. And it mainly increases downstream the rivers. For the period from 1964 to 2018 the average water temperature in the cold season ranges from 1,1 to 4,4°C.

To calculate water temperatures over the unexplored river sections correlations were obtained between its values for the cold season and the areas of river basins, as well as between the average monthly values of water temperature during the cold period and during other time periods.

During 1984–2018 there is a statistically significant increase in air and water temperatures at currently operating meteorological stations and gauging stations. And for the period 1964–1983, both an increase and a decrease in water and air temperatures were recorded, with a predominant increase.

The results obtained can be used to calculate the heat flow, to consider the thermal regime of unexplored river basins, and to assess the hydroecological safety of the Debed River basin.

Keywords: correlation, linear trend, long-term changes, statistic characteristics, air and water temperature, cold season

Acknowledgements. The work was financially supported by the Scientific Committee of the Republic of Armenia (grant 20RF-039) and the Russian Foundation for Basic Research (project 20-55-05006/20) under the Joint Scientific Program Short-term probability analysis of river flow during spring flood, and the Development Program of the Interdisciplinary research and education school of the Lomonosov Moscow State University Future of the Planet and the Global Environmental Changes.

REFERENCES

- Alekseevsky N.I., Kuzmina E.O., Bazelyuk A.A. Termicheskiy rezhim rek na yuge Evropeyskoy territorii Rossii [Thermal regime of the rivers in the south of European Russia], *Izvestiya RAN, Ser. Geograficheskaya*, 2014, no. 5, p. 56–66. (In Russian)
- Arismendi I., Johnson S.L., Dunham J.B., Haggerty R. Descriptors of natural thermal regimes in streams and their responsiveness to change in the Pacific Northwest of North America, *Freshwater Biology*, 2013, no. 58, p. 880–894, DOI: 10.1111/fwb.12094.
- Artamonov Yu.V., Skripaleva E.A., Nikolskii N.V. Vnutrigodovaya izmenchivost' polya temperatury v Arkticheskom bassejne. [Intra-annual variability of temperature field in the Arctic basin], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2020, no. 2, p. 100–109. (In Russian)
- Bartholow J.M. Recent water temperature trends in the lower Klamath River, California, *North American Journal of Fisheries Management*, 2005, vol. 25, iss. 1, p. 152–162. DOI: org/10.1577/M04-007.1.
- Caissie D. The thermal regime of rivers: a review, *Freshwater Biology*, 2006, no. 51, p. 1389–1406, DOI: 10.1111/j.1365-2427.2006.01597.
- Coutant C.C. Perspective on Temperature in the Pacific Northwest's Fresh Water, *Environmental Sciences Division*, 1999, no. 4849, Oak Ridge National Laboratory, ORNL/TM-1999/44, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 109 p.
- Dmitrieva V.A., Buchik S.V. Thermal Regime of River Water as a Response to Climatic Processes in the Upper Don Drainage Basin, *Arid Ecosystems*, 2021, vol. 11, no. 1, p. 109–115.
- Dudnik S.N., Bukovsky M.E., Mozharov A.V., Kolkova K.S., Chernov M.A., Surovikina I.V. Dinamika gidrotermicheskogo rezhima v rekakh Donskogo basseyna na territorii Tambovskoy oblasti [Dynamics of hydrothermal regime for the rivers of the Don River basin in the Tambov region], *Vestn. Tambovskogo un-ta, Ser. yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*, 2014, vol. 19, no. 5, p. 1404–1409. (In Russian)
- Dymond J.R. Water temperature change caused by abstraction, *Hydraulic Engineering ASCE*, 1984, no. 110(7), p. 987–991.
- Ebersole J.L., Liss W.J., Frissell C.A. Relationship between stream temperature, thermal refugia and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* abundance in arid-land streams in the northwestern United States, *Ecology of Freshwater Fish*, 2001, no. 10, p. 1–10.
- Elliott J.M., Hurley M.A. A functional model for maximum growth of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England, *Functional Ecology*, 1997, no. 11, p. 592–603.
- Elliott J.M., Hurley M.A., Maberly S.C. The emergence period of sea trout fry in a Lake District stream correlates with the North Atlantic Oscillation, *Fish Biology*, 2000, no. 56, p. 208–210.
- Gidrografiya Armyanskoy SSR* [Hydrography of ASSR], Yerevan, Academy of Sciences of ASSR Publ., 1981, 177 p. (In Armenian)
- Grigoryan A.T. *Ledovo-termicheskiy rezhim rek Respubliki Armeniya* (Geograficheskiye faktory formirovaniya) [Ice-thermal regime of the rivers of the Republic of Armenia (geographical factors of formation)], Ph.D. Thesis in Geography, Yerevan, 1999, 22 p. (In Armenian)
- Isaak D.J., Wollrab S., Horan D., Chandler G. Climate change effects on stream and river temperatures across the north-west U.S. from 1980–2009 and implications for salmonid fishes, *Climatic Change*, 2012, no. 113, p. 499–524.

- Ivanov V.V., Arkhipkin V.S., Lemeshko Y.M., Myslenkov S.A., Smirnov A.V., Surkova G.V., Tuzov F.K., Chechin D.G., Shestakova A.A. Izmeneniye gidrologicheskikh usloviy v Barentsevom more kak indikator klimaticheskikh trendov v evraziyskoy Arktike v XXI veke [Changes in hydrometeorological conditions in the Barents Sea as an indicator of climatic trends in the Eurasian Arctic in the 21st century], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2022, no. 1, p. 13–25. (In Russian)
- Jensen A.J. Growth of young migratory brown trout *Salmo trutta* correlated with water temperature in Norwegian rivers, *Animal Ecology*, 1990, no. 59, p. 603–614.
- Khrstoforov A.V. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika: Uchebnoye posobiye* [Theory of probability and mathematical statistics: Manual], Moscow, Izd-vo MGU, 1988, 132 p.
- Kiffney P.M., Bull J.P., Feller M.C. Climatic and hydrologic variability in a coastal watershed of southwestern British Columbia, *Journal of the American Water Resources Association*, 2002, no. 38(5), p. 1437–1451.
- Kuzmina E.O. Osobennosti termicheskogo rezhima rek na yuge evropeyskoy territorii Rossii [Features of thermal regime of rivers in the south of the European Russia], *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta, Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2013, no. 2, p. 86–92. (In Russian)
- Langan S.J., Johnston L., Donaghy M.J., Youngson A.F., Hay D.W., Soulsby C. Variation in river water temperatures in an upland stream over a 30-year period, *Science of the Total Environment*, 2001, no. 265(1–3), p. 195–207, DOI: 10.1016/S0048-9697(00)00659-8.
- Margaryan V.G. [Dynamics of water temperature changes in rivers of the Vorotan basin (in the territory of the Republic of Armenia) as a result of anthropogenic activity], *Dinamika i termika rek, vodohranilish i pribrezhnoy zony morej* [Dynamics and thermals of rivers, reservoirs and the coastal zone of the seas], *Proc. of the international scientific and practical conference*, November 24–27, Moscow, 2014, vol. 1, p. 469–488. (In Russian)
- Margaryan V.G. Geologo-gidrogeologicheskoye stroeniye i sostav pochvogrunta rechnykh basseynov kak vazhnyy faktor formirovaniya rechnogo stoka territorii (na primere rechnogo basseyna r. Debed) [Geological and hydrogeological structure of river basins and soil composition as an important factor in the formation of the stream flow of the territory (case study of the Debed River basin)], *Gornyye nauki i tekhnologii, Mining science and technology* (Russia), 2018, no. 4, p. 3–9. (In Russian)
- Margaryan V.G. Ledovyy rezhim rek basseyna Debed, Armeniya [Ice regime of the rivers of the Debed basin, Armenia], *Led i Sneg*, 2021, vol. 61, no. 2, p. 248–261. (In Russian)
- Margaryan V.G. Osobennosti termicheskogo rezhima rek v regione Agstev – Tavusha [Peculiarities of thermal regime of rivers in the Aghstev-Tavush region], *Nauchnyye trudy Ukrainskogo nauchno-issledovatel'skogo gidrometeorologicheskogo instituta*, 2013, iss. 264, p. 51–64. (In Russian)
- Marszelewski W., Pius B. Long-term changes in temperature of river waters in the transitional zone of the temperate climate: A case study of Polish rivers, *Hydrological Sciences Journal*, 2016, vol. 61, iss. 8, p. 1430–1442.
- Mellina E., Moor R.D., Hinch S.G., Macdonald J.S., Pearson G. Stream temperature responses to clearcut logging in British Columbia: the moderating influences of groundwater and headwater lakes, *Can. J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, 2002, no. 59, p. 1886–1900.
- Metodicheskiye ukazaniya po vedeniyu Gosudarstvennogo vodnogo kadastra* [Guidelines for maintaining the State Water Cadastre], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1981, vol. 1, iss. 4, 80 p. (In Russian)
- Mikhaylov V.M. Osnovnyye zakonmernosti formirovaniya termicheskogo rezhima rek i vodoyemov na severo-vostoke Azii [Main regularities of the thermal regime formation in rivers and water bodies of the Northeastern Asia], *Vestn. Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN*, 2009, no. 4, p. 27–34. (In Russian)
- Mohseni O., Stefan H.G., Eaton J.G. Global warming and potential changes in fish habitat in U.S. streams, *Climate Change*, 2003, no. 59, p. 389–409.
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface-Water Resources of the USSR], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1969, vol. 9, iss. 1, 312 p. (In Russian)
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface-Water Resources of the USSR], Moscow, Gidrometeoizdat Publ., 1973, vol. 9, iss. 2, 472 p. (In Russian)
- Samokhvalov V.L., Uhov N.V. Temperaturnyy rezhim vodotokov raznykh poryadkov v basseynе verkhney Kolymy [Temperature regime of different-order watercourses in the Upper Kolyma River basin], *Vestn. Voronezhskogo gos. un-ta, Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2018, no. 4, p. 48–51. (In Russian)
- Sheshko N.N., Kukharevich M.F. Mnogoletnyaya izmenchivost' termicheskogo rezhima i teplovoy balans reki Lan' [Long-term variability of thermal regime and thermal balance of the Lan River], *Vestn. Brestskogo gos. tekhnicheskogo un-ta*, 2020, no. 2, p. 48–51. (In Russian)
- Sinokrot B.A., Gulliver J.S. In-stream flow impact on river water temperatures, *Journal of Hydraulic Research*, 2000, no. 38, p. 339–349.
- Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E. The river continuum concept, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1980, no. 37, p. 130–137.
- Vasilenko A.N., Magritskiy D.V., Frolova N.L. Zakonomernosti izmeneniy srednegodovoy temperatury vody rek Arkticheskoy zony Rossii v svyazi s izmeneniyami klimata [Patterns of Changes in Average Annual Water Temperatures of the Rivers of the Arctic Zone of Russia Associated with Climate Changes], *Vodnoye khozyaystvo Rossii*, 2020, no. 2, p. 8–22. (In Russian)
- Webb B.W., Nobilis F. Long-term changes in river temperature and the influence of climatic and hydrological factors, *Hydrological Sciences, Sciences Hydrologiques*, 2007, no. 52(1), p. 74–85, DOI: 10.1623/hysj.52.1.74.

Received 25.05.2021

Revised 13.12.2021

Accepted 27.06.2022

РЕЛЬЕФ И ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОПАСНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДОВ АБХАЗИИ

Р.О. Разумовский¹, Е.А. Еременко², С.И. Болысов³, Ю.Н. Фузеина⁴, В.А. Боголюбский⁵,
П.Д. Журавлев⁶, Р.Ю. Жибя⁷, А.А. Деркач⁸, А.В. Бредихин⁹, Р.С. Дбар¹⁰

^{1, 5} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет*
^{2–4, 6, 8, 9} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геоморфологии и палеогеографии*
^{7, 10} *Институт экологии Академии наук Абхазии*

¹ *Кафедра инженерной и экологической геологии, магистрант; e-mail: ror1554@mail.ru*

² *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: eremenkoeaig@gmail.com*

³ *Проф., д-р геогр. наук; e-mail: sibol1954@bk.ru*

⁴ *Доц., канд. геогр. наук; e-mail: donaldw@bk.ru*

⁵ *Кафедра динамической геологии, магистрант; e-mail: Bogolubskiyv@yandex.ru*

⁶ *Студент, e-mail: paulegrus@gmail.com*

⁷ *Ст. науч. сотр.; e-mail: romazb@mail.ru*

⁸ *Преод., канд. геогр. наук; e-mail: derkach1977@yandex.ru*

⁹ *Зав. кафедрой, проф., д-р геогр. наук; e-mail: avbredikhin@yandex.ru*

¹⁰ *Директор, канд. биол. наук; e-mail: romandbar@mail.ru*

По результатам выполненных в 2021–2022 гг. экспедиционных геоморфологических исследований с привлечением опубликованных материалов впервые составлена крупномасштабная (от 1:25 000 до 1:100 000) характеристика рельефа городских территорий Республики Абхазии (Гагры, Пицунды, Гудауты, Нового Афона и Сухума), подготовлены не имевшие ранее аналогов общие геоморфологические карты, легенды которых построены по морфогенетическому принципу. По морфоструктурной позиции и геоморфологическому строению города разделены на три группы: 1) полностью лежащие в области распространения прибрежно-морского рельефа (Пицунда и Гудаута); 2) расположенные преимущественно в пределах морских террас и эрозионно-денудационных возвышенностей (Сухум и Гагра); 3) полностью расположенные в низкорельефе с преобладанием сильно расчлененного структурно-денудационного, флювиального и склонового рельефа (Новый Афон). Полевое обследование выявило около 300 участков проявления неблагоприятных и опасных геоморфологических процессов на городских территориях, из которых 44% приходится на территорию Сухума, 26 – Гудауты, 11 – Гагры, 10 – Пицунды, 9% – Нового Афона. Ведущее место в спектре присущих геоморфологических опасностей принадлежит суффозионным, эрозионным и биогенным процессам. Состав прочих процессов в спектре предопределен геоморфологической позицией городов. Наиболее широкий спектр, включающий, кроме названных выше процессов, также карст, сели, обвально-осыпные и оползневые процессы (т. е. наиболее опасные), характерен для городских территорий со сложным строением рельефа, обилием крутых склонов и расположенных в пределах узкой полосы, отделяющей отроги Главного Кавказского хребта от моря (Гагра, Новый Афон). Выполнена качественная оценка риска разрушения уличной инфраструктуры (дорожного полотна, коммуникаций и др.) опасными геоморфологическими процессами и установлена высокая степень его зависимости от геоморфологической позиции конкретного участка города. В частности, на основании закономерностей распределения зафиксированных проявлений неблагоприятных и опасных геоморфологических процессов установлено, что наиболее благоприятные условия для строительства и эксплуатации городской инфраструктуры и застройки в целом создаются в пределах выровненных поверхностей позднеплейстоценовых морских террас, а также верхних уровней надпойменных террас в долинах крупных рек. Прочие уровни рельефа обладают теми или иными недостатками, затрудняющими освоение. Так, строительство на поверхности новочерноморской (голоценовой) морской террасы возможно лишь при условии гидроизоляции фундаментов и отсыпок грунта на пониженных участках. Освоение высоких морских террас, эрозионно-денудационного и структурно-денудационного рельефа затруднено из-за большой густоты эрозионного расчленения.

Ключевые слова: геоморфология городских территорий, опасные геоморфологические процессы, Гагра, Пицунда, Гудаута, Новый Афон, Сухум, оценка опасности

ВВЕДЕНИЕ

Геоморфология городов как научное направление, «систематизирующее знания о строении, внешних признаках и свойствах, закономерностях формирования и развития, взаимосвязях и взаимозависимостях рельефа и геоморфологических условий на городских территориях» [Геоморфология городских..., 2017, с. 7], оформилась относительно недавно (в 1990-х гг.). По этой причине научные труды, посвященные рельефу и геоморфологическим процессам на селитебных территориях в пределах Абхазии, до сих пор крайне немногочисленны. В классических монографиях о физической географии и геоморфологии Кавказа рельеф городов отдельно не рассматривался [Гвоздецкий, 1963; Сафронов, 1969]. В то же время во многих историко-географических очерках, а также трудах по этнографии и культурологии, морфологическое описание рельефа поселений Абхазии представлено, начиная с середины XIX в. [Барков, 1904; Селезнев, 1850; Чернявский, 1877]. Так, первые краткие морфографические описания рельефа Сухума (современная столица Республики Абхазии) и его окрестностей можно найти в трудах Ф. Дюбуа де Монпере, датирующихся 1830-ми гг. [Де Монпере, 1937]. Некоторую информацию о рельефе Нового Афона можно получить, изучая записки и дневники паломников Новоафонского монастыря. Большинство из них в ярких красках описывают монастырский парк, склоны и вершинные поверхности Иверской и Новоафонской гор [Барков, 1904; Сизиков, 1884]. В начале XX в. приморские города Абхазии становятся курортами всероссийского, а после и всесоюзного значения. Примечательные особенности истории и природы этих мест освещаются в ряде публикаций историко-культурного и социокультурного плана и содержат, среди прочего, уже более детальные описания общих черт строения рельефа селитебных районов. В работе этнографа А.Н. Дьячкова-Тарасова [1903] дана первая характеристика морфологии рельефа Гагры, в частности массива Арабики, хребтов Кацырха и Мамдзышха, долин рек Жвава-Квара, Гагрипш и Цихерва. В очерках основателя курорта Гагры принца А. Ольденбургского и терапевта Ф.И. Пастернацкого подчеркивается перспективность использования нешироких субгоризонтальных поверхностей морских террас для строительства дач и домов отдыха [Пастернацкий, 1899], а также отмечено, что стоимость земли там, по сравнению со склонами, была выше [Гагры..., 1905]. Именно в начале века были начаты масштабные работы по изменению рельефа (в частности, засыпка болот на площадках морских террас) с целью увеличения пространства, пригодного для строительства жилищной и курортной инфраструктуры

городов-курортов [Пастернацкий, 1899]. В целом, в работах середины XIX – начала XX в. рельеф обжитых районов Абхазии описан, скорее, на качественном уровне, язык очерков, скорее, художественный, а не строго научный. Исключение составляют работы исследователей, впервые детально описавших стратиграфию отложений в пределах Сухума [Прендель, 1879; Танфильев, 1904], позднее взятые за основу в том числе геоморфологами и палеогеографами первой половины и середины XX в. [Козлов, 1929; Федоров, 1963], а также немногочисленные работы, посвященные динамике береговых процессов в связи со строительством первых грузовых и пассажирских портов [Руммель, 1900].

В середине XX в. выходит в свет немало число научных работ, посвященных геологии и геоморфологии Западного Кавказа и Закавказья. Исследования носили не только фундаментальный, но и прикладной характер, имели разный масштаб в зависимости от тематики. Так, в мелком масштабе геологическое строение и рельеф Абхазии описаны в работах С.С. Воскресенского [1968], А.И. Спиридонова [1978], Н.В. Короновского [2011], Н.А. Гвоздецкого [1963], В.Н. Дублянского [Дублянский и др., 1985], Н.С. Куфтыревой [1981] и др. В среднем и крупном масштабе горная и равнинная части Абхазии изучены существенно хуже, за исключением побережья и, в частности, морских берегов. Среди ключевых работ по геоморфологии и палеогеографии побережья – работы М.С. Шевцова [1929], П.В. Федорова [1963], А.Е. Фединой [1981], И.П. Балабанова [2009], в которых особое внимание уделяется прибрежно-морскому рельефу, строению разновозрастных морских террас и их стратиграфии.

В середине и второй половине XX в. именно абхазское побережье Черного моря становится своего рода ключевым полигоном для береговых исследований. Мозаичность рельефа побережья, его сложное геологическое строение, сравнительно небольшая ширина шельфовой зоны и влажный субтропический климат предопределили специфику развития береговой зоны Абхазии. Здесь на небольшом протяжении (около 240 км) выделяются несколько морфогенетических типов берегов, более половины от суммарной протяженности береговой зоны занимают берега абразионные. Результаты крупномасштабных работ отечественных морских геоморфологов нашли отражение в классических монографиях и научных статьях [Зенкович, 1958; Сафьянов, 1978]. Эти сведения были взяты за основу при разработке в 1960–1970-х гг. серии Всесоюзных проектов инженерной защиты берегов Черного моря и, в частности, Грузии от размыва. В советское время города Абхазии становятся популярнейшими черноморскими курортами, их пло-

щадь заметно возрастает, существенно увеличивается и антропогенная нагрузка на прибрежную территорию. Однако, несмотря на это, по-прежнему слабо изученными остаются как рельеф городов, так и геоморфологические опасности, стимулированные освоением. Вероятной причиной этого являлась в целом благополучная социально-экономическая обстановка, позволявшая реализовывать достаточно дорогостоящие проекты строительства без учета рельефа, а также своевременно производить реконструкцию и ремонт зданий, сооружений и транспортных магистралей без ощутимого ущерба для городского бюджета. Ситуация кардинально изменилась в конце XX в. (после грузино-абхазского военного конфликта 1992–1993 гг.). На поддержание городской инфраструктуры стало выделяться существенно меньше средств, негативные и опасные геоморфологические процессы на городских территориях, не будучи купированы на стадии зарождения, стали более ощутимы для городского хозяйства, ущерб от их развития значительно возрос [Дбар и др., 2020]. Возрождение туристической отрасли в Абхазии в начале XXI в. сопровождается реконструкцией жилищной и курортной инфраструктуры, берегозащитных и прочих специальных сооружений, а также, нередко, расширением ареалов городской застройки. Для успешной реализации этих проектов сведения о строении рельефа городских территорий и характерных геоморфологических опасностях необходимы и востребованы, так как позволяют существенно снизить затраты на строительство и реконструкцию, а также предотвратить потенциальный ущерб инфраструктуре городов. Первой и пока единственной монографией, посвященной современному состоянию городских территорий (в частности, г. Гагры), является работа И.П. Балабанова и С.П. Никифорова [2016]. Однако раздел, посвященный описанию рельефа, в монографии отсутствует, как и геоморфологическая карта; описание геоморфологических процессов дается в общих чертах, без конкретики, касающейся локализации и пространственных закономерностей их развития на территории г. Гагры. Таким образом, несмотря на почти двухсотлетнюю историю исследования и описания рельефа побережья Абхазии, территории курортных городов по-прежнему остаются слабо изученными. Таким образом, в отличие от российской части Кавказа, где современная географическая наука постепенно перешла от детального описания процессов рельефообразования и анализа закономерностей к оценкам риска и прогнозу (например, [Бабурин, Бадина, 2015, 2021]), в пределах Абхазии работа по комплексному описанию рельефа территории и геоморфологических процессов еще впереди.

Целью исследования является характеристика геоморфологического строения городских территорий Абхазии и выявление пространственных закономерностей развития неблагоприятных и опасных геоморфологических процессов в крупнейших городах, в частности в Гагре, Пицунде, Гудауте, Новом Афоне и Сухуме.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методологической основой исследований являлись базовые геоморфологические концепции, в частности: морфоклиматическая А. Пенка – И.С. Щукина [Щукин, 1964], регионального геоморфологического анализа Ю.Г. Симонова [1972], концепция К.К. Маркова о геоморфологических уровнях рельефообразования [1964], О.К. Леонтьева и др. [1975] о формировании профиля равновесия береговой зоны и развитии прибрежно-морских территорий, концепция антропогенной геоморфологии городских территорий, разработанная Э.А. Лихачевой [Лихачева и др., 1996; Лихачева, Тимофеев, 2002] и рекреационной геоморфологии А.В. Бредихина [2008]. Сведения об общих чертах геологического и геоморфологического строения изучаемой территории были получены на этапе анализа опубликованных материалов, а также в ходе полевых работ.

В задачи исследования входили: сбор, систематизация и анализ всех опубликованных сведений о рельефе городов, полевые геоморфологические исследования и обработка их результатов с использованием ГИС для создания крупномасштабных геоморфологических карт и схем городских территорий.

Экспедиционные исследования выполнены в 2021–2022 гг. (в том числе в рамках экспедиции научного студенческого общества кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова зимой 2022 г.) на территории всех перечисленных выше городов и в их окрестностях. Работы включали крупномасштабную (1:25 000) геоморфологическую съемку территории побережья, описание рельефа и характерных проявлений процессов рельефообразования (в том числе сбор сведений о них среди местного населения), инвентаризацию существующих защитных сооружений и их современного состояния. Геоморфологическая съемка выполнялась с использованием традиционной методики описания рельефа на точках наблюдения, густота сети которых на городских территориях изменялась от 2–3 до 8–10 точек/км². В каждой точке наблюдения выполнено описание морфологии формы или элемента рельефа, на которой располагалась точка, а также форм или элементов, с ней/ним граничащих. Крупномасштабная съемка позволила составить характеристику рельефа ранга мезо- и микроформ. Съемка

проявлений неблагоприятных и опасных геоморфологических процессов выполнена путем фиксации координат мест их проявления, фотодокументации созданного этими процессами рельефа (эрозионные борозды, суффозионные просадки, формы биогенного пучения дорожного полотна и др.) и его морфологического описания. Для некоторых категорий геоморфологических опасностей (в частности, заболачивания и абразии) дополнительно использовались результаты дешифрирования лидарной съемки, выполненной в 2014 г. (данные предоставлены Институтом экологии Академии наук Абхазии). Особое внимание уделялось изучению сохранности и геоморфологических опасностей на территории объектов природного и культурно-исторического наследия в городах Абхазии (Новоафонской пещеры и монастыря, ущелья р. Псырцха, грота св. Кананита, Анакопийской и Сухумской крепостей, замка Баграта и др.).

Обработка полученных полевых материалов позволила подготовить крупномасштабные геоморфологические карты городских территорий (масштаб от 1:25 000 до 1:100 000). Легенда разработанных общих геоморфологических карт построена по хрономорфогенетическому принципу. Подготовлен каталог проявлений опасных геоморфологических процессов на городских территориях, в котором зафиксированы опасности разных генетических типов, участки их проявления (географические координаты), морфометрические параметры образованных форм рельефа. При оценке процентного вклада разных геоморфологических опасностей в спектр, характерный для того или иного города, учитывалось абсолютное число зафиксированных проявлений процесса. Детальное полевое обследование позволило подготовить схемы современных проявлений геоморфологических опасностей в городах в масштабе от 1:25 000 до 1:100 000, которые могут быть использованы разными категориями землепользователей и городскими службами для общей оценки рисков и определения направления первоочередных работ по ремонту и реконструкции дорожного полотна.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рельеф городских территорий. Изученные города (Гагра, Пицунда, Гудаута, Новый Афон, Сухум) располагаются преимущественно в пределах побережья – области, основные черты рельефа которой созданы береговыми процессами при разном (в том числе современном) уровне моря [Сафьянов, 1996]. Однако, наряду с рельефом морского происхождения, в городах есть также и формы иного генезиса – структурно-денудационные, флювиаль-

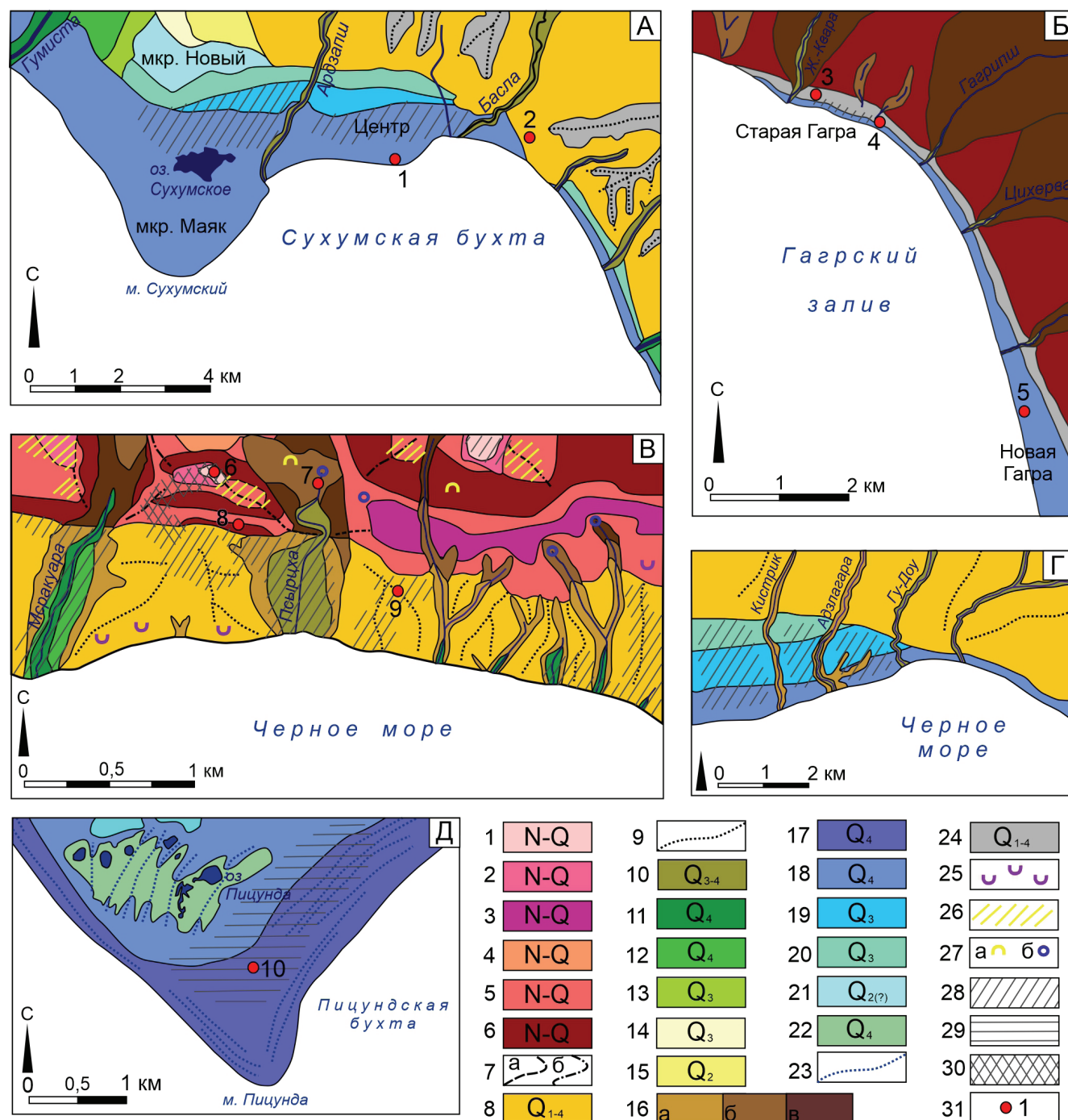
ные, карстовые, склоновые, современные береговые и, конечно, антропогенные, также занимающие немалую площадь. Абсолютные отметки в пределах городов изменяются в среднем от 4–5 до 40–50 м в Пицунде, Гудауте и Сухуме, в то время как в Гагре и Новом Афоне они нередко достигают 150–200 м. Геоморфологическое строение побережья Восточного Причерноморья в пределах Абхазии, в частности – количество, абсолютные отметки и возраст морских террас, освещено в немногочисленных обобщающих работах и лишь на отдельных участках берега [Козлов, 1929; Федоров, 1963; Балабанов, 2009; Балабанов, Никифоров, 2016]. При этом до настоящего времени нет однозначной хронологической трактовки поверхностей, образованных в допозднеплейстоценовое время. При выполнении геоморфологической съемки авторами выполнено подробное описание рельефа террасовых уровней, зафиксированы их максимальные и минимальные высоты. Хронологическая привязка террас дана с учетом опубликованных работ [Козлов, 1932; Федоров, 1963; Балабанов, 2009; Балабанов, Никифоров, 2016].

Ширина зоны побережья сильно изменяется вдоль контура береговой линии, расширяясь до 8–10 км близ устьев крупных рек (Бзыбь, Аапста, Хипста, Гумиста и др.) и сужаясь до современной зоны пляжа (40–50 м) в местах, где к морю подходят отроги Главного Кавказского хребта. Именно вблизи устьев крупных рек, выносящих в море большое количество обломочного материала (к примеру, сток взвешенных наносов р. Бзыби составляет в среднем 670 тыс. т/год, влекомых – 239 тыс. т/год [Балабанов, Никифоров, 2016]), имеется достаточное количество наносов для формирования аккумулятивных прибрежно-морских форм (которые затем становятся морскими террасами вследствие тектонических или эвстатических изменений). Рельеф крупных городов (Сухума, Гагры, Гудауты) характеризуется ступенчатостью, связанной с их положением в пределах лестницы морских террас, образованных в плейстоцене и голоцене. Геологическое строение четвертичных террас характеризуется сложностью, связанной с латеральной миграцией рукавов палеодельты и береговой линии во время их формирования. В составе морских отложений преобладают пески и галечники, местами (особенно, на голоценовой террасе) встречаются прослои и линзы лагунных торфов и оторфованных суглинков. Пески и галечники ранее-среднеплейстоценовых террас местами сильно сцементированы, нередко переходят в массивные конгломераты.

Наибольшие площади в пределах городских территорий занимает новочерноморская морская терраса, имеющая голоценовый возраст и абсолютные отметки от 3–4 до 6–7 м (рис. 1). Ее плоская по-

верхность, местами осложненная береговыми валами, до начала широкомасштабных отсыпок под застройку (середина XX в.) была сильно заболочена. В настоящее время эти болота сохранились лишь в центральной части Пицундского и Сухумского полуостровов, где абсолютные отметки снижаются до 1–2 м и встречаются понижения, расположенные ниже уровня моря, занятые озерами (оз. Инкит, оз. Сухумское). Абсолютные отметки поверхности новочерноморской террасы (как и более древних террас) изменяются вдоль контура побережья в связи с продолжающимися неотектоническими деформациями в зоне, граничащей с активно воздымающимся орогеном Большого Кавказа. Хозяйственное

освоение голоценовой террасы сопровождалось значительной трансформацией естественного прибрежно-морского рельефа (сочетание береговых валов и разделяющих их понижений), выразившейся в срезании положительных форм и отсыпке галечно-песчаных смесей на пониженных участках. Именно на новочерноморской морской террасе полностью расположен город Пицунда, центральная и южная части Гагры, центральная и восточная части Сухума (см. рис. 1). Единственным из перечисленных городом, где новочерноморская терраса в современном рельефе не выражена из-за активного развития абразии, флювиальных и склоновых процессов, является Новый Афон.



Позднеплейстоценовые морские террасы представлены сурожской (от 5–8 до 12 м над уровнем моря) и собственно карангатской (17–24 м), местами сливающимися в пологонаклонную (3–6°) к морю поверхность на отметках от 5 до 20–22 м. В тыловой и центральной частях эти поверхности перекрыты достаточно мощным (до 5–6 м) чехлом склоновых отложений супесчаного состава, в районах с плотной городской застройкой тыловые швы позднеплейстоценовых террас плохо выражены в рельефе. Наибольшие площади террасы, образованные на стадии карангатской трансгрессии, занимают в Сухуме и Гудауте (см. рис. 1). В пределах Пицунды и Нового Афона эти уровни отсутствуют. Антропогенная трансформация рельефа, сопутствующая освоению, выражается здесь, прежде всего, в выравнивании и искусственном террасировании площадок террас и их пологих уступов.

В пределах обследованных городов морские террасы, образованные в раннем (чаудинская или яштухская по [Федоров, 1963], абс. отм. 95–110 м) и среднем плейстоцене (ашейская, абс. отм. 30–40 м, по [Козлов, 1932] или эвксино-узунларская, абс. отм. 35–50 м, по [Федоров, 1963]), сохранились

лишь в Сухуме. Сложенные галечниками с прослоями песчаников они перекрыты мощной толщей элювиально-делювиальных супесей и суглинков, бровки и тыловые швы практически не выражены в рельефе. Древние морские террасы в значительной степени переработаны процессами денудации, характеризуются высокой густотой эрозионного расчленения. В сущности, их некогда единые поверхности в современном рельефе выделить крайне затруднительно, так как они преобразованы денудацией в увалы и гряды, крутизна склонов которых нередко превышает 30–35°.

На территории Гагры и Нового Афона, зажатых в узкой полосе прибрежных низменностей между морем и отрогами Главного Кавказского хребта, значительные площади занимает рельеф, созданный комплексной денудацией, в строении которого в разной степени проявляются геологические структуры и тектонические нарушения. В частности, северная и северо-восточная части Гагры расположены на крутосклонных (от 30–35 до 50–55°) отрогах Гагрского хребта, сложенных известняками юрской и меловой систем. Большая часть территории Нового Афона – это поверхности, созданные денудацией в смятых

Рис. 1. Строение рельефа в пределах Сухума (А), Гагры (Б), Нового Афона (В), Гудауты (Г) и Пицунды (Д).

Структурно-денудационный рельеф неоген-четвертичного возраста: вершинные поверхности (1 – плоские; 2 – пологонаклонные); 3 – структурные псевдотеррасы, структурные склоны (4 – до 15°; 5 – 15–35°; 6 – более 35°); 7 – вершинные гребни (а – острые; б – округлые). *Аккумулятивный флювиально-склоновый (и пролювиально-склоновый) рельеф, переработанный эрозионно-денудационными процессами четвертичного возраста:* 8 – поверхности флювиально-склоновых и пролювиально-склоновых шлейфов; 9 – останцовые гребни аккумулятивных шлейфов. *Флювиальный, флювиально-береговой и эрозионно-денудационный рельеф долин крупных и малых рек:* 10 – днища малых долин с нерасчлененным комплексом пойм и террас (Q₃₋₄); 11 – пойма (Q₄); 12 – I надпойменная терраса (Q₄); 13 – II надпойменная терраса (Q₃); 14 – III надпойменная терраса (Q₃); 15 – IV надпойменная терраса (Q₂); 16 – эрозионные склоны (а – до 15°; б – 15–35°; в – более 35°). *Прибрежно-морской рельеф: морские террасы:* 17 – нимфейская (Q₄); 18 – новочерноморская (Q₄); 19 – сурожская (Q₃); 20 – собственно карангатская (Q₃); 21 – ашейская/узунларская (Q₂); 22 – лагуны (Q₄); 23 – береговые валы (Q₄). *Склоновый рельеф:* 24 – коллювиальные шлейфы (Q₃₋₄); 25 – оползневые тела (Q). *Карстовый рельеф:* 26 – кары; 27а – пещеры; 27б – воклюзы. *Области антропогенной трансформации рельефа:* 28 – путем общего выравнивания исходной поверхности; 29 – путем площадных отсыпок привозного грунта; 30 – путем террасирования (на крутых склонах); 31 – культурно-исторические и природные памятники (1 – Сухумская крепость (II в. н. э.); 2 – замок Баграта (X–XI вв.); 3 – крепость Абаата (V–VI вв.); 4 – Гагрская Колоннада (нач. XX в.); 5 – Новая Колоннада (XXI в.); 6 – Анакопийская крепость (VII–XI вв.); 7 – ущелье р. Псырцха (в т. ч. грот Симона Кананита I–II вв.); 8 – Новоафонская пещера (откр. в 1961 г.); 9 – Новоафонский монастырь (XIX в.); 10 – Великий Питиунт (IV в. до н. э.))

Fig. 1. Geomorphologic structure of the towns of Sukhum (A), Gagra (B), Noviy Afon (B), Gudauta (Г) and Pitsunda (Д).

Structural-denudation relief (N–Q): summit surfaces (1 – flat; 2 – gently sloping); 3 – structural pseudo-terraces; structural slopes (4 – up to 15°; 5 – 15–35°; 6 – more than 35°); 7 – summit ridges (a – sharp; б – rounded). *Accumulative fluvial-slope (and proluvial-slope) relief, reworked by erosion and denudation processes (Q₁₋₄):* 8 – surfaces of fluvial-slope and proluvial-slope plumes; 9 – remnant ridges of accumulative plumes. *Fluvial, fluvial-coastal and erosion-denudation relief of the valleys of large and small rivers:* 10 – bottoms of small valleys with an undivided complex of floodplains and terraces (Q₃₋₄); 11 – floodplain (Q₄); 12 – first river terrace (Q₄); 13 – second river terrace (Q₃); 14 – third river terrace (Q₃); 15 – fourth river terrace (Q₂); 16 – erosional slopes (a – up to 15°; б – 15–35°; в – more than 35°). *Coastal-marine relief:* marine terraces: 17 – Nymphaean (Q₄); 18 – Novochernomorskaya (Q₄); 19 – Surozh (Q₃); 20 – Karangat (Q₃); 21 – Ashei/Uzunlar (Q₂); 22 – lagoons (Q₄); 23 – coastal bars (Q₄). *Slope relief:* 24 – colluvial plumes (Q₃₋₄); 25 – landslide bodies (Q). *Karst relief:* 26 – karres; 27a – caves; 27б – vauclose. *Areas of the anthropogenic transformation of relief:* 28 – by general leveling of the original surface; 29 – by areal dumping of sediments; 30 – by terracing (on steep slopes); 31 – cultural, historical and natural monuments (1 – Sukhumi fortress (II century AD); 2 – Bagrat castle (X–XI centuries); 3 – Aabaat fortress (V–VI centuries); 4 – Gagra Colonnade (early XX century); 5 – New Colonnade (XXI century); 6 – Anakopia fortress (VII–XI centuries); 7 – Psyrtskha River gorge (including the grotto of Simon Kananit I–II centuries); 8 – Novoafonskaya cave (discovered in 1961); 9 – Novoafonskiy monastery (XIX century); 10 – Great Pitunt (IV century BC))

в складки осадочных породах мела и палеогена, характерен структурно-денудационный рельеф с преобладанием склонов крутизной от 15–20 до 35–40° (см. рис. 1). Антропогенное освоение таких сильно расчлененных участков на всех этапах (начиная с VII в.) сопровождалось искусственным террасированием склонов, выравниванием пологонаклонных вершинных поверхностей и структурных ступеней.

Отдельные небольшие по площади районы городской застройки (в частности, северо-западная часть Гагры, северная часть Сухума) располагаются в полосе предгорий с абсолютными отметками от 150 до 200 м и сильно расчлененным эрозионно-денудационным рельефом, выработанным в четвертичное время в миоцен-плиоценовых предгорных шлейфах. Сложены они конгломератами и, реже, галечниками с супесчаным и глинистым цементом, т. е. представляют собой молассы, возникшие на ранних стадиях альпийского орогенеза. Этот тип рельефа характеризуется наибольшей густотой и глубиной расчленения, последняя достигает 100–150 м. Эрозионно-денудационный рельеф предгорий крайне неудобен для освоения, поэтому городская инфраструктура здесь практически отсутствует, постройки немногочисленны, т. е. в целом степень антропогенной трансформации естественного рельефа незначительна.

В условиях влажного субтропического климата на территории Абхазии протекает много круглогодично полноводных рек, часть из которых впадает в Черное море непосредственно в пределах городских территорий. В связи с этим немалые площади в городах занимает флювиальный рельеф. В Сухуме это долины рек Гумисты, Келасура, Ардзапша, Баслы, Джигуты, в Гагре – рек Жвавы-Квары, Гагрпиша, Цихервы и Ольгинки, в Гудауте – рек Кистрика, Гу-Доу и Адзлагары, в Новом Афоне – Псырцхи и Мсракуары, а также (во всех городах) – малые эрозионные формы (МЭФ), представленные оврагами и балками. В строении речных долин выделяются эрозионные склоны (крутизной от 20–25 до 70–85°), серия аккумулятивных и цокольных речных террас и пойма. Для крупных рек (Гумиста, Келасур) характерно наличие четырехпяти уровней террас, сложенных галечниками и песками, для прочих рек – однодвух. Так, в широкой (до 2,5 км) долине реки Гумисты выделяются четыре надпойменные террасы (НПТ), на поверхностях которых расположена западная и северо-западная части Сухума. Первая НПТ и пойма сформированы в голоцене, относительная высота их составляет 2,5–3 м и до 2 м соответственно. Ширина поймы не превышает 100 м, первой НПТ достигает 500–600 м. Вторая и третья НПТ были образованы в позднем плейстоцене [Балабанов, 2009], их относительная высота составляет 4–6 и 12–16 м соответственно.

Четвертая НПТ в долине Гумисты была сформирована в среднем плейстоцене, ее относительная высота составляет 25–30 м, а ширина достигает 1 км. Долины других рек существенно уступают долине Гумисты по размеру, для них характерно наличие неширокой поймы и одной-двух надпойменных террас (отн. высота около 3–4 и 8–10 м соответственно). Поверхности речных террас в крупных долинах в целом не сильно трансформированы в ходе застройки, однако выраженность уступов и тыловых швов невысокая, что связано с прокладкой городских коммуникаций и дорог, выравниванием площадок под здания и сооружения. Овражно-балочная сеть характеризуется низкой густотой в пределах прибрежных низменностей, лишь в предгорьях Нового Афона и северной части Сухума эти формы существенно осложняют освоение ввиду большой глубины (до 50–60 м), наличия крутых склонов (до 35–40°) и узких днищ (см. рис. 1).

Формы рельефа иного генезиса (карстовые, суффозионные, склоновые, антропогенные) осложняют рельеф основных генетических типов, описанный выше (табл. 1), и имеют ранг мезо- и микроформ. В частности, карстовый рельеф (и субрельеф) развит на территории Гагры и Нового Афона и представлен каррами, воронками, пещерами (в том числе, крупными – Св. Евпатия и Новоафонской) и натечными формами (внутри карстовых полостей и локально – в долинах рек). В тех же двух городах наиболее полно представлено разнообразие форм склонового происхождения – блоки отседания, оползневые псевдотеррасы и цирки, коллювиальные и делювиальные шлейфы (см. рис. 1). При этом в Гагре склоновый рельеф распространен лишь в северной горной части города, где застройка сильно разрежена, как и сеть улиц, а в Новом Афоне – практически повсеместно на склонах разной крутизны. Некоторые районы Нового Афона полностью построены на субгоризонтальных площадках крупных блоков отседания до нескольких сотен метров в ширину и длину. Судя по морфологии, крупнейшие блоки отседания и скальные оползни были сформированы в неоген-четвертичное время и современные подвижки их маловероятны. На эрозионных склонах речных долин и МЭФ во всех изученных городах, за исключением Пицунды, нередко встречаются оползневые цирки и тела неглубокого заложения – до 5–7 м, а также оплывины мощностью 1–3 м, затрагивающие только склоновый чехол. Как правило, небольшие оползни и оплывины приурочены к подмываемым эрозионным склонам, крутизна которых составляет от 25 до 45°. Области распространения таких небольших оползней в городах, как правило, относятся к категории неудобий, застройка здесь отсутствует. В центральной части Сухума, Гагры и Гудауты рельеф речных долин

сильно изменен, в частности, склоны искусственно выположены, террасированы, поэтому оползневые формы не выражены. Суффозионные формы, распространенные в городах, относятся к рангу микро-рельефа и представлены неглубокими (до 1–1,5 м) блюдцеобразными понижениями и воронками до 3–4 м в поперечнике. Приурочены они к прибрежным частям покатых междуречных поверхностей (в частности, морских террас) и нередко образованы в результате неудачного расположения коллекторов поверхностного стока или аварий на водонесущих подземных коммуникациях. Суффозионный рельеф наиболее широко распространен в Гудауте и Сухуме, что связано, прежде всего, с изношенностью сетей коммунальной инфраструктуры.

Все изученные города расположены в прибрежной зоне, поэтому в их границах развит и современный береговой рельеф, представленный денудационными и аккумулятивными формами и элементами, созданными действием волнения при нынешнем уровне моря. Абразионный рельеф представлен волноприбойными нишами, бенчами, а также уступами размыва и клифами высотой до 4–5 м, аккумулятивный – галечными и галечно-песчаными пляжами шириной до 50–55 м, приустьевыми косами, наволоками.

Таким образом, естественный рельеф городской территории, в разной степени трансформированный в ходе освоения, представлен серией генетических типов. Исходя из морфоструктурной позиции, истории развития рельефа и современных климатических условий рельефообразования, по строению рельефа города могут быть разделены на три группы. К первой группе относятся города, полностью лежащие в области распространения прибрежно-морского рельефа (Пицунда и Гудаута). Они расположены на плоских субгоризонтальных поверхностях и, как следствие, характеризуются однообразием не только рельефа, но и окружающих ландшафтов. Ко второй группе относятся Сухум и Гагра, в которых морские террасы также занимают ключевое положение, однако в пределы городских территорий попадают участки со структурно-денудационным (в Гагре) и эрозионно-денудационным (в Сухуме) рельефом. К третьей группе относится Новый Афон, где прибрежно-морской рельеф практически не представлен, а доминирующими комплексами являются структурно-денудационный, флювиальный и склоновый, есть крупные карстовые формы.

Антропогенный рельеф на городских территориях представлен как аккумулятивными формами (насыпными псевдотеррасами, дорожными насыпями, плотинами), так и денудационными (выемками, в том числе дорожными, дренажными и мелиоративными канавами). Площади, занимаемые

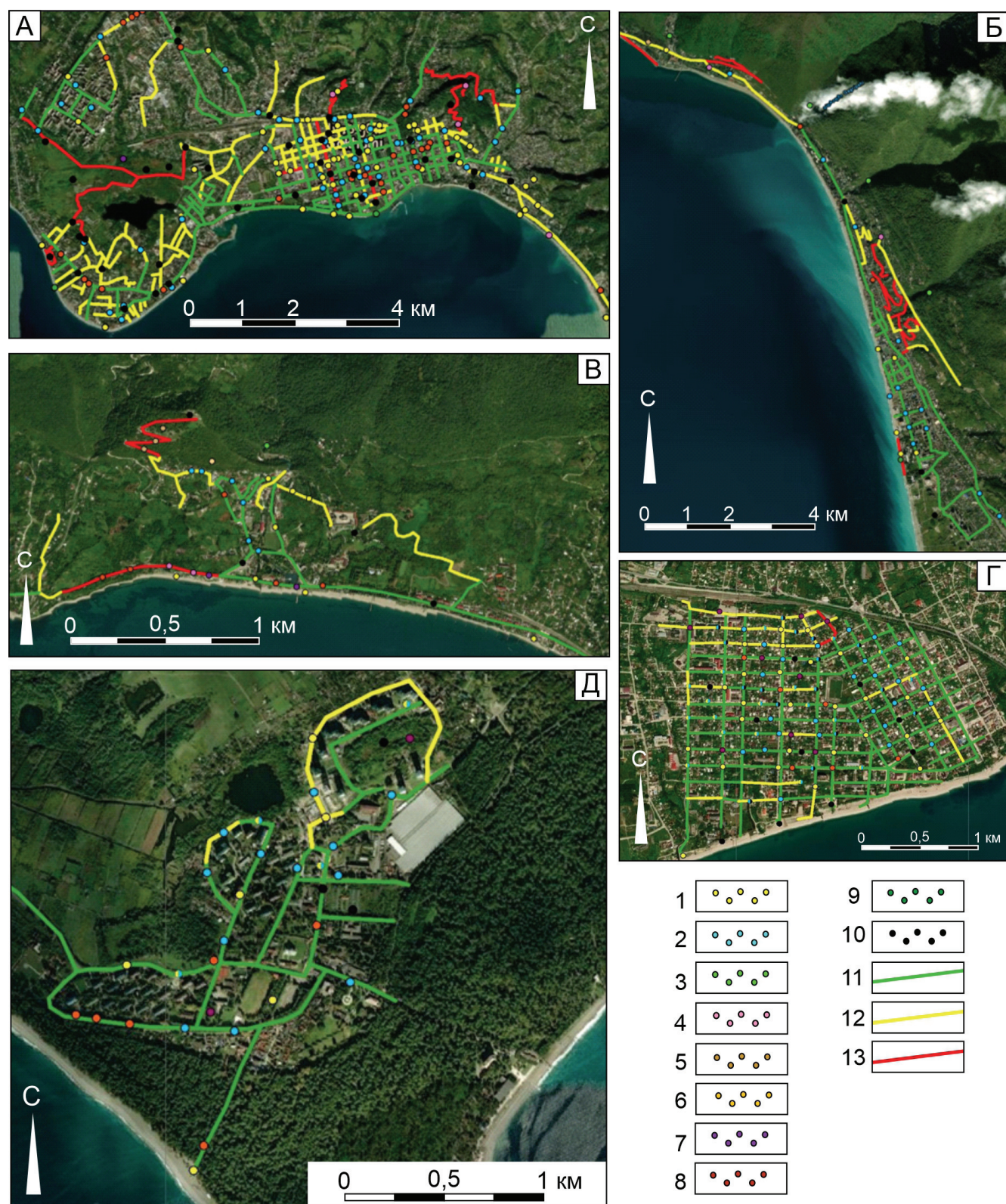
антропогенным рельефом, определяются размером города (прежде всего, численностью населения) и характерными перепадами относительных высот. Наиболее трансформирован в ходе освоения рельеф столицы Абхазии, население которой насчитывает около 65 тыс чел. (по данным на 2020 г.). Здесь представлен самый широкий спектр разновидностей антропогенного рельефа, за столетия существования города каркасные линии в значительной степени сnivelированы. В целом можно отметить, что наиболее благоприятными для строительства зданий и сооружений являются поверхности позднелайстоценовых морских террас, а также высокие НПТ в долинах крупных рек. Сложенные цементированными песками и галечниками, нередко – конгломератами, эти поверхности хорошо дренированы и занимают значительные площади в северной части Сухума и Гудауты. Освоение новочерноморской террасы было затруднено по причине плохой дренированности и близкого к поверхности положения уровня подземных вод. В то же время именно на этом уровне, на отсыпках и древних береговых валах расположены исторические центры Гагры, Пицунды и Сухума. Глубоко изрезанные овражно-балочной сетью высокие морские террасы и эрозионно-денудационные возвышенности для городского строительства крайне неудобны, поэтому в их пределах расположены окраины городов с преобладанием частной застройки.

Геоморфологические опасности на городских территориях. Описанные выше особенности строения рельефа городов Абхазии, а также степень изношенности (ветхости) городской инфраструктуры (прежде всего, транспортно-коммуникационной) предопределили различия в спектрах присущих геоморфологических процессов, в том числе опасных и неблагоприятных. По материалам экспедиционных исследований составлены крупномасштабные схемы проявлений геоморфологических опасностей на городских территориях (рис. 2), отражающие не только их локализацию, но также результаты качественной оценки величины ущерба, нанесенного городской инфраструктуре. В частности, участки проявления геоморфологических опасностей разных генетических типов показаны немасштабными значками, а линейными знаками изображены участки улиц, в разной степени подверженные действию опасных процессов.

Спектр геоморфологических опасностей в городах Абхазии достаточно широк. В него входят не только эрозионные и суффозионные процессы, являющиеся бичом многих городских территорий, но также обвально-осыпные, оползневые, береговые и биогенные процессы, карст, заболачивание и даже сели (как особая разновидность флювиальных про-

цессов). В то же время такой распространенный в городах гидрогеологический по своей сути процесс, как подтопление, здесь, напротив, развит ограниченно. Среди более 300 зафиксированных проявлений опасных и неблагоприятных процессов 44% приходится на территорию Сухума, 26 – Гудауты, 11 – Гагры, 10 – Пицунды, 9% – Нового Афона. Со-

став спектра зафиксированных опасностей определяется тремя ведущими факторами – естественным рельефом поверхности, степенью его антропогенной трансформации (зависит от крупности населенного пункта, прежде всего от численности населения) и состоянием городских коммуникаций, в том числе дорожного полотна.



Наиболее распространены в пределах всех обследованных городов проявления опасных эрозионных процессов (бороздовая эрозия вдоль дорог, боковая и глубинная эрозия в долинах и МЭФ) и суффозия вдоль трасс подземных коммуникаций и городских улиц (рис. 3). Так, на долю эрозионных процессов среди всех зафиксированных проявлений приходится: в Сухуме – 24%, Гагре – 20, Новом Афоне – 23, Гудауте – 41, Пицунде – 29%; а суффозионных – 31, 41, 20, 32 и 37% соответственно.

Для городов с расчлененным рельефом структурно-денудационного или эрозионно-денудационного генезиса (Гагра, Новый Афон) характерен максимально широкий спектр опасностей, часть из которых спровоцирована антропогенным вмешательством. В частности, проявления обвально-осыпных (3% проявлений в Гагре и 10% – в Новом Афоне) и оползневых (6 и 3% соответственно) процессов отмечены, преимущественно, на склонах дорожных и прочих полувыверстов, выработанных в крутых склонах. Селевые процессы развиты в пределах указанных городов в некоторых речных долинах (Жвавы-Квары и Псырцхи), чему способствует не только расчлененный горный рельеф прилегающей местности, но также большое количество атмосферных осадков и обилие рыхлых (преимущественно, склоновых) отложений в селевых очагах на высотах 1000 м и более.

Для городов, полностью расположенных на поверхностях морских террас (Пицунда, Гудаута), характерен существенно более узкий спектр геоморфологических опасностей, ведущая роль в котором принадлежит эрозионным и суффозионным процессам, а также заболачиванию. При этом, сравнивая спектры указанных двух городов, можно отметить существенно большее число проявлений заболачивания в Пицунде (10%), в сравнении с Гудаутой (5%) (см. рис. 3). Причина этих различий заключается в неодинаковой абсолютной высоте (и возрасте) террасовых уровней и, как следствие, разных гидрогеологических условиях. Спектр геоморфо-

логических опасностей, характерных для столицы Республики, также достаточно широк, что связано с высокой плотностью застройки, протяженной дорожной сетью, плохой сохранностью сети городских коммуникаций и, в дополнение ко всему, достаточно расчлененным рельефом (в особенности, в северной и восточной частях города).

По составу спектра процессов Сухум гораздо ближе к городам, расположенным полностью в пределах участков распространения прибрежно-морского рельефа, что связано, в первую очередь, с его геоморфологической позицией (в пределах лестницы морских террас), а также с выравненностью рельефа за тысячелетнюю историю освоения.

Определенную опасность для городских территорий представляют биогенные процессы, в частности пучение асфальтового и бетонного покрытия в результате роста корней, а также формирование искорей. В то время как на полотне автодорог такие деформации нечасты (срезаются в ходе ремонта покрытия), на тротуарах они создают специфический микрорельеф, который является распространенной причиной травм. На долю биогенных приходится от 8 (в Пицунде) до 18% (в Сухуме) проявлений геоморфологических опасностей, что определяется, скорее, не геоморфологическими факторами, а лишь количеством крупных деревьев вдоль транспортных магистралей и их суммарной протяженностью. К категории опасных антропогенных процессов отнесено замусоривание территории, в том числе формирование полигонов твердых бытовых и прочих отходов, стихийные свалки, которые нередко становятся ареной развития дефляции и являются источниками загрязнения почв и подземных вод. Наиболее распространены эти процессы в Сухуме (18% от всех проявлений) и Гудауте (17%). Причем в первом случае это связано, преимущественно, с густонаселенностью города и наличием полигона складирования ТБО, а во втором – исключительно с недостаточным вниманием к подобным явлениям со стороны городских служб.

Рис. 2. Проявления геоморфологических опасностей на территории Сухума (А), Гагры (Б), Нового Афона (В), Гудауты (Г) и Пицунды (Д) и результаты качественной оценки риска разрушения покрытия улиц. Неблагоприятные и опасные геоморфологические процессы: 1 – эрозионные; 2 – суффозионные; 3 – селевые; 4 – оползневые; 5 – обвально-осыпные; 6 – карстовые; 7 – заболачивание; 8 – биогенные; 9 – абразионные; 10 – антропогенные. Риск разрушения покрытия улиц: 11 – низкий (редкие проявления неблагоприятных и опасных процессов); 12 – средний; 13 – высокий (многочисленные проявления неблагоприятных и опасных процессов)

Fig. 2. Geomorphologic hazards within the territory of Sukhum (A), Gagra (B), Noviy Afon (B), Gudauta (Г) and Pitsunda (Д) and the results of a qualitative assessment of the risk of street surface destruction.

Unfavorable and dangerous geomorphologic processes: 1 – erosion; 2 – suffusion; 3 – mudflow; 4 – landslide; 5 – talus; 6 – karst; 7 – swamping; 8 – biogenic; 9 – coastal erosion; 10 – anthropogenic. The risk of street surface destruction: 11 – low (rare cases of unfavorable and dangerous processes); 12 – medium; 13 – high (numerous cases of unfavorable and dangerous processes)

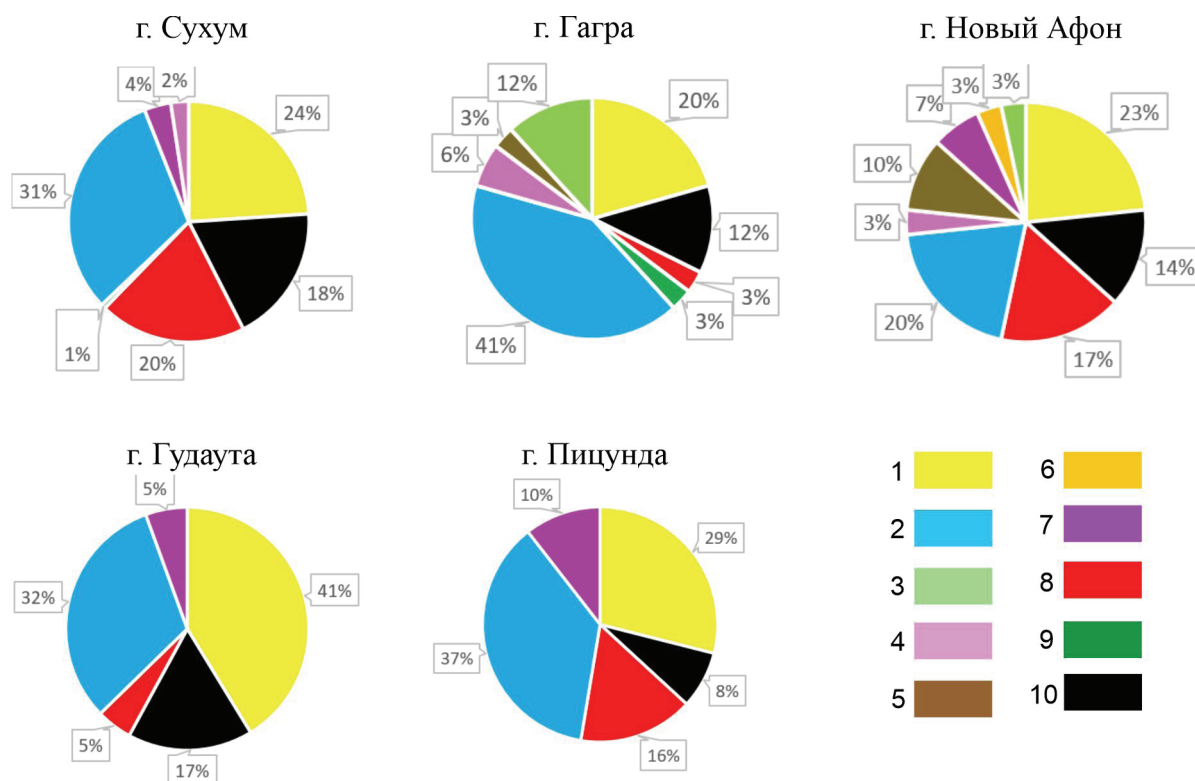


Рис. 3. Состав спектров характерных геоморфологических опасностей на городских территориях (в процентах от общего числа проявлений, зафиксированных на территории каждого из городов).

Неблагоприятные и опасные геоморфологические процессы: 1 – эрозийные; 2 – суффозийные; 3 – селевые; 4 – оползневые; 5 – обвально-осыпные; 6 – карстовые; 7 – заболачивание; 8 – биогенные; 9 – абразионные; 10 – антропогенные

Fig. 3. Spectra of typical geomorphologic hazards in urban areas (as a percentage of the total number of cases recorded within the territory of every town).

Unfavorable and dangerous geomorphologic processes: 1 – erosion; 2 – suffusion; 3 – mudflow; 4 – landslide; 5 – talus; 6 – karst; 7 – swamping; 8 – biogenic; 9 – coastal erosion; 10 – anthropogenic

Основной тенденцией современного развития берегов Абхазии является их размыв на большей части протяженности береговой линии, связанный с продолжающимся тектоническим воздыманием Кавказа и, как правило, невыработанностью профилей динамического равновесия береговой зоны [Балабанов, 2009; Балабанов, Никифоров, 2016; Ван и др., 2022]. За последние сто лет естественный рельеф береговой зоны был существенно преобразован человеком, в частности для защиты берегов от размыва построены берегозащитные сооружения. В результате ведущим морфогенетическим типом берегов в пределах городских территорий стали техногенные берега, доля же естественных составляет не более 30% от суммарной протяженности береговой линии в городах. В частности, в пределах территории Гагры, Гудауты и Нового Афона она снижается до 3–5%, в Сухуме составляет около 35%, в Пицунде – около 95%.

Сохранению естественного облика берегов окрестности Пицундского полуострова способствовал особый охранный статус территории (узкая – до

400 м – полоса прибрежной низменности, отделяющей основные городские районы от моря, имеет заповедный статус). На юго-восточном побережье полуострова развиты аккумулятивные берега с широкими галечными пляжами полного профиля, берег нарастает со скоростью около 0,5 м/год. На юго-западном – абразионные берега с уступами размыва высотой до 2 м, прислоненными галечно-песчаными пляжами, скорости абразии достигают 0,5–0,7 м/год (здесь и далее скорости отступления береговой линии рассчитаны с использованием аэрофото- и космических снимков за период с 1943 по 2021 г.). В пределах Сухума естественные берега сохранились лишь в восточной части города (абразионно-аккумулятивные, в целом стабильны) и на Сухумском полуострове. Берега на участке от Сухумского мыса до грузового порта – абразионно-аккумулятивные, стабильные, с широкими галечными пляжами, а к западу от мыса – в основном, абразионные, с уступами размыва высотой до 1,5 м и прислоненными галечно-песчаными пляжами, характерные скорости отступления – до 1 м/год. Естественные берега

Гагры, Гудауты и Нового Афона сохранились лишь на городских окраинах, они, преимущественно, абразионные или абразионно-аккумулятивные, с уступами размыва высотой 1–4 м, прислоненными неширокими галечными и галечно-песчаными пляжами. Скорости абразии изменяются от 0,2 до 1,0 м/год. Абразия наносит ощутимый ущерб городским территориям, однако он локализован, преимущественно, в зоне частной застройки. Так, на юго-западном берегу Сухумского и Пицундского полуостровов происходит ежегодное отступление берега, затронувшее территорию кладбищ, а также ряд частных домовладений. Для защиты берега от размыва местные жители сооружают волноотбойные стенки из габионов, выкладывают в тыловой зоне пляжа бетонные конструкции, глыбы и валуны. В центральной части всех курортных городов (за исключением Пицунды) распространены техногенные берега с волноотбойными стенками, бунами и неширокими галечными пляжами. Единственным участком, где пляж отсутствует полностью, является Сухумская набережная в районе пассажирского морского вокзала. Поддержание пляжей на участках техногенного берега нередко требует систематических отсыпок песчано-галечного материала в береговую зону. Однако в целом можно заключить, что берегозащитные сооружения выполняют свои функции, бровка берегового уступа на техногенных берегах бронирована стенками и практически не отступает, однако, безусловно, рекреационная привлекательность таких участков очень низкая из-за обилия бетонных конструкций.

Анализируя на качественном уровне присущие городам геоморфологические риски для дорожной сети, а также современное ее состояние (см. рис. 2), можно заключить, что наиболее безопасные для эксплуатации участки сосредоточены в центральных городских районах. Это объясняется двумя причинами: во-первых, исторические центры городов-курортов приурочены к субгоризонтальным поверхностям морских либо, реже, речных террас, где геоморфологические опасности в принципе менее развиты, а во-вторых, для обеспечения аттрактивности прогулочных районов необходимо поддержание дорожного полотна, тротуаров и обочин в надлежащем состоянии (возможно, это предопределяет заведомо более качественный и своевременный ремонт покрытия улиц). В то же время дорожная сеть городских окраин, как правило, находится в плачевном состоянии. В частности, вдоль асфальтированных и грунтовых дорог активно протекает бороздовая эрозия, на дорожном полотне и тротуарах широко распространены суффозионные просадки, воронки и трещины. Таким образом, состояние дорожной сети в определенном смысле предопределе-

но и геоморфологическим ее положением. К примеру, в северной части Сухума, Гудауты и Нового Афона автомобильные дороги проходят в полувыемках по крутым и очень крутым склонам, территория эта реже посещается туристами и гораздо менее населена. Сплошность дорожного полотна на таких участках часто нарушается из-за действия склоновых, эрозионных и суффозионных процессов, но ремонт его проводится, по-видимому, крайне редко, поэтому опасность эксплуатации таких автомобильных дорог весьма велика.

ВЫВОДЫ

Ключевым фактором рельефообразования на исследуемой территории является геологическое строение (морфоструктурные особенности). Рельеф городских территорий в общих чертах предопределяется близостью или удаленностью от береговой зоны хребтов и отрогов Большого Кавказа. Особенности морфогенеза на городских территориях во многом обусловлены историей развития береговой зоны и влажным субтропическим климатом, при этом во всех городах в различной степени присутствует и антропогенная трансформация рельефа.

Исходя из морфоструктурной позиции, истории развития рельефа и современных климатических условий рельефообразования, по строению рельефа города могут быть поделены на три группы: 1) полностью лежащие в области распространения прибрежно-морского рельефа (Пицунда и Гудаута); 2) расположенные преимущественно в пределах морских террас и эрозионно-денудационных возвышенностей (Сухум и Гагра); 3) полностью расположенные в низкогорье с преобладанием сильно расчлененного структурно-денудационного, флювиального и склонового рельефа (Новый Афон).

Ведущее место в спектре присущих геоморфологических опасностей на всех изученных городских территориях принадлежит суффозионным, эрозионным и биогенным процессам. Состав прочих процессов в спектре предопределен геоморфологической позицией городов. Наиболее широкий спектр, включающий, кроме названных выше процессов, также карст, сели, обвально-осыпные и оползневые процессы (т. е. наиболее опасные), характерен для городских территорий со сложным геоморфологическим строением, обилием крутых склонов и расположенных в пределах узкой полосы, отделяющей отроги Главного Кавказского хребта от моря (Гагра, Новый Афон).

Для городов-курортов (за исключением Пицунды) наиболее характерны техногенные берега, в строении которых сочетаются формы, образованные волнением (пляжи, бенчи) и берегозащитные сооружения (буны, волноломы, волноотбойные сте-

ны и др.). Естественной тенденцией современного развития берегов Абхазии является их размыв (тенденция к отступанию береговой линии характерна для 78% протяженности береговой зоны Республики). Техногенные берега городов-курортов в целом стабильны, так как бровка берегового уступа бронирована волноотбойной стенкой. Однако, в условиях повышения уровня моря и увеличения повторяемости сильных волнений, для сохранения пляжей в городах требуются регулярные отсыпки галечного материала в береговую зону, в противном случае ширина пляжа будет постепенно уменьшаться (что и происходит в южной части Гагры, в восточной части Сухума). Наибольшую угрозу для городской инфраструктуры представляет развитие абразии на юго-западных флангах Пицундского и Сухумского полуостровов, а также в южной части Гагры.

Полученные результаты качественной оценки

отражают высокую степень зависимости риска разрушения городских сооружений и коммуникаций геоморфологическими процессами от их положения в рельефе. Наиболее благоприятные условия для строительства и эксплуатации городской инфраструктуры и застройки в целом создаются в пределах выровненных поверхностей позднеплейстоценовых морских террас, а также верхних уровней надпойменных террас в долинах крупных рек. Прочие уровни рельефа обладают теми или иными недостатками, затрудняющими освоение. Так, строительство на поверхности новочерноморской (голоценовой) морской террасы возможно лишь при условии гидроизоляции фундаментов и отсыпок грунта на пониженных участках. Освоение высоких морских террас, эрозионно-денудационного и структурно-денудационного рельефа затруднено из-за большой густоты эрозионного расчленения.

Благодарности. Исследования выполнены в рамках темы госзадания кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Эволюция природной среды в кайнозой, динамика рельефа, геоморфологические опасности и риски природопользования». Авторы выражают благодарность за содействие в сборе материалов всем участникам зимней экспедиции научного студенческого общества кафедры в Абхазию в январе–феврале 2022 г., а также сотрудникам Института экологии Академии наук Абхазии, оказавшим поддержку при проведении полевых работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бабури В.Л., Бадина С.В. Оценка социально-экономического потенциала территории, подверженной неблагоприятным и опасным природным явлениям // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2015. № 5. С. 9–16.
- Бабури В.Л., Бадина С.В. Прогнозирование социально-экономических ущербов от опасных природных процессов для туристического кластера «Курорты Северного Кавказа» // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 2. С. 25–34.
- Балабанов И.П. Палеогеографические предпосылки формирования современных природных условий и долгосрочный прогноз развития голоценовых террас Черноморского побережья Кавказа. М., Владивосток: Дальнаука, 2009. 352 с.
- Балабанов И.П., Никифоров С.П. Гагрский залив. Рекреационный потенциал природно-геологических условий прибрежно-морской зоны. М.: Авторская книга, 2016. 288 с.
- Барков И.М. Новый Афон. Очерк: С видом Монастыря. СПб.: Синод. тип., 1904. 24 с.
- Бредихин А.В. Организация рекреационно-геоморфологических систем: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2008. 396 с.
- Ван В.Г., Еременко Е.А., Кажукало Г.А. и др. Морфогенетические типы берегов Абхазии и современные тенденции развития береговой зоны // Исследования молодых географов: сб. статей участников зимних студенческих экспедиций / под ред. М.С. Савоскул, Н.Л. Фроловой. 2022. С. 33–45.
- Воскресенский С.С. Геоморфология СССР. М.: Высшая школа, 1968. 368 с.
- Гагры: Климатическая станция на Черноморском побережье. СПб.: Тип. А.С. Суворина, 1905. 79 с.
- Гвоздецкий Н.А. Кавказ: очерк природы. М.: Географгиз, 1963. 264 с.
- Геоморфология городских территорий: конструктивные идеи / под ред. Э.А. Лихачевой, С.И. Большова. М.: Медиа-Пресс, 2017. 176 с.
- Дбар Р.С., Строчан Т.П., Жиба Р.Ю. Опасные природные явления на территории Абхазии. Оценка рисков с использованием ГИС-технологий // Вестник АН Абхазии. Серия Естественные науки. 2020. № 10. С. 208–229.
- Де Монпере Ф.Д. Путешествие вокруг Кавказа. Т. I: Труды инст. абхазской культуры. Грузинский филиал АН СССР. Вып. VI. Сухуми: Абгиз, 1937. 169 с.
- Дублянский В.Н., Клименко В.И., Вахрушев Б.А., Илюхин В.В. Карст и подземные воды горных массивов Западного Кавказа. Л.: Наука, 1985. 150 с.
- Дьячков-Тарасов А.Н. Гагры и их окрестности. Тифлис: Тип. К.П. Козловского, 1903. 100 с.
- Зенкович В.П. Берега Черного и Азовского морей. М.: Географгиз, 1958. 380 с.
- Козлов А.Л. Предварительный отчет о геологических исследованиях в б. Сухумском уезде в 1929 г. // Известия Всесоюзного геологоразведочного объединения. 1932. Т. 51. Вып. 68. С. 999–1026.
- Короновский Н.В. Геология России и сопредельных территорий. М.: Академия, 2011. 240 с.
- Куфтырева Н.С., Лашихия Ш.В., Мгеладзе К.Г. Природа Абхазии. Сухум: Абгосиздат, 1981. 441 с.
- Леонтьев О.К., Никифоров Л.Г., Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. 336 с.

- Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А. Рельеф среды жизни человека (экологическая геоморфология). М.: Медиа-ПРЕСС, 2002. 640 с.
- Лихачева Э.А., Тимофеев Д.А., Жидков М.П. Город – экосистема. М.: ИГ РАН, 1996. 336 с.
- Марков К.К. Основные проблемы геоморфологии. М.: ОГИЗ, 1948. 43 с.
- Пастернацкий Ф.И. Климатолечебные пункты на Черноморском побережье Кавказа. СПб.: Тип. П.П. Сойкина, 1899. 91 с.
- Прендель Р.А. Отчет о результатах экскурсии, произведенной летом 1878 г. по прибрежной полосе Абхазии и Черноморского округа // Записки Новорос. об-ва естествоиспытателей. 1879. Т. 5. Вып. 2. С. 1–9.
- Руммель В.Ю. Материалы для описания русских коммерческих портов и истории их сооружения. Вып. XXX: Керчь – глубокий порт, судоходный канал от реки Кубани к Анапе. Сухум. Результаты изысканий, проведенных в 1896–1897 гг. СПб., 1900. 42 с.
- Сафронов И.Н. Геоморфология Северного Кавказа. Ростов на/Д.: Изд-во Ростовского ун-та, 1969. 221 с.
- Сафьянов Г.А. Подводные каньоны – их динамика и взаимодействие с верхней частью шельфа. М.: Наука, 1978. С. 29–37.
- Сафьянов Г.А. Геоморфология морских берегов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1996. 400 с.
- Селезнев М. Руководство к познанию Кавказа. СПб.: Тип. Морского кадетского корпуса, 1850. 179 с.
- Сизиков М. Путешествие на Кавказ и пребывание несколько дней в Ново-Афонском Симоно-Кананитском монастыре. М.: Тип. И. Ефимова, 1884. 23 с.
- Симонов Ю.Г. Региональный геоморфологический анализ. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1972. 252 с.
- Спиридонов А.И. Геоморфология европейской части СССР: учеб. пособие. М.: Высшая школа, 1978. 332 с.
- Танфильев Г.И. Очерк главнейших районов черноморского побережья. СПб., 1904. 54 с.
- Федина А.Е. Физико-географическое районирование / под ред. Н.А. Гвоздецкого. М.: Изд-во МГУ, 1981. 128 с.
- Федоров П.В. Стратиграфия четвертичных отложений Крымско-Кавказского побережья и некоторые вопросы геологической истории Черного моря // Труды геол. инст. АН СССР. Вып. 88. Серия Геологическая. № 17. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 165 с.
- Чернявский В.И. Краткий очерк Абхазии. СПб.: Тип. В. Безобразова и К°, 1877. 24 с.
- Шевцов М.С. Палеоценовые и смежные с ними слои Сухума, их фауна и строение прилегающего к Сухуму района // Труды Геол. научно-исследовательского ин-та при физ.-мат. ф-те 1-го МГУ. М., 1929. 60 с.
- Щукин И.С. Общая геоморфология. Т. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. 564 с.

Поступила в редакцию 15.01.2022

После доработки 26.04.2022

Принята к публикации 27.06.2022

RELIEF AND GEOMORPHOLOGIC HAZARDS IN THE URBAN AREAS OF ABKHAZIA

R.O. Razumovskiy¹, E.A. Eremenko², S.I. Bolysov³, Y.N. Fuzeina⁴, V.A. Bogoliubskii⁵,
P.D. Zhuravlev⁶, R.Y. Zhiba⁷, A.A. Derkach⁸, A.V. Bredikhin⁹, R.S. Dbar¹⁰

^{1,5} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology

^{2-4, 6, 8, 9} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Geomorphology and Palaeogeography

^{7, 10} Institute of Ecology, Academy of Sciences of Abkhazia

¹ Department of Engineering and Environmental Geology, undergraduate student; e-mail: ror1554@mail.ru

² Associate Professor, PhD in Geography; e-mail: eremenkoeaig@gmail.com

³ Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: sibol1954@bk.ru

⁴ Associate Professor, PhD in Geography; e-mail: donaldw@bk.ru

⁵ Department of Dynamic Geology, undergraduate student; e-mail: Bogolubskiy@yandex.ru

⁶ Student, e-mail: paulegrus@gmail.com

⁷ Senior Scientific Researcher; e-mail: romazb@mail.ru

⁸ Lecturer, PhD in Geography; e-mail: derkach1977@yandex.ru

⁹ Head of Department, Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: avbredikhin@yandex.ru

¹⁰ Head of the Institute, Ph.D. in Biology; e-mail: romandbar@mail.ru

Based on the results of geomorphologic surveys carried out in 2021–2022 with the involvement of published materials, an original large-scale (from 1:25 000 to 1:100 000) description of relief of urban areas of the Republic of Abkhazia (Gagra, Pitsunda, Gudauta, Noviy Afon and Sukhum) was compiled, and unprecedented general geomorphologic maps were prepared, with morphogenesis-based legends. According to their morphostructure position and geomorphologic structure, the cities are grouped as follows: 1) completely lying in the area of the coastal-marine relief (Pitsunda and Gudauta); 2) located mainly within the sea terraces and erosion-denudation hills (Sukhum and Gagra); 3) completely located in the low mountains with a predominance of strongly dissected structural-denudation, fluvial and slope relief (Noviy Afon). A field survey revealed

about 300 areas with unfavorable and dangerous geomorphologic processes within the urban areas, 44% of them are in Sukhum, 26% in Gudauta, 11% in Gagra, 10% in Pitsunda, 9% in Noviy Afon. The leading geomorphologic hazards in all spectra are suffusion, erosion and biogenic processes. A list of other processes in a spectrum is predetermined by the geomorphologic position of cities. The widest range, which in addition to the above-mentioned processes, includes also karst, mudflows and landslide processes (i.e. the most dangerous ones), is typical for urban areas with a complex relief structure, abundant in steep slopes and located within a narrow strip separating the spurs of the Main Caucasian Range from the sea (Gagra, Noviy Afon). The risk of destruction of street infrastructure (roadbed, communications, etc.) by dangerous geomorphologic processes was qualitatively estimated and its high dependence on the geomorphologic position of a particular section of the city has been established. In particular, the distribution patterns of recorded unfavorable and dangerous geomorphologic processes made it possible to state that the most favorable conditions for the construction and operation of urban infrastructure and buildings in general are within the leveled surfaces of the Late Pleistocene marine terraces, as well as the upper levels of floodplain terraces in the valleys of large rivers. Other levels of relief have certain disadvantages that impede the development of territories. Thus, the construction on the surface of the Holocene marine terrace is possible only if the foundations are waterproofed and soil is dumped in the lower areas. The development of high sea terraces, erosion-denudation and structural-denudation relief is difficult because of the high density of erosion dissection.

Keywords: geomorphology of urban areas, hazardous geomorphologic processes, Gagra, Pitsunda, Gudauta, Noviy Afon, Sukhum, hazard assessment

Acknowledgements. The research was carried out within the framework of the theme of the state assignment for the Department of Geomorphology and Paleogeography of the Lomonosov MSU “Cenozoic evolution of the environment, the dynamics of relief, geomorphologic hazards and risks of nature management”. The authors express their gratitude to all participants of the winter expedition of the Scientific Student Society of the Department to Abkhazia in January – February 2022 for their assistance in collecting materials, as well as to the staff of the Institute of Ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia, who provided support during field work.

REFERENCES

- Baburin V.L., Badina S.V. Ocenka social'no-ekonomicheskogo potentsiala territorii, podverzhenoj neblagopriyatnym i opasnym prirodnyim javlenijam [Evaluation of the social-economic potential of natural hazard-subjected territories], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2015, no. 5, p. 9–16. (In Russian)
- Baburin V.L., Badina S.V. Prognozirovanie social'no-ekonomicheskikh ushherbov ot opasnykh prirodnykh processov dlja turisticheskogo klastera “Kurorty Severnogo Kavkaza” [Forecasting of probable socio-economic losses from natural hazards (case study of the “Northern Caucasus resorts” tourist cluster)], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 2, p. 25–34. (In Russian)
- Balabanov I.P. *Paleogeograficheskie predposylki formirovaniya sovremennykh prirodnykh uslovij i dolgosrochnyj prognoz razvitiya golocenovykh terras Chernomorskogo poberezh'ja Kavkaza* [Paleogeographic preconditions of modern natural conditions formation and long-term forecast of the evolution of Holocene terraces of Caucasus Black Sea coast], Moscow, Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2009, 352 p. (In Russian)
- Balabanov I.P., Nikiforov S.P. *Gagriskij zaliv. Rekreatsionnyj potencial prirodno-geologicheskikh uslovij pribrezhno-morskoj zony* [The Gagra Bay. Recreational potential of natural-geological conditions of the sea coastal zone], Moscow, Avtorskaja kniga Publ., 2016, 288 p. (In Russian)
- Barkov I.M. *Novyj Afon: Oчерк: S vidom Monastyrja* [New Athos: Sketch: View of the Monastery], Saint Petersburg, Sinod. tip. Publ., 1904, 24 p. (In Russian)
- Bredihin A.V. *Organizacija rekreatsionno-geomorfologicheskikh sistem* [Organization of recreational-geomorphological systems], Doctor of Science Thesis in Geography, Moscow, 2008, 396 p. (In Russian)
- Chernjanskij V.I. *Kratkij oчерk Abhazii* [Brief sketch of Abkhazia], Saint Petersburg, tip. V. Bezobrazova i K° Publ., 1877, 24 p. (In Russian)
- Dbar R.S., Strochan T.P., Zhiba R.Ju. Opasnye prirodnye javlenija na territorii Abhazii. Ocenka riskov s ispol'zovaniem GIS – tehnologij [Natural hazards within the territory of Abkhazia. Risk evaluation using GIS technologies], *Vestn. AN Abhazii, Ser. Estestvennye nauki*, 2020, no. 10, p. 208–229. (In Russian)
- De Monpere F.D. *Puteshestvie vokrug Kavkaza* [Voyage around the Caucasus], vol. I, Proc. of Institute of Abkhazian culture, Georgian branch of AS USSR, iss. VI, Svidetel'stva inostrancev ob Abhazii, Sukhumi, Abgiz Publ., 1937, 169 p. (In Russian)
- D'jachkov-Tarasov A.N. *Gagry i ih okrestnosti* [Gagra and its vicinities], Tiflis, tip. K.P. Kozlovskogo Publ., 1903, 100 p. (In Russian)
- Dubljanskij V.N., Klimenko V.I., Vahrushev B.A., Iljuhin V.V. *Karst i podzemnye vody gornych massivov Zapadnogo Kavkaza* [Karst and groundwater of West Caucasus mountain massifs], Leningrad, Nauka Publ., 1985, 150 p. (In Russian)
- Fedina A.E. *Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie, izd. 2* [Physical-geographical zoning, 2nd iss.], N.A. Gvozdeckij (ed.), Moscow, Lomonosov Moscow State un-ty Publ., 1981, 128 p. (In Russian)
- Fedorov P.V. *Stratigrafija chetvertichnykh otlozhenij Krymsko-Kavkazskogo poberezh'ja i nekotorye voprosy geologicheskoi istorii Chernogo morja* [Quaternary deposits stratigraphy of Crimean and Caucasian coast and a few questions of geological history of the Black Sea], Publications of Geological Institute of AS USSR, iss. 88, Geol. ser., no. 17, Moscow, AS USSR Publ., 1963, 165 p. (In Russian)

- Gagry: *Klimaticheskaja stancija na Chernomor. poberezh'e* [Gagra: Climatic station at the Black Sea coast], Saint Petersburg, tip. A.S. Suvorina Publ., 1905, 79 p.
- Geomorfologija gorodskih territorij: *konstruktivnye idei* [Geomorphology of urban territories: constructive ideas], Je.A. Lihacheva, S.I. Bolysov (eds.), Moscow, Media-Press Publ., 2017, 176 p. (In Russian)
- Gvozdeckij N.A. *Kavkaz: ocherk prirody* [The Caucasus: sketches of the nature], Moscow, Geografiz Publ., 1963, 264 p. (In Russian)
- Koronovskij N.V. *Geologija Rossii i sopredel'nyh territorij* [Geology of Russia and adjacent territories], Moscow, Akademija Publ., 2011, 240 p. (In Russian)
- Kozlov A.L. Predvaritel'nyj otchet o geologicheskikh issledovanijah v b. Suhumskom uезде v 1929 g. [Preliminary report about geological studies in Bol'shoj Suhumskij uezd, 1929], *Izvestija Vsesojuznogo geologorazvedchnogo ob'edinenija*, vol. 51, iss. 68, 1932, p. 999–1026. (In Russian)
- Kuftyreva N.S., Lashhija Sh.V., Mgeladze K.G. *Priroda Abkhazii* [The nature of Abkhazia], Sukhumi, Abgosizdat Publ., 1981, 441 p. (In Russian)
- Leontiev O.K., Nikiforov L.G., Saf'janov G.A. *Geomorfologiya morskikh beregov* [Geomorphology of sea coasts], Moscow, izd-vo MGU, 1975, 336 p. (in Russian)
- Lihacheva Je.A., Timofeev D.A. *Rel'ef sredy zhizni cheloveka (ekologicheskaja geomorfologija)* [The topography of human life environment (ecological geomorphology)], Moscow, Media-Press Publ., 2002, 640 p. (In Russian)
- Lihacheva Je.A., Timofeev D.A., Zhidkov M.P. *Gorod – ekosistema* [City as an ecosystem], Moscow, In-te of Geography of RAS Publ., 1996, 336 p. (In Russian)
- Markov K.K. *Osnovnye problemy geomorfologii* [The main problems of geomorphology], Moscow, OGIZ Publ., 1948, 43 p. (In Russian)
- Pasternackij F.I. *Klimatolechebnye punkty na Chernomorskom poberezh'e Kavkaza* [Climatic treatment sites at the Black Sea coast of the Caucasus], Saint Petersburg, tip. P.P. Sojkina Publ., 1899, 91 p. (In Russian)
- Prendel' R.A. Otchet o rezul'tatah ekskursii, proizvedennoj letom 1878 g. po pribrezhnoj polose Abkhazii i Chernomorskogo okruga [Report on the results of excursion held in summer 1878 along the shoreline of Abkhazia and Chernomorskij okrug], *Zapiski Novoros. ob-va estestvoispyt*, 1879, vol. 5, iss. 2, p. 1–9. (In Russian)
- Rummel' V.Ju. *Materialy dlja opisanija russkikh kommercheskich portov i istorii ih sooruzhenija, vypusk XXX, Kerch' – glubokij port, sudohodnyj kanal ot reki Kubani k Anape. Suhum. Rezul'taty izyskanij, provedennyh v 1896-97 gg.* [Materials for description of Russian commercial sea ports and the history of their construction. Issue XXX. Kerch' – a deep sea port, ship canal from Kuban' river to Anapa. Sukhumi. The results of investigations held in 1896–1897], Saint Petersburg, Upr. vodjanyh i shossejn. soobshh. i torg. portov Publ., 1900, 42 p. (In Russian)
- Saf'janov G.A. [Subaquatic canyons: their dynamics and interaction with the upper part of the continental shelf], *Geografiya i geomorfologiya shelfa* [Geography and geomorphology of continental shelf], Moscow, Nauka Publ., 1978, p. 29–37. (In Russian)
- Saf'janov G.A. *Geomorfologija morskikh beregov* [Seacoasts geomorphology], Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1996, 400 p. (In Russian)
- Safronov I.N. *Geomorfologija Severnogo Kavkaza* [Geomorphology of the Northern Caucasus], Rostov-on-Don, Rostovskij univ. Publ., 1969, 221 p. (In Russian)
- Seleznjev M. *Rukovodstvo k poznaniju Kavkaza* [Instruction to studying the Caucasus], Saint Petersburg, tip. Morskogo kadetskogo korpusa Publ., 1850, 179 p. (In Russian)
- Shevcov M.S. *Paleocenovyje i smezhnyje s nimi sloi Suhuma, ih fauna i stroenie prilegajushhego k Suhumu rajona* [Paleocene and contiguous layers of Sukhumi area, their fauna and structure of area adjacent to Sukhumi], publications of Geol. Scient-Res. Inst. of Phys.-Math. Faculty of the 1st Moscow State University, Moscow, 1929, 60 p. (In Russian)
- Shhukin I.S. *Obshhaja geomorfologija, t. 2* [General geomorphology, vol. 2], Moscow, Moscow St. univ. Publ., 1964, 564 p. (In Russian)
- Simonov Ju.G. *Regional'nyj geomorfologicheskij analiz* [Regional geomorphologic analysis] Moscow, Moscow St. univ. Publ., 1972, 252 p. (In Russian)
- Sizikov M. *Puteshestvie na Kavkaz i prebyvanie neskol'ko dnei v Novo-Afonskom Simon-Kananitskom monastyre* [Caucasus voyage and several day staying at New Athos Simon the Cananite monastery], Moscow, tip. I. Efimova Publ., 1884, 23 p. (In Russian)
- Spiridonov A.I. *Geomorfologija evropejskoj chasti SSSR* [Geomorphology of the European part of USSR], Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1978, 332 p. (In Russian)
- Tanfil'ev G.I. *Ocherk glavnejshih rajonov chernomorskogo poberezh'ja* [The sketch of the most important areas of the Black Sea coast], Saint Petersburg, 1904, 54 p. (In Russian)
- Van V.G., Eremenko E.A., Kazhukalo G.A. et al. *[Abkhazia coasts morphogenetic types and modern trends of coastal zone evolution], Issledovanija molodyh geografov, sb. statej uchastnikov zimnih studencheskich jekspedicij* [Young geographers researches: collect. of articles of winter student expedition members], M.S. Savoskul, N.L. Frolova (eds.), 2022, p. 33–45. (In Russian)
- Voskresenskij S.S. *Geomorfologija SSSR* [Geomorphology of USSR], Moscow, Vysshaja shkola Publ., 1968, 368 p. (In Russian)
- Zenkovich V.P. *Berega Chernogo i Azovskogo morej* [The coasts of Black Sea and Azov Sea], Moscow, Geografiz Publ., 1958, 380 p. (In Russian)

Received 15.01.2022

Revised 26.04.2022

Accepted 27.06.2022

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗВЕШЕННОГО ВЕЩЕСТВА И УГЛЕВОДОРОДОВ В МОРЯХ КАРСКОМ И ЛАПТЕВЫХ В АВГУСТЕ – СЕНТЯБРЕ 2018 ГОДА

Е.В. Колтовская¹, И.А. Немировская²

^{1,2} Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, аналитическая лаборатория

¹ Мл. науч. сотр.; e-mail: Koltovskaya.ev@ocean.ru

² Гл. науч. сотр., д-р геол.-минерал. наук; e-mail: nemir44@mail.ru

Изучено распределение взвеси методом фильтрации и величины ее потоков с помощью седиментационных ловушек в Карском и Лаптевых морях (72-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш», август – сентябрь 2018 г.). В составе взвеси определяли органическую компоненту ($C_{орг}$, липиды и углеводороды) и неорганическую литогенную компоненту (аморфный кремнезем и карбоната кальция). Установлено, что в поверхностных водах содержание взвеси изменялось от 0,2 до 5,9 мг/л (в среднем 0,90 мг/л) с максимумом в заливе Благополучия. Концентрации липидов от 28 до 120 мкг/л (в среднем 52 мкг/л), алифатических углеводородов от 10 до 49 мкг/л (в среднем 22 мкг/л) с максимумом в районе выносов р. Обь (6799 мг/(м²сут)). Поток взвеси уменьшался от поверхностного к придонному горизонту только в заливе Благополучия (от 13 127 до 11 900 мг/(м²сут)), в остальных районах поток возрастал в придонном горизонте. В акватории выноса р. Обь поток взвеси совпадал с максимумом потока $C_{орг}$ – 682 мгС/(м²сут). В составе взвеси, так же как и в органических соединениях, в том числе углеводородов, аллохтонная компонента в основном преобладала над автохтонной.

Ключевые слова: взвешенное вещество, органическое вещество, нефтяные углеводороды, седиментация, Карское море, море Лаптевых, межень

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.7

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время из-за растущего значения ресурсов арктический регион из периферии превратился в центр международного внимания [Эркин, 2012; АМАР, 2007]. Состояние шельфа краевых арктических морей во многом определяется огромным объемом континентального стока, который оценивается 2300–2500 км³/год, и его трансформацией в области река – море [Флинт и др., 2018]. Взвешенному веществу, а в его составе углеводородам (УВ), соединения природного и антропогенного происхождения [Вернадский, 2001] в исследованиях арктических морей отводится большое внимание [Буренков и др., 2010; Лисицын и др., 2014; Немировская, 2021]. Геохимический подход делает необходимым исследование взвеси и УВ в ее составе не только как наиболее важных и распространенных загрязняющих веществ, но и требует проведения анализа естественного биогеохимического их круговорота под воздействием разнообразных физико-химических условий.

Для изучения осадкообразования и особенностей поведения взвешенного вещества наряду с фильтрационной взвесью в режиме *in situ* наиболее перспективно использовать седиментационные ловушки [Клювиткин и др., 2019; Лисицын, 2014; Лукашин и др., 2011; Новигатский, 2020; Gardner, 2000; Magen et al., 2010; Лисицын и др., 2014]. Этот

метод позволяет в динамике (во времени) изучать процессы современной седиментации рассеянного вещества и различных компонентов в его составе. Поток взвеси определяется количеством вещества, проходящего через единицу площади в единицу времени (мг/(м²сут)) [Клювиткин и др., 2021], и соответствует абсолютной массе осадконакопления. Вертикальные потоки осадочного вещества – основа для прямых расчетов поступления различных компонентов, в том числе загрязняющих веществ в поверхностный слой донных осадков.

Первые работы, посвященные исследованию осадочного вещества в Центральной Арктике и континентальной окраины Европы, были проведены в 1988–1990 гг. [Antia et al., 2001; Lampitt, Antia, 1997]. При этом изучались отдельные составляющие потока, которые охватывают только верхний деятельный слой океана [Collins et al., 2015; Jonkers et al., 2010]. Кроме того, определяли скорости и основной состав осаждающегося взвешенного вещества. Так, многолетние исследования взвеси в Северном Ледовитом океане (СЛО) показали, что скорость осаднения на континентальном шельфе может достигать 10 мм/год [Лисицын, 2014]. В Белом море величина потока изменялась от 0,4 до 4,2 мм/год [Новигатский, 2020], а в пелагиали СЛО в среднем колебалась около 0,01 мм/год [Новигатский и др., 2021].

Для изучения изменчивости распределения взвеси и ее компонентов в процессе седиментации в период с 16 августа по 20 сентября 2018 г. во время межени (72-й рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш») было проведено ее исследование в различных районах Карского и Лаптевых морей. Впервые были изучены потоки и состав УВ в седиментационных ловушках.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Отбор проб. Для исследования фильтрационной взвеси пробы воды были собраны батометрами Нискина объемом 10 л на гидрологических станциях

комплексом «Rosette». Положение горизонтов отбора проб выбирали по результатам зондирования температуры, электропроводности, флуоресценции, полученным с помощью буксируемого зонда Idronaut и CTD3 зонда SBE319 Plus (Seabird Electronics, США), снабженного датчиками флуоресценции и мутности.

Для исследования потоков были использованы малые седиментационные ловушки (МСЛ-110) с площадью сбора 0,0095 м², производства ИО РАН [Лукашин и др., 2011]. Ловушка состоит из двух пластиковых цилиндров, внутри которых, в нижней части, вмонтирован конус с резьбой под пробосборник (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид седиментационной ловушки

Fig. 1. General view of a sediment trap

Ловушка крепится на петли буйрепа (капроновый шнур диаметром 12 мм массой 100 г на погонный метр) с помощью фала и пластиковых стяжек. В качестве пробосборников использовали полиэтиленовые флаконы объемом 500 мл, а в качестве якоря – груз весом не менее 120 кг, для плавучести – диски из плотного пенопласта диаметром 107 см, толщиной от 10 см, плотностью 0,12 кг/м³. Седиментационные ловушки устанавливали на двух-трех горизонтах: поверхностный, промежуточный (под термоклином) и придонный слой, на расстоянии около 15 м выше

дна, чтобы исключить попадание материала, взмученного при посадке груза на дно.

Для определения массовой концентрации взвесь (параллельно 3 пробы) фильтровали в судовой лаборатории под вакуумом 400 мбар на предварительно отмытые соляной кислотой и взвешенные мембранные ядерные фильтры с размером пор 0,45 мкм (производство ОИЯИ, г. Дубна). Концентрацию взвеси (после высушивания фильтров) определяли в лабораторных условиях гравиметрически с точностью до $\pm 0,001$ мг.

Для определения органических соединений ($C_{орг}$, липидов и алифатических углеводородов – УВ) пробу (3–5 л) одновременно фильтровали через прокаленные при температуре 450°C стекловолкнистые фильтры Whatman GF/F (размер пор 0,7 мкм) под вакуумом 200 мбар [Немировская и др., 2013].

Содержание органического углерода ($C_{общ}$ и $C_{орг}$) определяли методом сухого сжигания на анализаторе АН-7560 (РФ) с подкислением пробы соляной кислотой. Чувствительность метода – 6 мкг углерода в пробе, точность 3–6 относительных процента [Люцарев, 1986].

Биогенная компонента взвеси определялась по сумме трех компонентов: органического вещества (ОВ), карбонатного материала и аморфного кремнезема. ОВ рассчитывалось умножением величины $C_{орг}$ на 2, согласно методике [Лисицын и др., 2015]. $C_{карб}$ вычисляли по разности между $C_{общ}$ и $C_{орг}$, к $CaCO_3$ переходили через массовую долю углерода (умножением $C_{карб}$ на 100/12) [Лукашин и др., 2011].

Аморфный кремнезем ($SiO_{2аморф}$), являющийся индикатором кремнистых панцирей диатомовых водорослей, рассчитывали методом терригенной матрицы по Al-модулю с учетом разницы содержания валового кремнезема и терригенного [Лисицын и др., 2015].

Литогенная компонента взвеси рассчитывалась по содержанию Al методом терригенной матрицы [Клювиткин и др., 2019].

Si и Al определяли фотометрическим методом с точностью 2–5%. Определение аморфного кремнезема ($SiO_{2аморф}$) проводили фотоколориметрическим методом по восстановленной форме кремнемолибденовой гетерополиокислоты после двукратной содовой вытяжки [Лукашин и др., 2011].

Вещественный состав ловушечного материала изучали с помощью сканирующего электронного

микроскопа VEGA-3 TESCAN (Чехия) с системой рентгеноспектрального микроанализа Oxford INCA Energy 350 (Великобритания).

Из проб взвесей на ультразвуковой бане «Сапфир» метилхлоридом экстрагировали суммарную органическую фракцию (липиды). Концентрацию липидов (до колоночной хроматографии на силикагеле) и углеводородов – УВ (после колоночной хроматографии) определяли ИК-методом на спектрофотометре IRAffinity-1, Shimadzu (Япония) по полосе 2930 cm^{-1} . В качестве стандарта использовали смесь (по объему): 37,5% изookтана, 37,5% гексадекана и 25% бензола (ГСО 7248-96, разработчик: АОЗТ «Экрос», РФ). Чувствительность метода – 3 мкг/мл экстракта [Немировская, 2013].

Состав алканов определяли методом газовой хроматографии на приборе «Кристалл-Люкс 4000-М» (РФ), с пламенно-ионизационным детектором, капиллярной колонкой 30 м × 0,22 мм (фирма Supelco) с фазой: 5% фенила и 95% метилполисилоксана, при программировании температуры от 60 до 300°C, со скоростью 8°/мин, газ-носитель – гелий, скорость прохождения газа 1,5 мл/мин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Распределение фильтрационной взвеси. В поверхностных водах на трансарктическом разрезе содержание взвеси закономерно увеличивалось в устьевых областях рек, где ее концентрации возрастали в 3–4 раза по сравнению с близлежащими станциями (с 0,41 до 1,85 мг/л, рис. 2). В проливе Вилькицкого в поверхностном горизонте концентрация взвеси во время исследования оставалась на одном уровне – 0,22–0,25 мг/л. Наиболее высокое содержание взвеси (до 5,9 мг/л) установлено в заливе Благополучия.

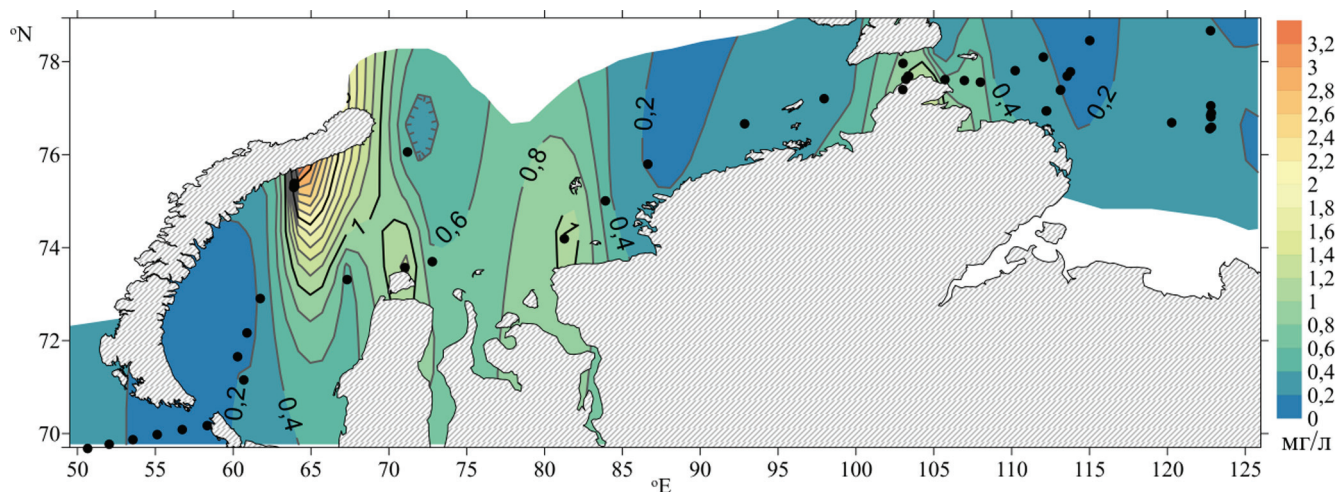


Рис. 2. Распределение взвеси (мг/л) в поверхностных водах

Fig. 2. Distribution of particulate matter (mg/l) in surface water

С глубиной содержание взвеси возрастало на большинстве станциях от поверхности к придонному горизонту, максимально в 36 раз на ст. 5943, находящейся в районе выносов р. Оби (с 0,6 до 21,8 мг/л). В проливе Вилькицкого содержание взвеси увеличивалось с глубиной в 32 раза (с 0,1 до 3,2 мг/л).

Необходимо отметить, что в глубоководной части Карского моря на ст. 5942 (рис. 3А) в слое термоклина распределение взвеси изменялось через 23 дня при снятии ловушки (с 0,3 до 0,5 мг/л), что

вероятно обусловлено изменением гидрологических условий. Напротив, на ст. 5946 на шельфовом склоне моря Лаптевых характер распределения взвеси не изменился через 8 дней после снятия ловушки (см. рис. 3Б).

Распределение концентраций УВ в поверхностных водах в общих чертах совпадало с содержанием взвеси, и между их концентрациями наблюдалась корреляция $r_{B3-UV} = 0,74$ ($n = 28$, $p < 0,05$). Однако рост концентраций УВ в барьерных зонах выражен в меньшей степени, чем для взвеси (табл.).

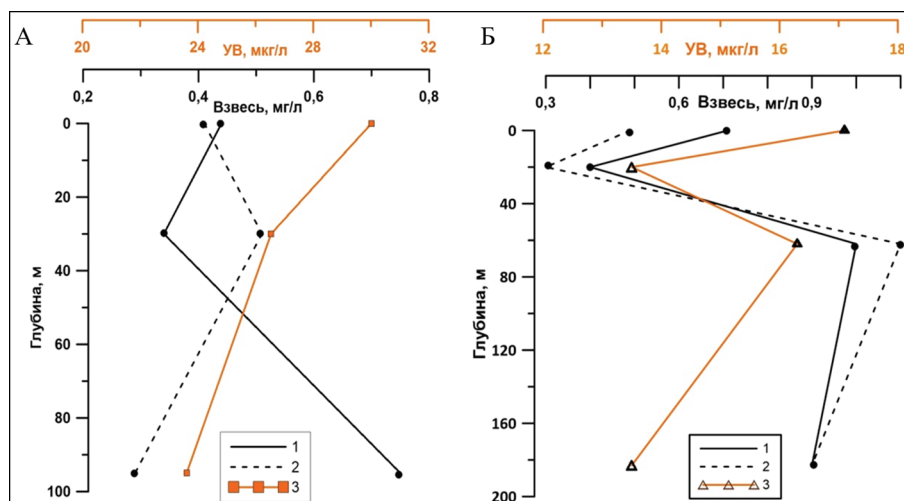


Рис. 3. Изменчивость концентраций фильтрационной взвеси (1, 2) и УВ (3) с глубиной в Карском море на ст. 5942 (А) и на шельфовом склоне моря Лаптевых на ст. 5946 (Б): 1 – до снятия ловушки; 2 – после снятия ловушки

Fig. 3. Vertical variability of amounts of filtrated suspended matter (1, 2) and UV (3) in the Kara Sea (st. 5942) (A) and at the shelf slope of the Laptev Sea (st. 5946) (Б): 1 – before; 2 – after the removal of the sediment trap

Потоки взвешенного вещества. Ловушки были установлены в заливе Благополучия Новой Земли, Новоземельской впадине и в зоне выноса Оби в Карском море, а также на шельфе моря Лаптевых и в проливе Вилькицкого (рис. 4).

Величина потоков взвешенного вещества изменялась от 79 до 13127 мг/(м²сут), с максимумом в поверхностном горизонте Карского моря в заливе Благополучия (ст. 5981, см. рис. 4). Только в этом районе поверхностный поток в придонном горизонте был меньше, чем на поверхности (см. табл.).

В Новоземельском желобе на ст. 5942 максимум потока взвеси (342 мг/(м²сут)) наблюдался в промежуточном слое на глубине «жидкого дна» (50–60 м).

В проливе Вилькицкого (ст. 5944) поток взвешенного вещества достигал 1541 мг/(м²сут) у дна. На шельфе моря Лаптевых (ст. 5946) величины потоков взвеси оказались низкими – 79 мг/(м²сут) в поверхностном слое на горизонте 20 м, а у дна (55 м) – 343 мг/(м²сут). При этом на континентальном склоне (ст. 5945) поток взвеси даже на глубине

50 м был еще ниже – 104 мг/(м²сут), а в придонном слое достигал 1534 мг/(м²сут).

В устье выноса Оби также наблюдался значительный рост величины потока взвеси с глубиной и в придонном горизонте увеличивался почти в 20 раз, по сравнению с поверхностным (до 6799 мг/(м²сут)). Согласно показанию СТД-зонда здесь также зафиксировано увеличение мутности [Экосистемы..., 2021].

Потоки $C_{орг}$. В Карском море самые высокие значения потока $C_{орг}$ наблюдались в зоне разгрузки речных вод (ст. 5943, см. рис. 4). На склоне Новоземельского желоба (ст. 5942), находящегося под влиянием адвекции атлантических вод, более холодных и насыщенных кислородом, которые задерживают процесс минерализации ОВ в водной толще, поток $C_{орг}$ изменялся в пределах 14–21 мгC/(м²сут).

Согласно гидрологическим данным [Флинт, 2019] поток вод направлен из Карского моря в море Лаптевых через пролив Вилькицкого. В верхнем 50-метровом слое теплых распресненных вод ма-

терикового генезиса, богатых биогенными элементами, поток $C_{\text{орг}}$ составил всего 10 мгС/(м²сут), что связано, по всей видимости, с абразией берегов. При этом поток $C_{\text{орг}}$ как и общий поток взвеси, максимален в придонном горизонте (23 и 1541 мгС/(м²сут) соответственно), где происходит взмучивание осадка из-за вдольсклоновых течений.

В море Лаптевых повышенный поток $C_{\text{орг}}$ приурочен к глубинному слою на склоне шельфа – 34 мгС/(м²сут) (ст. 5945), что может быть связано с адвекцией теплых и пресных вод из пролива Вилькицкого вдоль континентального склона, заглубляющихся до 150 м [Экосистемы..., 2021], а также тонкодисперсным составом осадков.

Вещественный состав взвешенного вещества.

В ходе исследований выделяется две основные группы веществ, которые составляют поток водной взвеси: литогенное вещество аллохтонного генезиса и биогенное автохтонного происхождения, представляющее собой остатки живых организмов и детрит [Лисицын, 2014]. Биогенное вещество, в свою очередь, складывается из органического взвешенного углерода, маркером которого является $C_{\text{орг}}$, аморфного кремнезема ($\text{SiO}_{2\text{аморф}}$) и карбоната кальция (CaCO_3).

В пробах верхних горизонтов доминируют в основном разрушенные клетки диатомовых и редкие целые клетки динофлагеллят, что подтверждают данные электронной микроскопии (рис. 5А, Б).

Таблица

Результаты исследования потоков взвеси и $C_{\text{орг}}$ в седиментационных ловушках

Номер станции	Дата установки	Дата подъема	Экспозиция, сутки	Глубина, м	Горизонт, м	Поток, мг/(м ² сут)		УВ, мкг/л
						Взвесь	$C_{\text{орг}}$	
5942	20.08.18	12.09.18	23	90	55	239	14	70
					65	342	21	37
					75	187	14	27
5943	21.08.18	07.09.18	17	30	10	345	14	35
					20	6799	682	34
5944	23.08.18	04.09.18	12	214	50	337	9	549
					100	567	10	582
					160	1541	23	54
5945	24.08.18	31.08.18	8	190	50	104	1	53
					100	1609	34	5
					160	1534	18	36
5946	25.08.18	31.08.18	7	65	20	79	0,5	68
					45	117	1	410
					55	343	8	307
5981	09.09.18	11.09.18	2	113	20	13127	196	631
					60	12135	171	–
					90	11900	145	–

В большинстве проб доминируют алюминий и кремний – маркеры литогенного вещества, с максимальной долей в заливе Благополучия (90%, см. рис. 5В, Г). Воды залива обеднены биогенными элементами и ОВ, так как поступают с потоками с Новой Земли с каменистыми почвами. Планктон присутствовал в незначительных количествах лишь в верхнем однородном слое, имеющем здесь толщину, согласно гидрофизическим данным, не более 10 м [Экосистемы..., 2021]. На больших глубинах количество планктона было минимальным, разрушенные клетки диатомовых водорослей встречались в незначительных количествах. По сравнению

с остальными пробами, где доля $C_{\text{орг}}$ достигала 30%, в заливе Благополучия содержание $C_{\text{орг}}$ снижалось до 10% за счет присутствия карбонатных минералов доломита и кальцита. Исследования проходили в осенний период с преобладанием деструкционных процессов (содержание кислорода около 90%) [Экосистемы..., 2021]. Поэтому концентрации взвешенных веществ даже по показателям биомассы фитопланктона здесь были в 2–3 раза ниже по сравнению с южной частью исследуемого района Карского моря. Установлено повышенное содержание железа в основном за счет присутствия в алюмосиликатах пирита.

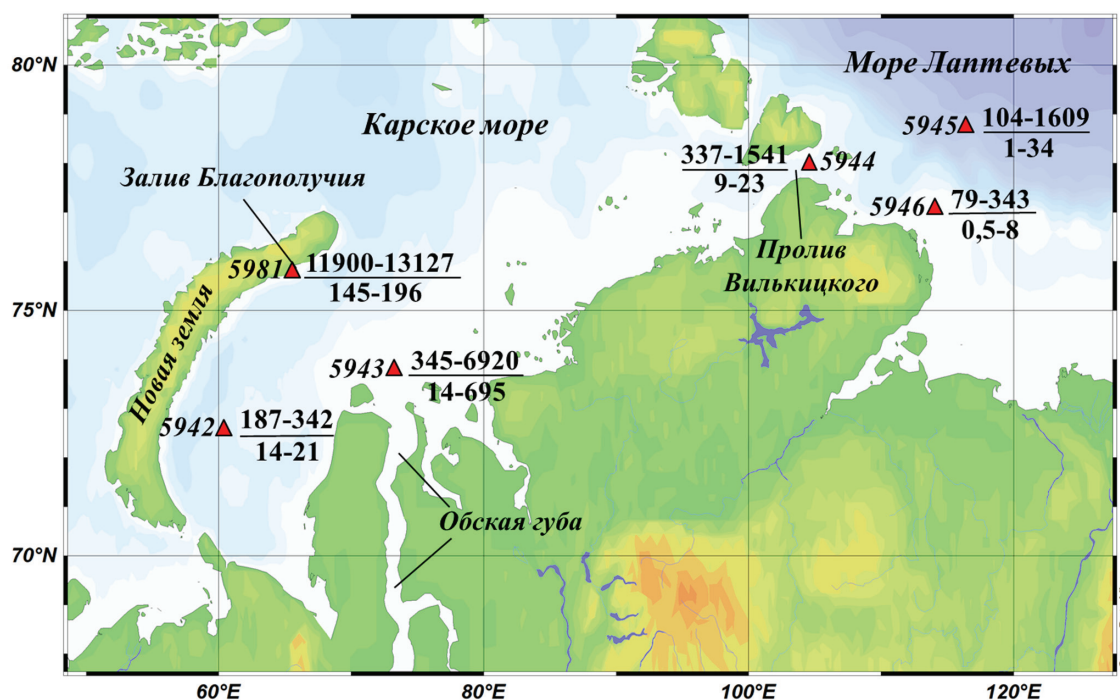


Рис. 4. Изменчивость потоков $\text{мг}/(\text{м}^2\text{сут})$ взвеси (числитель) и органического углерода (знаменатель), полученных с помощью седиментационных ловушек в морях Карском и Лаптевых (треугольниками обозначено местоположение, курсивом – номера станций)

Fig. 4. Variability of suspended matter (numerator) and organic carbon (denominator) fluxes ($\text{mg}/\text{m}^2\text{-day}$) obtained by sediment traps in the Kara and the Laptev seas (triangles mark the location of the stations, station numbers are in italic)

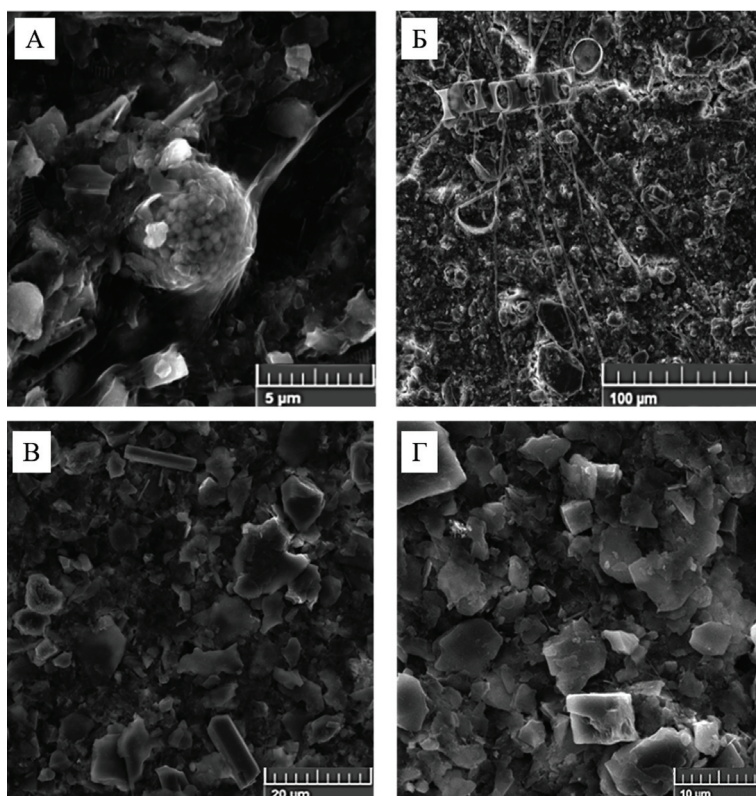


Рис. 5. Состав взвеси по данным электронного микроскопа на ст. 5945:
 А – горизонт 50 м, Б – горизонт 160 м; на ст. 5981: В – горизонт 20 м; Г – горизонт 90 м

Fig. 5. Composition of suspension according to electronic microscopy data at st. 5945:

А – at 50 m; Б – at 160 m; st. 5981: В – at 20 m; Г – at 90 m

Повышенная доля аморфного кремнезема в общем потоке (более 20%) установлена на станциях, приуроченных к срединному шельфу и континентальному склону моря Лаптевых (рис. 6).

В кутовой части залива Благополучия во взвешенном веществе наблюдалась высокая доля содержания Si (до 27%), при том что доля аморфного кремнезема в них составляла не более 1%. Это позволяет заключить, что весь кремний на этой станции входит в состав глинистых сланцев и имеет терригенный генезис.

В ловушке на континентальном склоне (ст. 5945) на глубине ниже 100 м количество литогенного материала увеличивалось до 70% от общего потока взвеси (см. рис. 6Б). Специфические термохалинные характеристики промежуточного слоя (более высокая температура относительно поверхностных вод), согласно гидрофизическим данным [Флинт и др., 2018], свидетельствуют о консолидированном переносе вод присклоновыми течениями из других областей. Наличие этих течений приводит к взмучиванию осадочных масс континентального склона, что становится причиной увеличения потоков взвеси [Лисицын, 2014].

Поэтому в составе взвеси придонного горизонта встречались неокатанные частицы полевого шпата, плагиоклаза, апатита, коагулирующие на органических остатках. Обнаружен титан, находящийся как в алюмосиликатных минералах, так и в рутиле, и окислы железа.

В процессе седиментации изменялся состав УВ. На взморье Оби (ст. 5943) на глубине 10 м величина индекса нечетности – CPI (Carbon Preference Index – отношение нечетных гомологов к четным) – составила всего 0,92, что типично для фильтрационной взвеси [Немировская, Флинт, 2022; Marti et al., 2001]. Но уже на глубине 20 м в высокомолекулярной области доминировали нечетные терригенные алканы, поступающие с нефеллоидной взвесью из донных осадков, и значение CPI возрастало до 1,75. Близкое распределение гомологов наблюдалось также во взвеси седиментационной ловушки, поставленной в проливе Вилькицкого (ст. 5944). Здесь на глубине 50 м происходило плавное распределение гомологов, а на глубине 160 м в высокомолекулярной области доминировала серия нечетных алканов C_{27} – C_{35} .

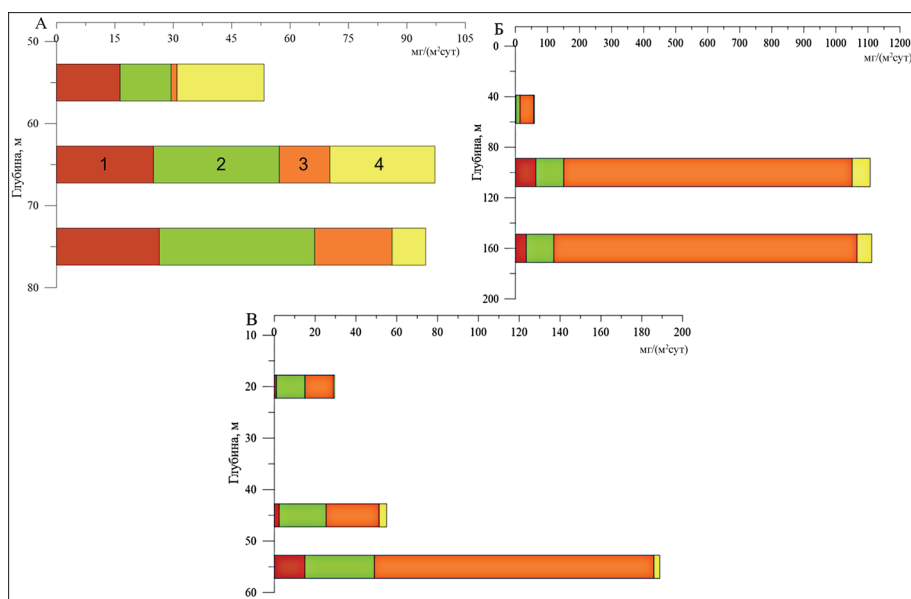


Рис. 6. Вещественный состав взвешенного вещества седиментационных ловушек на ст. 5942 (А), 5945 (Б) и 5946 (В): 1 – органическое вещество; 2 – аморфный кремнезем; 3 – литогенное вещество; 4 – карбонат кальция

Fig. 6. Material composition of suspended matter from the sediment traps at st. 5942 (A), st. 5945 (B) and st. 5946 (B): 1 – organic matter; 2 – amorphous silica; 3 – lithogenic matter; 4 – calcium carbonate

Показателен в этом плане также состав УВ в жёлобе Св. Анны, где была поставлена годовая ловушка с сентября 2018 по июнь 2019 г. Среди алканов доминировали высокомолекулярные гомологи (рис. 7), и их отношение легких к высокомолекулярным ($L/H = \sum(C_{9-24})/\sum(C_{25-35})$) изменялось от 0,45 до 0,87. При

этом в низкомолекулярной области доминировал алкан фитопланктона $n-C_{17}$, как за все время исследования (с октября по май, см. рис. 7А), так и на разных горизонтах (см. рис. 7Б). Количество низкомолекулярных алканов уменьшалось со временем экспозиции, и в октябре 2018 г. их было больше (45%) по

сравнению с маем 2019 г. (34%). С глубиной также происходило увеличение высокомолекулярных гомологов от суммы – с 55 (70 м) до 70% (110 м), так же как и величины CPI – от 1,4 до 1,7.

Морская взвесь формируется в результате жизнедеятельности планктонных организмов (биогенное вещество) и поступления минерального материала (абиогенное вещество). Изучение ее состава необходимо для понимания процессов современной седиментации и путей переноса загрязняющих веществ. Факторы среды (температура и соленость, значительный речной сток, ледовая разгрузка речных льдов и морских айсбергов, береговая абразия и адвекция атлантических вод) формируют соотношение величин составляющих потока.

Во время наших исследований поступление осадочного материала наблюдалось наиболее интенсивно в прибрежной зоне. Это связано с тем, что на концентрацию и состав взвеси влияет береговая абразия и разгрузка ледников при освобождении заключенных в них осадочных материалов, поступающих с суши и из атмосферы. Самые продолжительные световые дни увеличивают активность

биоты, и повышается доля биогенной взвеси в общем потоке [Новигатский и др., 2020].

В связи с тем, что исследования проводили в межень, когда биогенные процессы уменьшаются, наблюдалось высокое содержание терригенной взвеси на протяжении всего периода. Подобная картина типична для всех арктических морей: Белого, Баренцева и Восточно-Сибирского [Система..., 2013; Лисицын, 2010; Матишов и др., 2000]. Так, по данным [Fahl, Nöthig, 2007], в Центральной Арктике в аналогичный период исследований были зафиксированы потоки взвеси 150–200 мг/(м²сут) по всей толще вод, а величина потоков $C_{орг}$ при этом изменялась в пределах 10–20 мгC/(м²сут), что соотносится с полученными нами результатами. Аморфный кремнезем $SiO_{2аморф}$ и карбонат кальция $CaCO_3$ входят в состав скелета фитопланктона, а потому их концентрации в общем потоке взвеси зависят от количества клеток, биомассы и видового состава фитопланктонного комплекса. Основным источником $SiO_{2аморф}$ в арктических шельфовых морях становятся диатомовые водоросли (род *Skeletonema* и *Chaetoceros*) и в меньшей степени – динофлагелляты (род *Prorocentrum*, *Ceratium* и *Dinophysis*) [Матишов и др., 2000].

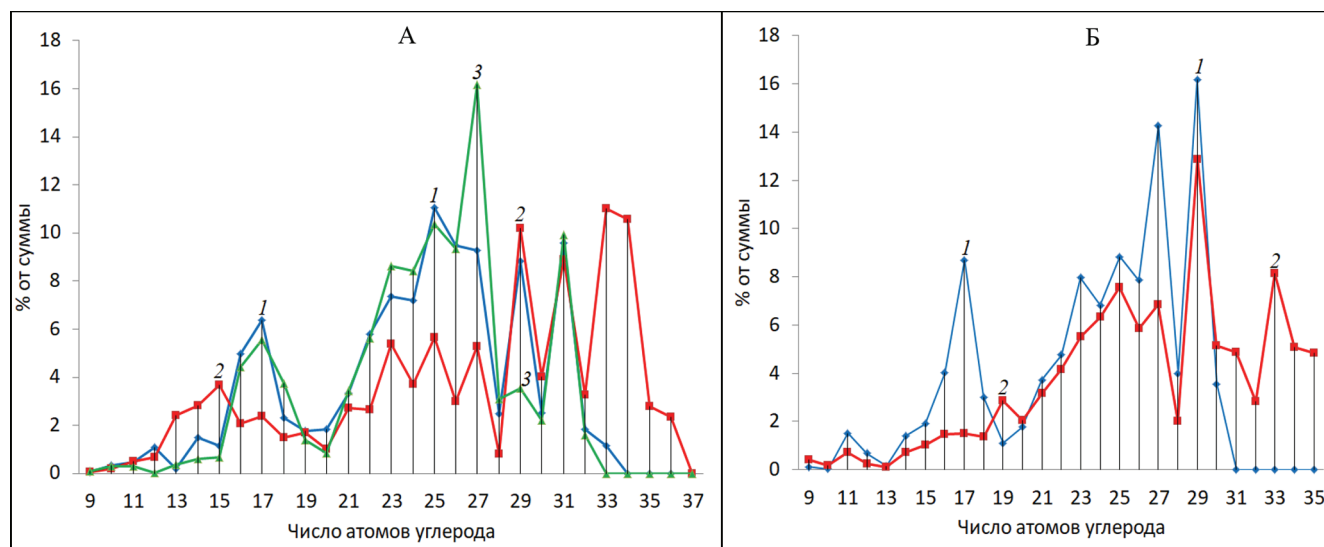


Рис. 7. Распределение алканов в годовой ловушке (желоб Св. Анны) по данным: А – в разные месяцы: 1 – октябрь 2018 г.; 2 – март 2019 г.; 3 – май 2019 г.; Б – для разных слоев: 1 – 60 м; 2 – 100 м

Fig. 7. Distribution of alkanes in a year-long trap (the St. Anne trench): А – for different months: 1 – October 2018; 2 – March 2019; 3 – May 2019; Б – for different layers: 1 – at 60 m; 2 – at 100 m

Также стоит отметить влияние циркумконтинентальной зональности в распределении взвеси, т. е. повышенные концентрации в шельфовой зоне, а также в устьевых областях рек. Поэтому содержание в поверхностных водах в зоне выноса Оби (1,85 мг/л) и величины потоков (6799 мг/(м²сут)) в

20 раз превышали потоки глубоководных районов (ст. 5943 и 5946, см. табл. 1), что характерно для зоны маргинального фильтра [Лисицын, 1994].

Наиболее интенсивный процесс осаднения наблюдался в заливе Благополучия – более 13000 мг/(м²сут), который располагался здесь на глубине выше 10 м.

При этом во взвеси преобладает литогенная составляющая по всей водной толще. В заливе оседает мелкодисперсный терригенный материал, поступающий с эоловым переносом с Новой Земли и в результате формирующий максимум взвеси в поверхностном горизонте. Вклад в потоки морской взвеси также вносит небольшой сток, возникающий при таянии ледника Налли, который выносит в залив взвешенное вещество, аккумулирующееся на его поверхности (до 5,92 мг/л).

По данным [Politova et al., 2012], на севере арх. Новая Земля потоки взвеси достигали 7760 мг/(м²сут) в придонном горизонте, а в их составе также, как и в заливе Благополучия, преобладала минеральная составляющая, обусловленная поступлением обломочного материала с берега.

Согласно исследованиям взвешенного вещества Карского моря с использованием седиментационных ловушек во второй половине сентября 1993 г., поток взвеси в области маргинального фильтра р. Оби составил 1321 мг/(м²сут) на глубине 22 м. При этом по результатам, полученным нами в августе 2018 г., на глубине 20 м в этой же зоне поток достигал 6799 мг/(м²сут). Это свидетельствует об изменчивости материкового стока р. Оби за последние два десятилетия, что подтверждают исследования [Магрицкий и др., 2019]. Начиная с середины 1990-х гг., наблюдалось увлажнение бассейна нижней Оби и прирост величины годового стока, что происходит из-за климатических изменений и увеличения антропогенной нагрузки на водные ресурсы.

По результатам, описанным в [Gaye et al., 2007], в глубоководной части Карского моря в течение года (2000–2001) потоки взвеси на горизонте 73 м изменялись в пределах 80–1320 мг/(м²сут), а поток $C_{\text{орг}}$ – 4,2–7,7 мгС/(м²сут). Согласно нашим измерениям в летне-осенний период, в данном районе величина потока составляла 187 мг/(м²сут), а $C_{\text{орг}}$ – 14 мгС/(м²сут).

В проливе Вилькицкого рост концентрации взвеси в поверхностном горизонте, скорее всего, обусловлен береговой абразией. Придонный максимум (до 1541 мг/(м²сут)) может быть связан с придонным противотечением, приводящим к увеличению потока взвеси у дна [Флинт и др., 2018].

В море Лаптевых на ст. 5945, наиболее удаленной от берега (см. рис. 4), нами установлены минимальные потоки (см. табл. 1). Однако в устьевой области Лены в сентябре 2015 г. в подповерхностном 20-метровом слое величина потоков взвеси изменялась от 1863 до 19 000 мг/(м²сут), а величина $C_{\text{орг}}$ составляла 142–464 мгС/(м²сут) [Дриц, 2017]. В 2018 г. на вершине континентального склона моря Лаптевых и у его подножья отмечались более низкие потоки взвеси и $C_{\text{орг}}$: 79–1609 и 0,5–8 мгС/(м²сут) соответ-

ственно. Аналогичные зависимости были установлены и в Белом море, где в центральной глубоководной части потоки взвеси в позднелетний период изменялись в пределах 100–500 мг/(м²сут), а вблизи берегов и устьевых областей их величины превышали 2000 мг/(м²сут) [Новигатский и др., 2020].

Воды Карского и моря Лаптевых относятся к ультраолиготрофным морям с первичной продукцией < 50 мгС/(м²сут) [Кособокова и др., 2012; Флинт и др., 2018]. Период исследования приходится на стадию сезонной сукцессии фитопланктонного комплекса, а ухудшение световых условий становится причиной повышения плотности планктонных клеток в верхнем 20-метровом слое. Средняя величина потоков взвеси в Карском море была выше, чем в море Лаптевых, не только из-за меньшей его продуктивности, но и из-за меньшего количества взвешенного вещества, приносимого реками [Добровольский, Залогин, 1965].

В глубинных горизонтах при массовом распаде пеллет и поступления взвеси из нефелоидных слоев, увеличивается количество высокомолекулярных нечетных алканов (рис. 7), наиболее стойких к разложению [Немировская, 2021; Yunker et al., 2015]. Отсутствие во взвеси частиц зола может свидетельствовать о незначительном вкладе антропогенных источников.

ВЫВОДЫ

В поверхностных водах распределение взвеси в значительной степени обусловлено влиянием рек и береговой абразией, а также эоловыми потоками с Новой Земли, где ее содержание достигало 5,92 мг/л.

Содержание УВ в поверхностных водах зависит от концентрации взвеси, так как между этими величинами наблюдается корреляция ($r = 0,74$). Увеличение концентраций УВ в барьерных зонах (>30 мкг/л) происходит в меньшей степени, чем взвеси. В большинстве изученных районов содержание УВ соответствует фоновым величинам и не превышает 20 мкг/л. Меньшая продуктивность моря Лаптевых, по сравнению с Карским, обуславливает более низкие концентрации УВ. Из-за минерального характера взвеси минимальные концентрации УВ (8–10 мкг/л) установлены в заливе Благополучия о. Новая Земля.

Согласно данным, полученным с помощью седиментационных ловушек, встречались в основном два типа распределения потоков по глубине: увеличение концентраций взвешенных веществ от поверхности с максимумом у дна, и уменьшение от поверхности до максимума в промежуточном слое. Различия обусловлены изменчивостью эоловых потоков, речными выносами и стратификацией вод. Наиболее интенсивный процесс осаждения про-

исходит в заливе Благополучия Новой Земли в поверхностном слое и в зоне выноса р. Оби (13127 и 6799 мг/(м²сут) соответственно).

В составе взвесей из седиментационных ловушек преобладали алюмосиликаты. Биогенная составляющая приурочена к поверхностным го-

ризонтам и представлена клетками в основном диатомовых водорослей. С глубиной доля биогенной компоненты уменьшается из-за разрушения клеток фитопланктона и снижения общей биологической активности ниже слоя пикноклина, что отражается также на составе УВ.

Благодарности. Работы проводились в рамках государственного задания (тема № FMWE-2021-0006), геохимические исследования – при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-17-00234-П), обобщение материалов в рамках гранта РФФИ 20-35-90025.

Авторы выражают благодарность А.В. Булохову и Г.В. Малофееву за постановку и подъем седиментационных ловушек, А.Г. Боеву, А.В. Золотых и А.В. Храмцовой за помощь в анализе проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буренков В.И., Гольдин Ю.А., Кравчишина М.Д. Распределение концентрации взвеси в Карском море в сентябре 2007 г. по судовым и спутниковым данным // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 5. С. 842–849.
- Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М.: Наука, 2001. 376 с.
- Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР: природа, хозяйство. М.: Мысль, 1965. 350 с.
- Дриц А.В., Кравчишина М.Д., Пастернак А.Ф. и др. Роль зоопланктона в вертикальном потоке вещества в Карском море и море Лаптевых в осенний сезон // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 6. С. 934–948.
- Клювиткин А.А., Новигатский А.Н., Политова Н.В., Колтовская Е.В. Исследования потоков осадочного вещества на многолетнем трансокеаническом разрезе в зоне взаимодействия Северной Атлантики и Арктики // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 3. С. 454–465.
- Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Боев А.Г. Потоки осадочного вещества на гидротермальных полях южной части хребта Мона // *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*. 2021. Т. 497. № 1. С. 16–22.
- Косообокова К.Н., Перцова Н.М. Зоопланктон Белого моря: структура, динамика и экология // *Система Белого моря: водная толща и взаимодействующая атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера*. 2012. Т. 2. С. 640–674.
- Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
- Лисицын А.П. Новый тип седиментогенеза в Арктике – ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // *Геология и геофизика*. 2010. Т. 51. № 1. С. 18–60.
- Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли // *Мировой океан*. 2014. Т. 2. С. 331–571.
- Лисицын А.П., Новигатский А.Н., Шевченко В.П., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Филиппов А.С., Политова Н.В. Рассеянные формы осадочного вещества и их потоки в океанах и морях на примере Белого моря (результаты 12 лет исследований) // *Доклады Академии наук*. 2014. Т. 456. № 3. С. 355–355.
- Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Дара О.М. Минеральный состав и потоки минералов во взвеси из толщи вод Каспийского моря // *Доклады Академии наук*. 2015. Т. 463. № 2. С. 221–221.
- Лукашин В.Н., Клювиткин А.А., Лисицын А.П., Новигатский А.Н. Малая седиментационная ловушка МСЛ-110 // *Океанология*. 2011. Т. 51. № 4. С. 746–750.
- Люцарев С.В. Определение органического углерода в морских донных отложениях методом сухого сжигания // *Океанология*. 1986. Т. 26. № 4. С. 704–708.
- Магрицкий Д.В., Чалов С.Р., Агафонова С.А., Кузнецов М.А., Баницкова Л.С. Гидрологический режим нижней Оби в современных гидроклиматических условиях и под влиянием крупномасштабной водохозяйственной деятельности // *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*. 2019. № 1. С. 106–115.
- Матишов Г., Макаревич П., Тимофеев С., Кузнецов Л., Дружков Н., Ларионов В., Баранова О., Голубев В., Зуев А., Адров Н., Денисов В., Ильин Г., Кузнецов А., Денисенко С., Савинов В., Шавыкин А., Смоляр И., Левитус С., О'Брайан Т. Биологический атлас морей Арктики 2000: планктон Баренцева и Карского морей // *НОАА Атлас НЕСДИС*. 2000. Т. 39. 270 с.
- Немировская И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки). М.: Научный мир, 2013. 343 с.
- Немировская И.А., Полякова А.В., Юхимук В.Д. Особенности распределения и состава углеводородов в прибрежных районах Черного моря // *Вестн. МГУ. Сер. 5. Геогр.* 2013. № 6. С. 16–22.
- Немировская И.А. Распределение и происхождение углеводородов на трансарктическом разрезе через моря Сибири // *Океанология*. 2021. Т. 61. № 2. С. 209–219.
- Немировская И.А., Храмцова А.В., Халиков И.С., Колтовская Е.В., Соломатина А.С. Углеводороды в воде и осадках Норвежского и Баренцева морей // *Труды Карельского научного центра Российской академии наук*. 2021. № 4. С. 94–107.
- Немировская И.А., Флинт М.В. Особенности поведения органических соединений в воде и донных осадках в Карском море во время схода сезонного льда // *Океанология*. 2022. Т. 62. № 1. С. 64–74.
- Новигатский А.Н., Клювиткин А.А., Лисицын А.П. Скорости осадконакопления, вертикальные потоки вещества и абсолютные массы осадков в шельфовой области Российской Арктики // *Океанологические исследования*. 2018. Т. 46. № 2. С. 167–179.
- Новигатский А.Н., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Клювиткин А.А., Кравчишина М.Д., Политова Н.В. Седиментогенез в Белом море: вертикальные потоки

- рассеянного осадочного вещества и абсолютные массы донных осадков // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 3. С. 429–441.
- Новицатский А.Н., Лисицын А.П., Шевченко В.П., Ключевиткин А.А., Кравчишина М.Д., Политова Н.В. Вертикальные потоки вещества в Северном Ледовитом океане // *Система Баренцева моря* / под ред. А.П. Лисицына. М.: Научный мир, 2021. С. 278–286.
- Система Белого моря. Т. III: Рассеянный осадочный материал гидросферы, микробные процессы и загрязнения / под ред. А.П. Лисицына. М.: Научный мир, 2013. 668 с.
- Флинт М.В. Морские экосистемы Сибирской Арктики. 72-й научный рейс НИС «Академик Мстислав Келдыш» (16 августа – 20 сентября 2018 г.) // *Итоги экспедиционных исследований в 2018 году в Мировом океане, внутренних водах и на архипелаге Шпицберген*. 2019. С. 182–184.
- Флинт М.В., Поярков С.Г., Римский-Корсаков Н.А. Экосистемы морей Сибирской Арктики-2017 (69-й рейс научно-исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш») // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 2. С. 331–333.
- Экосистемы Карского моря и моря Лаптевых. Экспедиционные исследования 2016 и 2018 гг. М.: Издатель И.М. Ерхова, 2021. 368 с.
- Эррки Т. Сотрудничество в Арктике – необходимость // *Арктические ведомости*. 2012. № 3. С. 18–27.
- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme), *Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic*, Chapter 4, Oslo, Norway, 2007, 87 p.
- Antia A.N., Koeve W., Fischer G., Blanz V., Schulz Bull D., Schölten J., Zeitzschel B. Basin-wide particulate carbon flux in the Atlantic Ocean: Regional export patterns and potential for atmospheric CO₂ sequestration, *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, vol. 15, no. 4, p. 845–862.
- Collins J.R., Edwards B.R., Thamatrakoln K., Ossolinski J.E., DiTullio G.R., Bidle K.D., Mooy van B.A. The multiple fates of sinking particles in the North Atlantic Ocean, *Global Biogeochemical Cycles*, 2015, vol. 29, no. 9, p. 1471–1494.
- Fahl K., Nöthig E.M. Lithogenic and biogenic particle fluxes on the Lomonosov Ridge (central Arctic Ocean) and their relevance for sediment accumulation: Vertical vs. lateral transport, *Deep Sea Research, part I, Oceanographic Research Papers*, 2007, vol. 54, no. 8, p. 1256–1272.
- Gardner W.D. Sediment trap sampling in surface waters, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, p. 240–284.
- Gaye B., Fahl K., Kodina L.A., Lahajnar N., Nagel B., Unger D., Gebhardt A.C. Particulate matter fluxes in the southern and central Kara Sea compared to sediments: Bulk fluxes, amino acids, stable carbon and nitrogen isotopes, sterols and fatty acids, *Continental Shelf Res.*, 2007, vol. 27, no. 20, p. 2570–2594.
- Jonkers L., Brummer G.J.A., Peeters F.J., Aken van H.M., De Jong M.F. Seasonal stratification, shell flux, and oxygen isotope dynamics of left-coiling *N. pachyderma* and *V. quinqueloba* in the western subpolar North Atlantic, *Paleoceanography*, 2010, vol. 25, no. 2, p. 1–13.
- Lampitt R.S., Antia A.N. Particle flux in deep seas: regional characteristics and temporal variability, *Deep Sea Research, part I, Oceanographic Research Papers*, 1997, vol. 44, no. 8, p. 1377–1403.
- Magen C., Chaillou G., Crowe S.A., Mucci A., Sundby B., Gao A., Sasaki H. Origin and fate of particulate organic matter in the southern Beaufort Sea – Amundsen Gulf region, Canadian Arctic, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, vol. 86, no. 1, p. 31–41.
- Marti S., Bayona J., Mejanelle L., Saliot A., Albaiges J. Biogeochemical Evolution of the Outflow of the Mediterranean Deep-Lying Particulate Organic Matter into the Northeastern Atlantic, *Marine Chemistry*, 2001, vol. 76, p. 211–231, DOI: 10.1016/S0304-4203(01)00064-0.
- Politova N.V., Shevchenko V.P., Zernova V.V. Distribution, composition, and vertical fluxes of particulate matter in bays of Novaya Zemlya Archipelago, Vaigach Island at the end of summer, *Advances in Meteorology*, 2012, vol. 2012, Article ID 259316, 15 p., DOI: 10.1155/2012/259316.
- Yunker M.B., Macdonald R.W., Ross P.S. et al. Alkane and PAH provenance and potential bioavailability in coastal marine sediments subject to a gradient of anthropogenic sources in British Columbia, Canada, *Org. Geochem.*, 2015, vol. 89–90, p. 80–116.

Поступила в редакцию 15.04.2021

После доработки 16.04.2022

Принята к публикации 27.06.2022

DISTRIBUTION OF SUSPENDED MATTER AND HYDROCARBONS IN THE KARA AND THE LAPTEV SEAS IN AUGUST – SEPTEMBER 2018

E.V. Koltovskaya¹, I.A. Nemirovskaya²

^{1,2} P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Analytical laboratory

¹ Junior Scientific Researcher; e-mail: koltovskaya.ev@ocean.ru

² Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Geology and Mineralogy; e-mail: nemir44@mail.ru

Distribution of suspended matter and the volumes of its flows in the Kara and Laptev seas was studied during the Cruise 72 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh (August–September 2018) using the filtration technique and the sediment traps, respectively. The organic component (C_{org}, lipids and hydrocarbons) and the

inorganic lithogenic component (amorphous silica and calcium carbonate) were determined for the suspension. It was found that the content of suspended matter in surface waters varied from 0,2 to 5,9 mg/l (on average 0,90 mg/l) with maximum values in the Blagopoluchiya Bay, of lipids from 28 to 120 µg/l (average 52 µg/l), and of aliphatic hydrocarbons from 10 to 49 µg/l (average 22 µg/l) with maximum in the area of the Ob River discharge (6799 mg/m²day). The suspension flux decreased from the surface to the near-bottom horizon only in the Blagopoluchiya Bay (from 13 127 to 11 900 mg/m²day), but in most samples the flux increased in the near-bottom horizon. The maximum flux in the Ob River discharge water area coincides with the maximum of the C_{org} flux (682 mg/m²day). The allochthonous components basically prevailed over autochthonous ones in the composition of suspended matter, as well as in organic compounds, including hydrocarbons.

Keywords: suspended matter, organic matter, petroleum hydrocarbons, sedimentation, the Kara Sea, the Laptev Sea, low-water period

Acknowledgements. The study was carried out under the state task (theme FMWE-2021-0006); geochemical surveys were financially supported by the Russian Science Foundation (project 19-17-00234-P); integration of materials was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 20-35-90025).

The authors are grateful to A.V. Bulokhov and G.V. Malofeev for installation and rising of sediment traps and to A.G. Boev, A.V. Zolotykh and A.V. Khramtsova for their assistance in sample analyzing.

REFERENCES

- AMAP (Arctic Monitoring and Assessment Programme), Chapter 4, Sources, Inputs and Concentrations of Petroleum Hydrocarbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, and other Contaminants Related to Oil and Gas Activities in the Arctic, Oslo, Norway, 2007, p. 87.
- Antia A.N., Koeve W., Fischer G., Blanz V., Schulz B.D., Schölten J., Zeitzschel B. Basin-wide particulate carbon flux in the Atlantic Ocean: Regional export patterns and potential for atmospheric CO₂ sequestration, *Global Biogeochemical Cycles*, 2001, vol. 15, no. 4, p. 845–862.
- Burenkov V.I., Gol'din Yu.A., Kravchishina M.D. Raspre-delenie kontsentratsii vzvesi v Karskom more v sentyabre 2007 g. po sudovym i sputnikovym dannym [Distribution of suspension in the Kara Sea in September 2007 according to ship observations and remote sensing data], *Okeanologiya*, 2010, vol. 50, no. 5, p. 842–849. (In Russian)
- Collins J.R., Edwards B.R., Thamatrakoln K., Ossolin-ski J.E., DiTullio G.R., Bidle K.D., Mooy van B.A. The multiple fates of sinking particles in the North Atlantic Ocean, *Global Biogeochemical Cycles*, 2015, T. 29, no. 9, p. 1471–1494.
- Dobrovolskii A.D., Zalogin B.S. *Morya SSSR: priroda, khozyaistvo* [Seas of the USSR: nature and economy], Moscow, Mysl', 1965, 350 p. (In Russian)
- Drits A.V., Kravchishina M.D., Pasternak A.F. Rol' zooplanktona v vertikal'nom potoke veshchestva v Karskom more i more Laptevskh v osennii sezon [Role of zooplankton in the vertical material flow in the Kara and Laptev seas during the autumn], *Okeanologiya*, 2017, vol. 57, no. 6, p. 934–948. (In Russian)
- Ekosistemy Karskogo morya i morya Laptevskh. Ekspeditsionnye issledovaniya 2016 i 2018 gg. [Ecosystems of the Kara and the Laptev seas. 2016 and 2018 expeditions], IO, Moscow, izdatel' I.M. Erkhova, 2021, 368 p. (In Russian)
- Erkki V. Sotrudnichestvo v Arktike – neobkhodimost' [Collaboration in the Arctic is a necessity], *Arkticheskie vedomosti (Informatsionno-analiticheskii zhurnal)*, 2012, no. 3, p. 18–27. (In Russian)
- Fahl K., Nöthig E.M. Lithogenic and biogenic particle fluxes on the Lomonosov Ridge (central Arctic Ocean) and their relevance for sediment accumulation: Vertical vs. lateral transport, Deep Sea Research, part I, *Oceanographic Research Papers*, 2007, vol. 54, no. 8, p. 1256–1272.
- Flint M.V. [Marine ecosystems of the Siberian Arctic. The Cruise 72 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh (16 August – 20 September 2018)], *Itogi ekspeditsionnykh issledovaniy v 2018 godu v Mirovom okeane, vnutrennikh vodakh i na arhipelaghe Shpitsbergen* [Results of 2018 expeditions in the World Ocean, inner waters and the Svalbard Archipelago], 2019, p. 182–184. (In Russian)
- Flint M.V., Poyarkov S.G., Rimskii-Korsakov N.A. Ekosistemy morei sibirskoi Arktiki-2017 (69-i reis nauchno-issledovatel'skogo sudna "Akademik Mstislav Keldysh") [Ecosystems of the seas of the Siberian Arctic-2017 (the Cruise 69 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)], *Okeanologiya*, 2018, vol. 58, no. 2, p. 331–333. (In Russian)
- Gardner W.D. *Sediment trap sampling in surface waters*, Cambridge University Press, Cambridge, 2000, p. 240–284.
- Gaye B., Fahl K., Kodina L.A., Lahajnar N., Nagel B., Unger D., Gebhardt A.C. Particulate matter fluxes in the southern and central Kara Sea compared to sediments: Bulk fluxes, amino acids, stable carbon and nitrogen isotopes, sterols and fatty acids, *Continental Shelf Res*, 2007, vol. 27, no. 20, p. 2570–2594.
- Jonkers L., Brummer G.J.A., Peeters F.J., Aken van H.M., De Jong M.F. Seasonal stratification, shell flux, and oxygen isotope dynamics of left-coiling *N. pachyderma* and *V. quinqueloba* in the western subpolar North Atlantic, *Paleoceanography*, 2010, vol. 25, no. 2.
- Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Boev A.G. Potoki osadochnogo veshchestva na gidrotermal'nykh polyakh yuzhnoi chasti khrebta Mona [Sediment matter flows within hydrothermal fields in the southern part of the Mona Ridge], *Doklady Rossiiskoi akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2021, vol. 497, no. 1, p. 16–22. (In Russian)
- Klyuvitkin A.A., Novigatskii A.N., Politova N.V., Koltovskaya E.V. Issledovaniya potokov osadochnogo veshchestva na mnogoletnem transokeanicheskom razreze v zone vzaimodeistviya Severnoi Atlantiki i Arktiki [Investigation of sediment matter flows at the multiyear trans-ocean section in the zone of North Atlantic-Arctic interaction], *Okeanologiya*, 2019, vol. 59, no. 3, p. 454–465. (In Russian)
- Kosobokova K.N., Pertsova N.M. [Zooplankton of the White Sea: structure, dynamics and ecology], *Sistema Belogo morya: vodnaya tolshcha i vzaimodeistviyushchaya atmosfera, kriosfera, rechnoi stok i biosfera* [The White

- Sea system: water column and interactions with atmosphere, cryosphere, river runoff and biosphere], 2012, vol. 2, p. 640–674. (In Russian)
- Lampitt R.S., Antia A.N. Particle flux in deep seas: regional characteristics and temporal variability, Deep Sea Research, part I, *Oceanographic Research Papers*, 1997, vol. 44, no. 8, p. 1377–1403.
- Lisitsyn A.P. Marginal'nyi fil'tr okeanov [Marginal filter of the oceans], *Okeanologiya*, 1994, vol. 34, no. 5, p. 735–747. (In Russian)
- Lisitsyn A.P. Novyi tip sedimentogeneza v Arktike-ledovyi morskoi, novye podkhody k issledovaniyu protsessov [New type of sediment generation in the Arctic – glacial-marine, new approaches to the investigation of processes], *Geologiya i geofizika*, 2010, vol. 51, no. 1, p. 18–60. (In Russian)
- Lisitsyn A.P. Sovremennye predstavleniya ob osadkoobrazovanii v okeanakh i moryakh. Okean kak prirodnyi samopisets vzaimodeistviya geosfer Zemli [Modern concepts of sediment generation in oceans and seas. Ocean as a natural recorder of interactions between the Earth's geospheres], *Mirovoi ocean*, 2014, vol. 2, p. 331–571. (In Russian)
- Lisitsyn A.P., Lukashin V.N., Dara O.M. Mineral'nyi sostav i potoki mineralov vo vzvesi iz tolshchi vod Kaspiiskogo moray [Mineral composition and mineral fluxes in suspension from the water column of the Caspian Sea], *Doklady Akademii nauk*, 2015, vol. 463, no. 2, p. 221–221. (In Russian)
- Lisitsyn A.P., Novigatskii A.N., Shevchenko V.P., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Filippov A.S., Politova N.V. Rasseyannye formy osadochnogo veshchestva i ikh potoki v okeanakh i moryakh na primere Belogo morya (rezul'taty 12 let issledovaniy) [Dispersed forms of sediment matter and their flows in oceans and seas (case study of the White Sea, results of 12 years of investigations)], *Doklady Akademii nauk*, 2014, vol. 456, no. 3, p. 355–355. (In Russian)
- Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Vinogradov M.E., Severina O.V., Vavilova V.V., Mitskevich I.N. Particle fluxes in the Kara Sea and Ob and Yenisey estuaries, *Oceanology*, 1995, vol. 34, no. 5, p. 683–693.
- Lukashin V.N., Klyuvitkin A.A., Lisitsyn A.P., Novigatskii A.N. Malaya sedimentatsionnaya lovushka MSL-110 [Small sediment trap MSL-110], *Okeanologiya*, 2011, vol. 51, no. 4, p. 746–750. (In Russian)
- Lukashin V.N., Ivanov G.V., Pol'kin V.V., Gurvich E.G. O geokhimii aerorozolei v tropicheskoi Atlantike (po rezul'tatam 35-go reisa NIS “Akademik Keldysh”) [On the geochemistry of aerosols in the tropical part of the Atlantic Ocean (according to the results of the Cruise 35 of the R/V Akademik Mstislav Keldysh)], *Geokhimiya*, 1996, no. 10, p. 985–994. (In Russian)
- Lyutsarev S.V. Opredelenie organicheskogo ugleroda v morskikh donnykh otlozheniyakh metodom sukhogo sozhzheniya [Determination of organic carbon in marine bottom sediments by the dry burning method], *Okeanologiya*, 1986, vol. 26, no. 4, p. 704–708. (In Russian)
- Magen C., Chaillou G., Crowe S.A., Mucci A., Sundby B., Gao A., Sasaki H. Origin and fate of particulate organic matter in the southern Beaufort Sea – Amundsen Gulf region, Canadian Arctic, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2010, vol. 86, no. 1, p. 31–41.
- Magritskii D.V., Chalov S.R., Agafonova S.A., Kuznetsov M.A., Banshchikova L.S. Gidrologicheskii rezhim nizhnei Obi v sovremennykh gidroklimaticeskikh usloviyakh i pod vliyaniem krupnomasshtabnoi vodo-khozyaistvennoi deyatelnosti [Hydrological regime of the Lower Ob River under present-day hydro-climate situation and the large-scale hydroeconomic activities], *Nauchnyi vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, 2019, no. 1, p. 106–115. (In Russian)
- Marti S., Bayona J., Mejanelle L., Saliot A., Albaiges J. Biogeochemical Evolution of the Outflow of the Mediterranean Deep-Lying Particulate Organic Matter into the Northeastern Atlantic, *Marine Chemistry*, 2001, vol. 76, p. 211–231, DOI: 10.1016/S0304-4203(01)00064-0.
- Matishov G.G. *Biologicheskii atlas morei Arktiki 2000: plankton Barentseva i Karskogo morei* [Biological atlas of Arctic seas 2000: plankton of the Barents and the Kara seas], NOAA Atlas NESDIS, 2000, vol. 39. (In Russian)
- Nemirovskaya I.A., Khrantsova A.V., Khalikov I.S., Koltovskaya E.V., Solomatina A.S. Uglevodorody v vode i osadkakh Norvezhskogo i Barentseva morei [Hydrocarbons in water and sediments of the Norwegian and the Barents seas], *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2021, no. 4, p. 94–107. (In Russian)
- Nemirovskaya I.A. *Neft' v okeane (zagryaznenie i prirodnye potoki)* [Oil in the ocean (pollution and natural fluxes)], Nauchnyi mir, 2013. (In Russian)
- Nemirovskaya I.A. Raspreделение i proiskhozhdenie uglevodorodov na transarkticheskom razreze cherez morya Sibiri [Distribution and genesis of hydrocarbons along the trans-Arctic section through Siberian seas], *Okeanologiya*, 2021, vol. 61, no. 2, p. 209–219. (In Russian)
- Nemirovskaya I.A., Flint M.V. Osobennosti povedeniya organicheskikh soedinenii v vode i donnykh osadkakh v Karskom more vo vremya skhoda sezonnogo l'da [Specific features of organic compounds behavior in water and bottom sediments of the Kara Sea during the seasonal ice clearance], *Okeanologiya*, 2022, vol. 62, no. 1, p. 64–74. (In Russian)
- Novigatskii A.N., Klyuvitkin A.A., Lisitsyn A.P. Skorosti osadkonakopleniya, vertikal'nye potoki veshchestva i absol'yutnye massy osadkov v shel'fovoi oblasti Rossiiskoi Arktiki [Rates of sediment accumulation, vertical fluxes of matter and absolute volumes of sediments in the shelf part of the Russian Arctic], *Okeanologicheskie issledovaniya*, 2018, vol. 46, no. 2, p. 167–179. (In Russian)
- Novigatskii A.N., Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Politova N.V. [Vertical fluxes of matter in the Arctic Ocean], *Sistema Barentseva morya* [The Barents Sea system], A.P. Lisitsyn (ed.), Moscow, Nauchnyi mir, 2021, p. 278–286. (In Russian)
- Novigatskii A.N., Lisitsyn A.P., Shevchenko V.P., Klyuvitkin A.A., Kravchishina M.D., Politova N.V. Sedimentogenez v Belom more: vertikal'nye potoki rasseyannogo osadochnogo veshchestva i absol'yutnye massy donnykh osadkov [Sediment generation in the White Sea: vertical fluxes of dispersed sediments and absolute volumes of bottom sediments], *Okeanologiya*, 2020, vol. 60, no. 3, p. 429–441. (In Russian)
- Politova N.V., Shevchenko V.P., Zernova V.V. Distribution, composition, and vertical fluxes of particulate matter in bays of Novaya Zemlya Archipelago, Vaigach Island at the end of summer, *Advances in Meteorology*, 2012, p. 15.
- Sistema Belogo moray, tom II, Vodnaya tolshcha i vzaimodeistviyushchie s nei atmosfera, kriosfera, rechnoi stok i biosfera* [The White Sea system, vol. II, Water column

- and interactions with atmosphere, cryosphere, river runoff and biosphere], A.P. Lisitsyn (ed.), Moscow, Nauchnyi mir, 2012, 784 p. (In Russian)
- Sistema Belogo moray, tom III*, Rasseyannyi osadochnyi material gidrosfery, mikrobye protsessy i zagryazneniya [The White Sea system, vol. III, Dispersed sediment matter of the hydrosphere, microbial processes and pollution], A.P. Lisitsyn (ed.), Moscow, Nauchnyi mir, 2013, 668 p. (In Russian)
- Vernadskii V.I. *Khimicheskoe stroenie biosfery Zemli i yeyoe okruzheniya* [Chemical composition of the Earth's biosphere and its surroundings], Moscow, Nauka, 2001, 376 p. (In Russian)
- Yunker M.B., Macdonald R.W., Ross P.S. et al. Alkane and PAH provenance and potential bioavailability in coastal marine sediments subject to a gradient of anthropogenic sources in British Columbia, Canada, *Org. Geochem.*, 2015, vol. 89–90, p. 80–116.

Received 15.04.2021

Revised 16.04.2022

Accepted 27.06.2022

МЕЖГОДОВАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТОКА РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ДЕЛЬТОВЫХ РУКАВАХ РЕКИ КУБАНИ

О.С. Решетняк¹, Р.С. Комаров²

^{1,2} Южный федеральный университет, Институт наук о Земле, кафедра геоэкологии и прикладной геохимии

¹ Гидрохимический институт, лаборатория дистанционных и химико-биологических методов наблюдений за состоянием и загрязнением водных объектов, ст. науч. сотр.

² Гидрохимический институт, лаборатория экспериментальной гидрохимии, мл. науч. сотр.

¹ Доц., канд. геогр. наук; e-mail: olgare1@mail.ru

² Аспирант; e-mail: komarovroman128@yandex.ru

Исследована многолетняя межгодовая и сезонная изменчивость химического стока по основным дельтовым рукавам Кубани. Проанализированы данные систематических наблюдений за водным стоком и концентрациями главных ионов, биогенных и органических веществ, фенолов, нефтепродуктов и тяжелых металлов за период с 2008 по 2018 г. Рассчитаны значения годовых и сезонных объемов стока растворенных химических веществ по основным рукавам дельты Кубани – рук. Протока и рук. Кубань. Химический состав воды в основных дельтовых рукавах Кубани практически одинаковый, а наибольшие различия наблюдаются по концентрациям хлоридов, соединений железа, меди и нефтепродуктов. Выявлены разнонаправленные тенденции изменения в ионном составе и содержании биогенных элементов. Происходило синхронное увеличение концентраций сульфатов и азота аммонийного в дельтовых рукавах Кубани, содержание нитратов и нитритов в воде рук. Кубань практически не менялось, а в рук. Протока – снижалось. При этом максимальная кратность превышения ПДК по всем компонентам невысокая, и формируется низкий уровень загрязненности воды. Объемы химического стока по дельтовым рукавам имеют близкие значения, особенно по объемам стока сульфатов, органических веществ и биогенных элементов. Наибольшие различия на 20–22% наблюдаются по стоку хлоридов, соединений железа и меди. Показано, что сток хлоридов, сульфатов, биогенных и органических веществ в большей степени взаимосвязан с водным стоком. В целом распределение химического стока по дельтовым рукавам равномерно, сезонная его изменчивость соответствует изменениям водности в основные сезоны, а некоторые различия наблюдаются только для хлоридов и соединений железа. В современных условиях климатических изменений и антропогенного воздействия выявленные особенности и тенденции изменчивости химического стока по основным рукавам дельты Кубани имеют большую практическую значимость. Полученные данные могут быть использованы для прогнозных оценок выноса химических веществ в прибрежную зону Азовского моря.

Ключевые слова: водный сток, химический состав воды, растворенные вещества, химический сток, основные дельтовые рукава, река Кубань, Азовское море

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.8

ВВЕДЕНИЕ

Исследование химического стока реки Кубань (или стока растворенных химических веществ с водным стоком) имеет важное значение, во-первых, в связи с изучением влияния происходящих климатических изменений и хозяйственной деятельности в дельте на процессы формирования химического состава и качества воды, во-вторых, для оценки возможного влияния речного стока на прибрежные акватории Азовского моря.

Как известно, любая устьевая область реки представляет собой «особый географический объект, охватывающий район впадения реки в приемный водоем (океан, море, озеро), обладаю-

щий специфическими морфологическим строением, гидрологическим режимом и экологическими условиями» [Гидрология..., 2017] и представляющий собой «промежуточную» и весьма специфическую природную систему, где взаимодействуют, смешиваются и трансформируются два принципиально различных водных потока (речной и морской) [Брызгалов и др., 2013], который является своеобразным барьером между рекой и приемным водоемом. Вследствие замедления скоростей течения и обратных течений в нем создаются условия для задержки и накопления загрязняющих веществ [Брызгалов и др., 2015; Коротаев и др., 2007].

Устьевая область реки Кубань относится к дельтовому типу (с многорукавной дельтой выдвигания и открытым приглубым взморьем). Состоит из дельты длиной 116 км и площадью 4190 км² и устьевого взморья площадью около 110 км² [Михайлов, 1997]. В вершине дельты (хутор Тиховский) река делится на два основных дельтовых рукава – Кубань и Протоку. Главным рукавом является Кубань, длина которой – 117,5 км, длина Протоки – 133,3 км [Лурье и др., 2005].

Дельта Кубани по гидроморфологическим признакам делится на две зоны – верхнюю и нижнюю (приморская). Верхняя зона ограничена основными рукавами дельты и превращена в поливные рисовые поля, а большая часть приморской зоны занята лиманами и плавнями. Всего в дельте насчитывается около 240 лиманов [Лурье и др., 2005; Kuban Delta..., 1997]. Большая часть лиманов включена в список объектов Рамсарской конвенции – Дельта Кубани: Группа лиманов между реками Кубань и Протока [Водно-болотные..., 2021]. Водное питание системы лиманов происходит за счет рукавов дельты через каналы и за счет моря через гирла – дельтовые водотоки с переменным направлением течения воды [Магрицкий, Иванов, 2008].

Основное антропогенное воздействие на экосистему устьевой области и дельты Кубани происходит за счет поступления загрязненных сточных вод промышленных предприятий, смыва минеральных удобрений и органических веществ с сельскохозяйственных и территорий животноводческих ферм, пестицидов – с оросительных систем, влияния маломерного флота, безвозвратного изъятия воды и регулирования стока, а также транзитного переноса загрязненных сточных вод по течению реки [Никаноров и др., 2011]. Дельта Кубани интенсивно используется в хозяйственной деятельности человека. Для нормального функционирования рисовых полей и рыбопродуктивных прудов с 1920–1930-х гг. сооружено несколько систем оросительных, водоотводных и опреснительных каналов [Гидрология..., 2010], которые значительно повлияли на гидрологические особенности и распределение стока в дельте.

Существенным является и влияние стихийных природных явлений гидрологического характера в бассейне р. Кубани, а также диффузное загрязнение нижних участков реки, доля которого по разным подсчетам может достигать 50% от общего поступления загрязняющих веществ в речную сеть [Схема..., 2014].

Сток растворенных химических веществ является одним из важнейших факторов формирования гидролого-экологического состояния прибрежной зоны Азовского моря [Никаноров и др., 2011]. Его формирование в бассейне реки Кубань происходит

в специфических природно-климатических условиях (засушливый климат, сложность рельефа и наличие высотной зональности, разнообразие дренируемых горных пород и почв) при достаточно высокой антропогенной нагрузке и низкой водообеспеченности территории.

В комплексной монографии [Гидрология..., 2010] представлены особенности гидрохимического режима устьевой области Кубани и обобщенные оценки химического стока. В продолжение данных исследований нами проведена современная оценка изменчивости химического стока по основным дельтовым рукавам р. Кубани на основе анализа и обработки первичных данных наблюдательной сети и сравнения с ранее опубликованными результатами других авторов.

Все это и обуславливает актуальность и новизну нашего исследования, цель которого – изучить межгодовую и сезонную изменчивость химического стока р. Кубани в Азовское море (стока растворенных химических веществ дельтовыми рукавами) в современных условиях климатических изменений и антропогенного воздействия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использована многолетняя (2008–2018) гидрологическая и гидрохимическая информация государственной системы наблюдений (ГСН) Росгидромета в основных дельтовых рукавах р. Кубани: рук. Кубань – г. Темрюк и рук. Протока – хутор Слободка. Данные о химическом составе воды включали значения концентраций главных ионов (хлоридов и сульфатов), биогенных веществ (соединений азота аммонийного, азота нитритного и нитратного), органических соединений (по показателям ХПК и БПК₅), фенолов и нефтепродуктов, а также соединений отдельных тяжелых металлов (растворенных форм соединений железа, меди и цинка).

Периодичность гидрохимических наблюдений (и, соответственно, временное разрешение получаемых ежегодных данных) определяется категорией пунктов наблюдений и охватывает основные фазы водного режима реки. В дельте Кубани частота отбора проб составляла в пункте наблюдений хутора Слободка шесть раз в год по таким гидрохимическим показателям, как сульфаты, азот нитритный и соединения железа, и 12 раз в год по остальным показателям; в пункте наблюдений г. Темрюк – 12 и 24 раза в год соответственно.

Для анализа водного стока р. Кубани и последующего расчета объемов стока химических веществ использованы многолетние данные, представленные в Автоматизированной информационной системе государственного мониторинга водных объектов [АИС ГМВО, 2021].

На рис. 1 приведена схема района исследования – устьевая область р. Кубани и основные дельтовые рукава – Кубань и Протока.

На основе данных о концентрациях химических веществ и значениях годового (или месячного) стока воды выполнен расчет химического стока р. Кубани (стока растворенных веществ) за определенный временной период. Расчет проводили прямым способом по формуле [Никаноров и др., 2010]:

$$G = \sum_{i=1}^m W_i \bar{C}_i, \quad (1)$$

где G – количество перенесенного вещества за расчетный период, тыс. т; m – число интервалов расчетного периода; W_i – объем стока воды за i -й интервал расчетного периода, км³; $\bar{C}_i$ – средняя концентрация вещества за i -й интервал расчетного периода, мг/дм³.

Для обработки многолетних данных о химическом составе и стоке воды, для расчета стока растворенных веществ и построения графиков были использованы MS Excel 2010 и пакет прикладных программ Statistica 13.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определяющим фактором в изменчивости химического стока является водный сток. Чем он больше, тем, соответственно, большее количество растворенных веществ может быть вынесено рекой [Брызгалов и др., 2015]. В данной работе рассматривается сток растворенных химических веществ без стока взвешенных компонентов в химическом стоке реки.

Водный сток рек в большей мере определяется климатическими условиями. Однако из-за хозяйственной деятельности человека в совокупности с природными факторами сток р. Кубани претерпевал существенные изменения практически на протяжении большей части XX в. [Сорокина и др., 2006]. Колебания водного стока в дельте определяются общим стоком воды реки и в значительной мере попусками из Краснодарского водохранилища [Лурье и др., 2005]. Отмечается, что из-за зарегулирования стока Кубани стал более равномерно распределенным в течение года [Сорокина и др., 2006].

В многолетнем аспекте изменение водного стока происходило следующим образом: сначала наблюдалось снижение стока с 1930 по 1972 г. от 13,0 км³/год (1930–1948) до 10,3 км³/год (1949–1972) и было связано с изъятием воды на хозяйственные нужды и естественным уменьшением водных ресурсов. Далее в период зарегулирования стока Краснодарским водохранилищем с 1973 по 1986 г. «фактический приток воды в дельту, несмотря на некоторое увеличение климатического стока, снизился еще на 1,1 км³/год и составил 9,2 км³/год.

<...> С 1987 г. наблюдается заметное увеличение средних годовых расходов воды в реке, что связано в первую очередь с климатическими причинами и в меньшей степени с уменьшением водохозяйственной нагрузки на реку» [Магрицкий, Иванов, 2008].

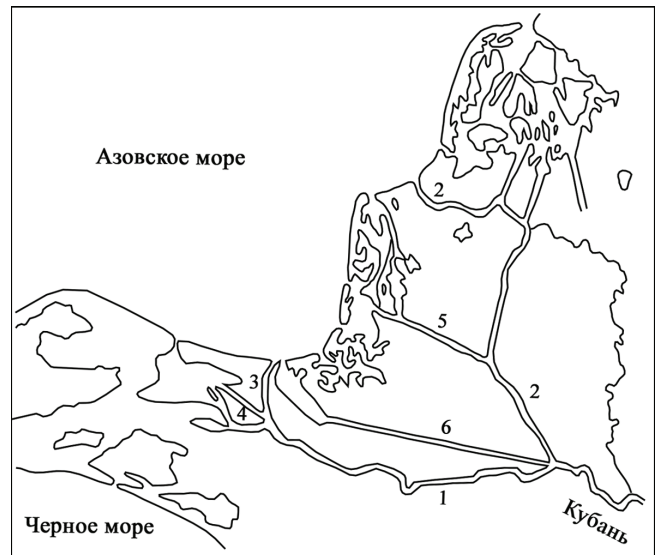


Рис. 1. Карта-схема дельты р. Кубани [Михайлов, 1997]: 1 – рук. Кубань; 2 – рук. Протока; 3 – рук. Петрушин; 4 – рук. Казачий Ерик; 5 – Чебургольский оросительный канал (ЧОК); 6 – Петровско-Анастасиевская оросительная система (ПАОС)

Fig. 1. Schematic map of the Kuban River delta [Mikhailov, 1997] numbers in the map indicate the branches and canals of the delta:

1 – the Kuban branch; 2 – the Protoka branch; 3 – the Petrushin branch; 4 – the Kazachiy Erik branch; 5 – the Cheburgol irrigation canal; 6 – the canal of the Petrovsk-Anastasievskaya irrigation system

Основная часть речного стока р. Кубани в нижнем течении делится по основным дельтовым рукавам (Кубань и Протока) примерно в равной степени и поступает в Азовское море. В период с 1973 по 1986 г. значения водного стока в устьях дельтовых рукавов составили 4,13 км³/год (рук. Протока) и 3,94 км³/год (рук. Кубань), а в 1987–2005 гг. – 6,22 км³/год и 5,59 км³/год соответственно [Гидрология..., 2010]. Таким образом, отмечалась тенденция роста водного стока после регулирования.

Далее распределение стока по рукавам р. Кубани стало еще более равномерным. За 2008–2018 гг. среднее значение годового водного стока составило 5,2 км³/год в пункте наблюдений хутора Слободка (рук. Протока) и 5,3 км³/год в пункте наблюдений г. Темрюк (рук. Кубань), что указывает на снижение речного стока и его более равномерное распределение по основным рукавам дельты. Во временной динамике отмечается синхронное изменение водного стока без наличия четких тенденций (рис. 2). Увеличение водности в 2010 и 2011 гг., скорее все-

го, было связано с ростом количества атмосферных осадков в этот период.

Для устьевой области реки Кубань характерно симбатное (синхронное) изменение стока по рукавам дельты в течение года с максимумом в мае–июне и минимумом в зимний период [Лурье и др., 2005]. Таким образом, в сезонном отношении преобладает весенний и летний сток (или сток в теплый период) (см. рис. 2).

Изменчивость водного стока будет определять содержание отдельных химических веществ (в основном главных ионов и соединений металлов), источником поступления которых в речную сеть являются процессы выщелачивания горных пород, катионный обмен с почвенным покровом и поверх-

ностный смыв с водосборной территории. Речной сток в устьевую область отражает суммарный эффект процессов выветривания и стока растворенных веществ с водосборной площади бассейна реки, поэтому оценку химического стока часто проводят по замыкающему створу реки или по рукавам дельты для оценки выноса химических веществ с речными водами в прибрежные зоны морей [Брызгалов и др., 2015].

Химический состав речных вод основных дельтовых рукавов Кубани. В многолетнем аспекте изменение химического состава воды в основных рукавах дельты р. Кубани происходило следующим образом.

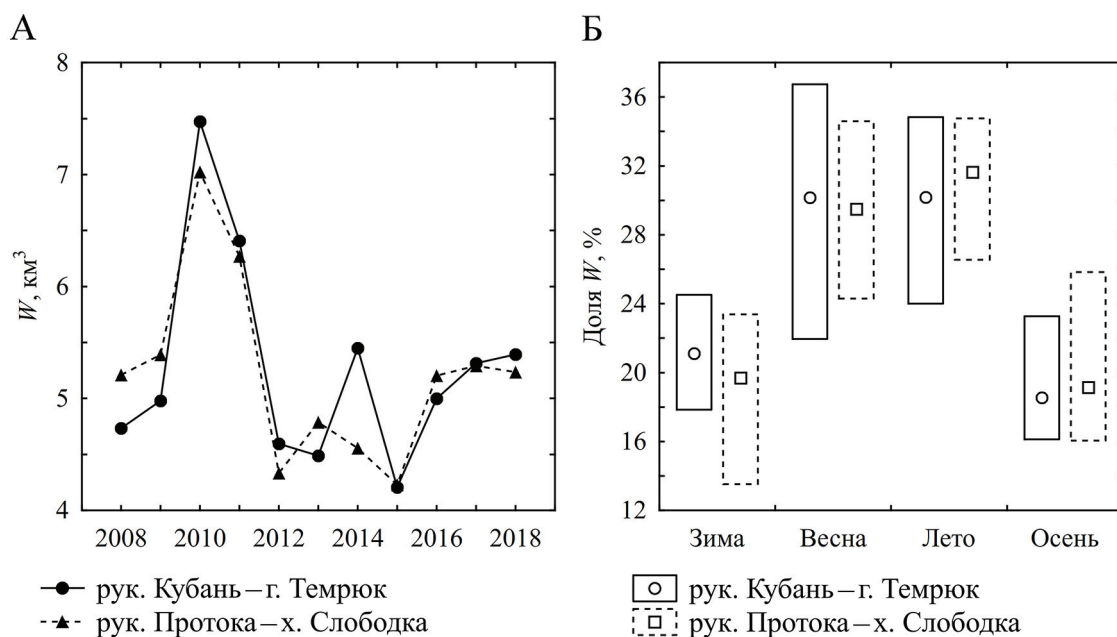


Рис. 2. Динамика изменения объемов речного стока (W) во времени (А) и сезонное распределение стока воды (Б) по основным дельтовым рукавам р. Кубани в 2008–2018 гг.

Fig. 2. Dynamics of changes in river runoff volumes (W) in time (A) and seasonal distribution of water runoff (Б) along the main deltaic branches of the Kuban River in 2008–2018

В период условно-естественного режима стока (до 1948 г.) воды дельтовых рукавов были средне-минерализованными (200–400 mg/dm^3) и по химическому составу относились к гидрокарбонатному классу и кальциевой группе. Хозяйственное освоение дельты Кубани и зарегулирование стока (в 1970-х гг.) способствовало изменению минерализации и ионного состава воды в нижнем течении и в дельте Кубани.

В 1980-х гг. наиболее значительной была трансформация ионного состава вод в рук. Протока, поскольку из него забиралось чистых вод приблизительно в 1,5–2,0 раза больше в сравнении с рук. Кубань, и сбрасывалось обратно коллекторно-дренажных вод также больше. Вследствие произошедших измене-

ний воды в устье рук. Протока стали относиться к сульфатному классу и натриевой группе, а воды рук. Кубань – к гидрокарбонатно-сульфатному классу и кальциевой группе [Гидрология..., 2010].

Зарегулирование стока после строительства Краснодарского водохранилища и антропогенная нагрузка на дельтовые экосистемы также способствовали изменению режима биогенных элементов. Наибольшее влияние оказывали коллекторно-дренажные воды, отводимые в основные рукава дельты с мая по август и увеличивающие содержание соединений азота на 10–40%. К началу 2000-х гг. наблюдалось увеличение средних концентраций минеральных форм азота и фосфора в 1,2–2,0 раза [Гидрология..., 2010].

В многоводный период (с 1987 по 2005 г.) и на фоне снижения масштабов хозяйственной деятельности в бассейне р. Кубани и ее дельте отмечено снижение минерализации воды (на 32% в рук. Протока) и средних концентраций главных ионов.

Выявленные тенденции трансформации химического состава воды основных дельтовых рукавов Кубани не сохранились в последние годы. За период исследования (2008–2018) происходили разнонаправленные изменения в ионном составе и содержании биогенных элементов. Содержание хлоридов стабильно находилось на уровне 30 мг/дм³ в воде рук. Кубань, в то время как в рук. Протока происходило снижение среднегодовых концентраций с 52 до 32 мг/дм³. Отмечалось синхронное увеличение в водах основных дельтовых рукавов концентраций сульфатов (от 111 до 119 мг/дм³ в рук. Кубань и от 117 до 126 мг/дм³ в рук. Протока) и азота аммонийного (от 0,08 до 0,12 мг/дм³ в обоих рукавах). Со-

держание нитратов и нитритов в воде рук. Кубань практически не менялось и находилось на уровне 2,4–2,5 и 0,012–0,014 мг/дм³ соответственно, а в рук. Протока по данным показателям выявлено снижение их среднегодовых концентраций – азота нитратного с 3,4 до 2,4 мг/дм³, а азота нитритного – с 0,012 до 0,018 мг/дм³.

Сравнительный анализ химического состава воды исследуемых дельтовых рукавов Кубани в двух пунктах наблюдений (г. Темрюк и х. Слободка) показал, что в целом химический состав воды в рукавах одинаков как по диапазонам значений, так и по среднемноголетним значениям концентраций (табл. 1). Однако несколько выше содержание большинства химических веществ в воде рук. Протока. Наибольшие различия наблюдаются по содержанию в воде хлоридов (21,9%), соединений железа (22,2%), нефтепродуктов (25,0%) и соединений меди (50,0%).

Таблица 1

Химический состав воды в основных дельтовых рукавах реки Кубани (2008–2018)

Компонент химического состава воды	Значения концентраций, мг/дм³						Относительные изменения средних значений, %
	рук. Кубань – г. Темрюк			рук. Протока – х. Слободка			
	Количество измерений	Диапазон значений	Среднее значение	Количество измерений	Диапазон значений	Среднее значение	
Cl ⁻	263	18,8–50,7	29,2	132	24,5–93,6	37,4	+21,9
SO ₄ ²⁻	132	102,0–123,0	114,4	66	107,0–133,0	121,2	+5,6
ОВ (по ХПК)	263	18,3–36,0	26	132	18,5–35,4	26,2	+0,8
ЛООВ (по БПК ₅)	263	1,07– 2,11	1,47	132	1,06–1,87	1,44	–2,1
NH ₄ ⁺	263	0,04–0,20	0,11	132	0,05–0,20	0,11	± 0
NO ₂ ⁻	263	0,003– 0,024	0,012	126	0,007– 0,070	0,014	+14,3
NO ₃ ⁻	132	1,11–4,65	2,62	66	1,52–4,46	2,78	+5,7
Fe ²⁺ и Fe ³⁺	132	0,02– 0,18	0,07	66	0,04– 0,22	0,09	+22,2
Cu ²⁺	263	н.о.– 0,003	0,001	132	н.о.– 0,003	0,002	+50,0
Zn ²⁺	251	0,004–0,009	0,006	132	0,004–0,009	0,007	+14,2
Фенолы	263	н.о.– 0,003	0,001	132	н.о.– 0,003	0,001	± 0
Нефтепродукты	263	0,04– 0,11	0,06	132	0,04– 0,13	0,08	+25,0

Примечание. ОВ – органическое вещество; ЛООВ – легкоокисляемое органическое вещество; н.о. – ниже предела обнаружения метода; жирным шрифтом выделены значения концентраций, превышающие соответствующие ПДК_{р/х}.

Анализ временной изменчивости химического состава воды исследуемых дельтовых рукавов Кубани показал наличие разнонаправленных тенденций. Наиболее явный возрастающий тренд формируется в изменчивости содержания сульфатов и азота аммонийного в воде обоих рукавов (рис. 3), причем данные изменения очень синхронны. Это обстоятельство указывает на общие факторы формирования тренда в условиях усиления засушливости климата в бассейне Кубани. Для органических веществ и соединений

железа, напротив, выявлена тенденция снижения их среднегодовых концентраций за исследуемый период. Одной из причин данного процесса может быть снижение водности реки после 2010 г. Для остальных гидрохимических показателей четкие тренды изменчивости выделить сложно.

Стоит отметить, что только для нефтепродуктов тренды имеют противоположные направления: в рук. Кубань отмечается рост концентраций нефтепродуктов, а в рук. Протока – снижение. При этом

наиболее высокие среднегодовые концентрации нефтепродуктов характерны для рук. Протока. Поступление нефтепродуктов происходит за счет смыва с вышерасположенных частей бассейна и высоким их содержанием в коллекторно-дренажных водах (в которых по данным [Гидрология..., 2010] содержится нефтепродуктов до 0,60 мг/дм³), объемы сброса которых выше в рук. Протока.

С экологической точки зрения качество воды периодически нарушается в основных дельтовых рукавах Кубани по содержанию в воде органических веществ и сульфатов и эпизодически (по максимальным значениям концентраций) – по соединениям железа, меди и нефтепродуктам (см. табл. 1). На графиках рис. 3 представлены изменения концентраций только тех химических веществ,

содержание которых эпизодически или постоянно превышает ПДК_{р/х}. Максимальная кратность превышения ПДК отмечается в обоих рукавах и достигает 2,4 ПДК для органических веществ (по ХПК), 3,0 ПДК для соединений меди, а также по нефтепродуктам: 2,2 ПДК на участке рук. Кубань – г. Темрюк и 2,6 ПДК на участке рук. Протока – х. Слободка. Такой уровень загрязненности водной среды по кратности превышения ПДК (согласно критериям, приведенным в [РД 52.24.643–2002]) характеризуется как низкий (на уровне 1,0–2,0 ПДК), но при наличии возрастающего тренда по сульфатам (в воде обоих дельтовых рукавов) и по нефтепродуктам (в рук. Кубань) это вызывает опасение из-за возможного ухудшения качества воды в ближайшей перспективе.

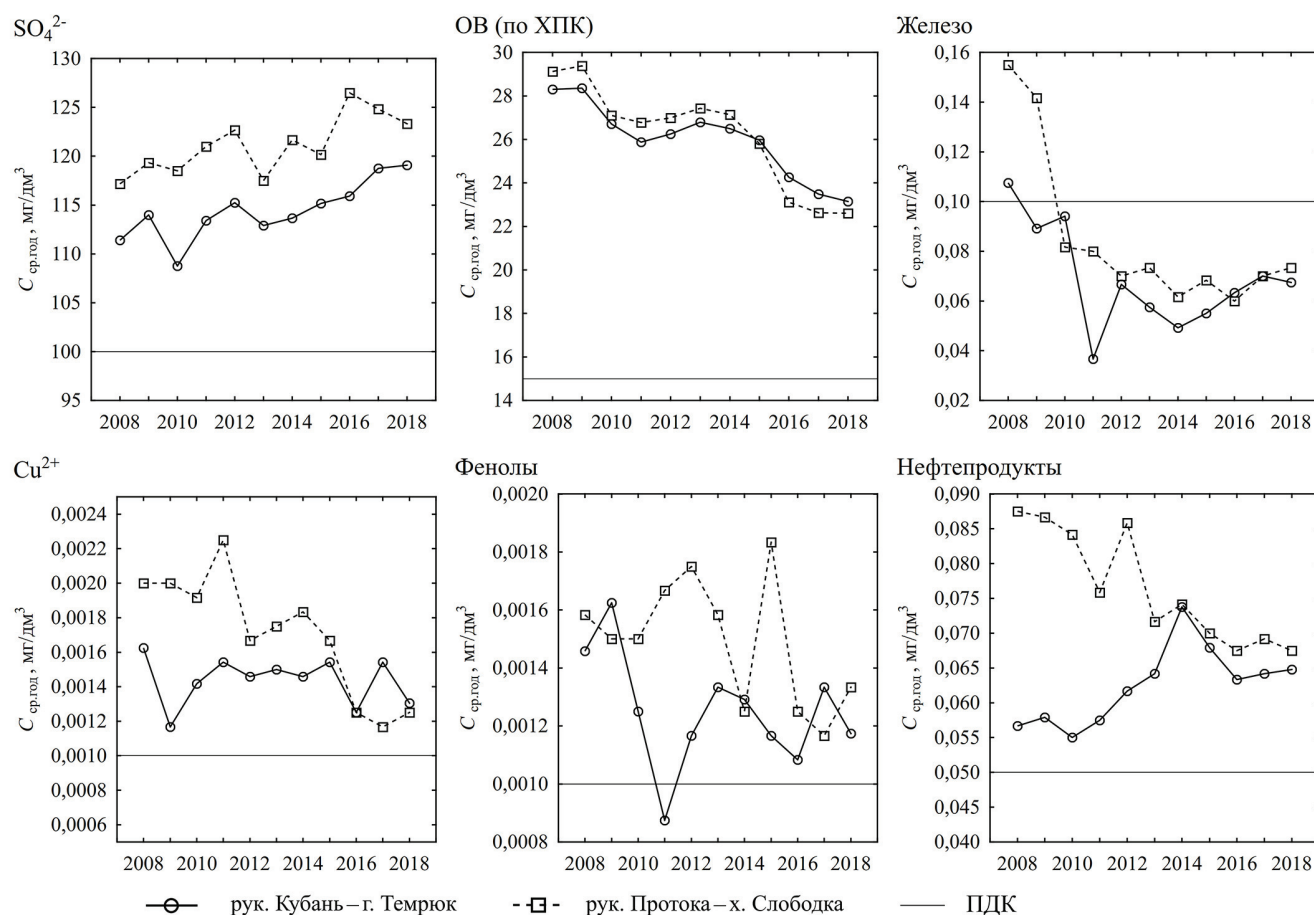


Рис. 3. Изменчивость среднегодовых концентраций отдельных компонентов химического состава воды в основных дельтовых рукавах р. Кубани

Fig. 3. Variability of average annual concentrations of individual components of the chemical composition of water in main deltaic branches of the Kuban River

Межгодовая и сезонная изменчивость стока растворенных веществ в дельте реки Кубани.

Изменчивость химического стока отражает естественные и антропогенные механизмы формирования водного стока и химического состава воды

рек. Изучение сезонной и межгодовой изменчивости химического стока дает интегральное представление о роли хозяйственной деятельности на водосборной территории [Заславская, Ефимова, 2015].

Изменчивость стока растворенных химических веществ в большей степени зависит от содержания в природных водах макрокомпонентов и собственно водности реки. Нарушение этой естественной зависимости будет указывать на влияние антропогенных или иных факторов. Как правило, ионный сток (сток главных ионов, в том числе сток хлоридов и сульфатов) прямо пропорционально связан с водностью реки. Сток биогенных и органических соединений не всегда пропорционален водному стоку, так как подвержен антропогенному влиянию сравнительно больше, чем ионный сток, но в отличие от последнего составляет заметно меньшую долю суммарного стока растворенных веществ.

Данные о диапазонах и среднемноголетних объемах химического стока в Азовское море через исследуемые рукава дельты (рук. Кубань – г. Темрюк и рук. Протока – х. Слободка) приведены в табл. 2. Сравнительный анализ полученных данных показал, что по многим компонентам химического стока выносимые объемы растворенных веществ через дельтовые рукава имеют близкие значения, особенно по объемам стока сульфатов (602 и 633 тыс. т/год через рук. Кубань и рук. Протока соответственно), органических веществ (137 и 138 тыс. т/год) и биогенных элементов. Наибольшие различия на 20–22% наблюдаются по объемам стока хлоридов (153 и 193 тыс. т/год), соединений железа (0,36 и 0,45 тыс. т/год) и меди (0,007 и 0,009 тыс. т/год).

Таблица 2

Изменчивость объемов стока растворенных веществ по основным дельтовым рукавам реки Кубани за 2008–2018 гг.

Компонент химического состава воды	Объем химического стока (тыс. т/год)				Относительные изменения средних значений, %
	рук. Кубань – г. Темрюк		рук. Протока – х. Слободка		
	Диапазон значений	Среднее значение	Диапазон значений	Среднее значение	
Cl ⁻	127,2–187,3	152,6	142,0–269,5	192,6	+20,8
SO ₄ ²⁻	483,3–812,8	602,4	508,0–832,1	633,2	+4,9
ОВ (по ХПК)	109,2–199,7	137,2	109,1–190,4	137,8	+0,4
ЛООВ (по БПК ₅)	6,18–10,43	7,75	6,14–10,28	7,55	–2,6
NH ₄ ⁺	0,46–0,76	0,63	0,49–0,66	0,55	–14,5
NO ₂ ⁻	0,049–0,099	0,069	0,053–0,111	0,077	+10,4
NO ₃ ⁻	10,76–22,93	13,95	11,58–23,62	14,67	+4,9
Fe ²⁺ и Fe ³⁺	0,23–0,70	0,36	0,28–0,81	0,45	+20,0
Cu ²⁺	0,006–0,011	0,007	0,006–0,014	0,009	+22,2
Zn ²⁺	0,025–0,043	0,033	0,030–0,052	0,036	+8,3
Фенолы	0,005–0,009	0,007	0,006–0,011	0,008	+12,5
Нефтепродукты	0,27–0,41	0,33	0,30–0,59	0,41	+19,5

Примечание. ОВ – органическое вещество; ЛООВ – легкоокисляемое органическое вещество.

Такие результаты вполне ожидаемы, поскольку среднемноголетние значения водного стока в рукавах практически идентичны (5,3 км³/год – рук. Кубань и 5,2 км³/год – рук. Протока). Но более высокие значения объемов стока растворенных веществ получены для рук. Протока, который несколько уступает в водности рук. Кубань, и поэтому обусловлены большими различиями в значениях среднемноголетних концентраций химических веществ.

Во временной изменчивости объемов химического стока отмечена их высокая зависимость от водного стока (рис. 4). Незначительные расхождения в графиках изменчивости среднегодовых объемов стока выявлены для рук. Протока по стоку хлори-

дов и соединений железа. При рассмотрении стока соединений металлов важно учитывать соотношение форм миграции элементов. В дельте Кубани миграция железа происходит преимущественно во взвешенной форме, а для меди и цинка отмечается увеличение растворенных форм металлов [Ткаченко и др., 2017].

Сезонное распределение объемов стока растворенных веществ по исследуемым рукавам дельты Кубани также соответствует изменению их водности в основные сезоны года (табл. 3). С одной стороны, это подтверждает, что основной вклад в изменчивость химического стока вносят водность и содержание веществ в речной воде, а с другой –

показывает отсутствие значимого негативного воздействия в дельте Кубани. Как было показано ранее, по длине реки происходит заметная трансформация химического стока, и по течению р. Кубани в наи-

больших объемах транспортируются органические вещества, соединения железа и нефтепродукты [Никаноров и др., 2013] с последующим их снижением к устью реки.

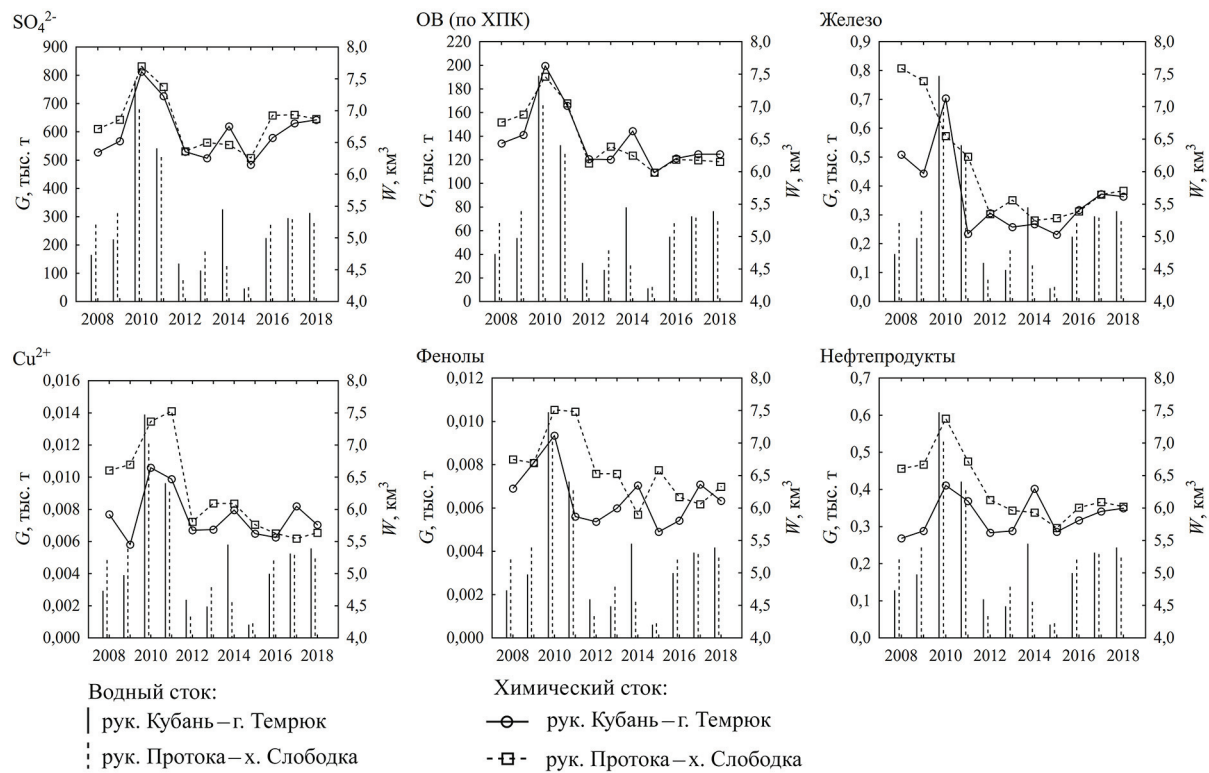


Рис. 4. Временная изменчивость водного стока (*W*) и среднегодовых значений объемов химического стока (*G*) в основных дельтовых рукавах р. Кубани

Fig. 4. Temporal variability of water runoff (*W*) and average annual volume of chemical runoff (*G*) in the main branches of the Kuban River delta

Таблица 3
Сезонное распределение объемов стока растворенных веществ по основным дельтовым рукавам реки Кубани за 2008–2018 гг.

Компонент химического стока	Объем химического стока, тыс. т							
	рук. Кубань – г. Темрюк				рук. Протока – х. Слободка			
	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
Водный сток, км ³	1,12	1,60	1,58	0,97	1,04	1,53	1,64	0,99
Cl ⁻	32,5	46,5	46,3	27,3	38,1	59,3	59,6	35,6
ОВ (по ХПК)	25,0	39,1	45,9	27,2	22,9	38,0	49,0	27,9
ЛООВ (по БПК ₅)	1,41	2,19	2,63	1,52	1,30	2,07	2,64	1,54
NH ₄ ⁺	0,10	0,21	0,20	0,12	0,08	0,14	0,21	0,12
NO ₂ ⁻	0,012	0,021	0,023	0,013	0,013	0,021	0,028	0,015
Cu ²⁺	0,001	0,002	0,003	0,001	0,002	0,003	0,003	0,001
Zn ²⁺	0,007	0,010	0,010	0,006	0,007	0,011	0,011	0,007
Фенолы	0,0009	0,0020	0,0029	0,0012	0,0013	0,0024	0,0027	0,0015
Нефтепродукты	0,07	0,10	0,10	0,06	0,07	0,12	0,14	0,08

ВЫВОДЫ

Для р. Кубани формирование стока растворенных химических веществ происходит в специфических природно-климатических условиях, таких как засушливый климат, разнообразие форм рельефа (наличие горной или равнинной части водосбора, высотной зональности) и дренируемых горных пород и почв, а также в условиях высокой антропогенной нагрузки и низкой водообеспеченности территории.

Результаты проведенных исследований по расчету химического стока по основным рукавам дельты Кубани (рук. Протока и рук. Кубань) и анализу его изменчивости за период с 2008 по 2018 г. позволили сделать ряд выводов.

Изменчивость химического стока реки отражает естественные и антропогенные факторы воздействия на различных участках водотока и в большей степени зависит от химического состава и водности реки. Нарушение этой естественной зависимости будет указывать на влияние различных факторов. За период исследования (2008–2018) происходили разнонаправленные изменения в ионном составе и содержании биогенных элементов. Содержание хлоридов было стабильно в воде рук. Кубань, а в рук. Протока происходило снижение среднегодовых концентраций. Выявлено синхронное увеличение в водах основных дельтовых рукавов концентраций сульфатов и азота аммонийного. Содержание нитратов и нитритов в воде рук. Кубань практически не менялось, а в рук. Протока по данным показателям выявлено снижение их среднегодовых концентраций. Тренд на снижение концентраций выявлен для органических веществ и соединений железа, что связано, скорее всего, со снижением водности реки. По остальным показателям четких тенденций не установлено.

Химический состав воды в дельтовых рукавах р. Кубани практически одинаковый, а наибольшие различия наблюдаются по концентрациям в воде хлоридов (21,9%), соединений железа (22,2%), нефтепродуктов (25,0%) и соединений меди (50,0%). При этом максимальная кратность превышения ПДК по всем компонентам невысокая, формируется низкий уровень загрязненности воды.

Показано, что основная составляющая химического стока – ионный сток (сток хлоридов и сульфатов) взаимосвязан с водностью реки. Сток биогенных и органических соединений также пропорционален водному стоку, но в отличие от последнего составляет заметно меньшую долю общего стока растворенных веществ. Сравнение химического стока, распределенного по исследуемым дельтовым рукавам, показало, что выносимые объемы имеют близкие значения, особенно по стоку сульфатов, органических веществ и биогенных элементов. Наибольшие различия на 20–22% наблюдаются по объемам стока хлоридов, соединений железа и меди.

Таким образом, выявленные особенности изменчивости химического стока по рукавам дельты Кубани и тенденции его изменчивости имеют большую практическую значимость и актуальность в современных условиях климатических изменений и антропогенного воздействия. Полученные данные могут быть использованы для прогнозных оценок выноса химических веществ в прибрежные зоны Азовского моря, а также при разработке экологически обоснованных рекомендаций по управлению водными ресурсами в дельте реки и в бассейне р. Кубани в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Брызгалов В.А., Никаноров А.М., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Устьевые экосистемы крупных рек России: антропогенная нагрузка и экологическое состояние. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального ун-та, 2015. 164 с.
- Брызгалов В.А., Никаноров А.М., Решетняк О.С. Изменчивость экологического состояния речных зон устьевых экосистем крупных рек России // Вода: химия и экология. 2013. № 12. С. 15–21.
- Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / под ред. В.Н. Михайлова, Д.В. Магрицкого, А.А. Иванова. М.: ГЕОС, 2010. 728 с.
- Гидрология: учебник для вузов / под ред. В.Н. Михайлова, С.А. Добролюбова. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2017. 752 с.
- Заславская М.Б., Ефимова Л.Е. Сезонная изменчивость стока растворенных веществ в арктические моря России / Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Ч. 1: Ростов-на-Дону, 8–10 сентября 2015 г. Ростов н/Д., 2015. С. 44–48.
- Коротаев В.Н., Бабич Д.Б., Михайлов В.Н. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы. Геоморфология и прогноз развития. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.
- Лурье П.М., Панов В.Д., Ткаченко Ю.Ю. Река Кубань: гидрография и режим стока. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 498 с.
- Магрицкий Д.В., Иванов А.А. Водный баланс дельты р. Кубань и его многолетние изменения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2008. № 5. С. 59–67.
- Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
- Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Динамика притока растворенных химических веществ и антропогенная нагрузка на устьевую область

- р. Кубань // Вода: химия и экология. 2011. № 9. С. 9–16.
- Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области // Водные ресурсы. 2010. № 4. С. 434–444.
- Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. Антропогенная трансформация экологического состояния и транспорт загрязняющих веществ по длине реки Кубани // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2013. № 2. С. 108–118.
- РД 52.24.643–2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 49 с.
- Сорокина В.В., Ивлиева О.В., Лурье П.М. Динамика стока на устьевых участках рек Дон и Кубань во второй половине XX века // Вестник Южного научного центра РАН. 2006. Т. 2. № 2. С. 58–67.
- Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Кубань. Кн. 2: Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речного бассейна. Краснодар: Кубанское бассейновое водное управление, 2014. 133 с.
- Ткаченко А.Н., Ткаченко О.В., Лычагин М.Ю. Потоки тяжелых металлов в аквальных системах дельты Дона и Кубани // Доклады Академии наук. 2017. Т. 474. № 2. С. 234–237.
- Электронные ресурсы*
- АИС ГМВО. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов: URL: <https://gmvo.sknivh.ru/> (дата обращения 09.01.2021).
- Водно-болотные угодья России. URL: <http://www.fesk.ru/wetlands/5.html> (дата обращения 24.01.2021).
- Kuban Delta: Group of limans between Kuban & Protoka Rivers: URL: <https://rsis.ramsar.org/ris/674> (дата обращения 24.01.2021).

Поступила в редакцию 22.03.2021

После доработки 14.12.2021

Принята к публикации 27.06.2022

INTERANNUAL AND SEASONAL VARIABILITY OF CHEMICAL RUNOFF ALONG THE MAIN DELTA BRANCHES OF THE KUBAN RIVER

O.S. Reshetnyak¹, R.S. Komarov²

^{1,2} Southern Federal University, Institute of Earth Sciences,
Department of Geoecology and Applied Geochemistry

¹ Hydrochemical Institute, Laboratory of remote and chemical-biological methods of monitoring
the state and pollution of water bodies, Senior Scientific Researcher

² Hydrochemical Institute, Laboratory of experimental hydrochemistry, Junior Scientific Researcher

¹ Associate Professor, Ph.D. in Geography; e-mail: olgarel@mail.ru

² Post-graduate student; e-mail: komarovroman128@yandex.ru

The long-term interannual and seasonal variability of the chemical runoff along the main branches of the Kuban River delta was investigated. We analyzed the data of systematic observations on water runoff and the concentrations of the main ions, biogenic and organic substances, phenols, oil products and heavy metals for the period from 2008 to 2018. The annual and seasonal runoff of dissolved chemicals in the main branches of the Kuban River delta, i. e. the Protoka branch and the Kuban branch, was calculated. The chemical composition of water in the main branches of the Kuban River delta is practically the same, and the greatest differences are characteristic of the concentrations of chlorides, iron compounds, copper and oil products. Multidirectional trends of changes in the ionic composition and content of biogenic elements were revealed. There was a synchronous increase in the concentration of sulphates and ammonium nitrogen in both deltaic branches of the Kuban River; the content of nitrates and nitrites in the Kuban branch practically did not change, while it was decreasing in the Protoka branch. At the same time, the maximum frequency of exceeding the MPC for all components is rather low, and a low level of water pollution is typical. The chemical runoff along the delta branches is rather similar, especially in terms of the runoff of sulphates, organic substances and biogenic elements. The greatest differences by 20–22% are observed in the runoff of chlorides, iron and copper compounds. It is shown that the runoff of chlorides and sulphates, as well as biogenic and organic substances, is interconnected with water runoff. In general, the distribution of chemical runoff along the delta branches is uniform, its seasonal variability corresponds to changes in water amount during the principal seasons, while some differences are observed only for chlorides and iron compounds. Under actual climatic changes and anthropogenic impact, the revealed features and trends of variability of chemical runoff along the main branches of the Kuban River delta are of great practical importance. The data obtained can be used for predictive estimates of the removal of chemicals into the coastal zone of the Sea of Azov.

Keywords: water runoff, chemical composition, dissolved substances, chemical runoff, main delta branches, Kuban River, Sea of Azov

REFERENCES

- Bryzgalo V.A., Nikanorov A.M., Kosmenko L.S., Reshetnyak O.S. *Ust'evye ekosistemy krupnykh rek Rossii: antropogennaya nagruzka i ekologicheskoe sostoyanie* [Estuarine ecosystems of major rivers in Russia: anthropogenic load and ecological state], Rostov-on-Don, Southern Federal University Press, 2015, 164 p. (In Russian)
- Bryzgalo V.A., Nikanorov A.M., Reshetnyak O.S. *Izmenchivost' ekologicheskogo sostoyaniya rechnykh zon ust'evykh ekosistem krupnykh rek Rossii* [Ecological state variability of mouth ecosystems of big rivers of Russia], *Voda: khimiya i ekologiya*, 2013, no. 12, p. 15–21. (In Russian)
- Gidrologiya del'ty i ust'evogo vzmor'ya Kubani* [Hydrology of the delta and estuarine coast of the Kuban River], V.N. Mikhailov, D.V. Magritsky, A.A. Ivanov (eds.), Moscow, GEOS, 2010, 728 p. (In Russian)
- Gidrologiya: uchebnik dlya vuzov* [Hydrology: textbook for universities], V.N. Mikhailov, S.A. Dobrolyubov (eds.), Moscow, Berlin, Direct Media, 2017, 752 p. (In Russian)
- Korotaev V.N., Babich D.B., Mikhailov V.N. *Estuarno-del'tovye sistemy Rossii i Kitaya: gidrologo-morfologicheskie protsessy. Geomorfologiya i prognoz razvitiya* [Estuarine-deltaic systems of Russia and China: hydrological-morphological processes, geomorphology and forecast of evolution], Moscow, GEOS, 2007, 445 p. (In Russian)
- Lurie P.M., Panov V.D., Tkachenko Yu.Yu. *Reka Kuban': gidrografiya i rezhim stoka* [The Kuban River: hydrography and flow regime], St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2005, 498 p. (In Russian)
- Magritsky D.V., Ivanov A.A. *Vodnyi balans del'ty r. Kuban' i ego mnogoletnie izmeneniya* [Water balance of the Kuban River delta and its long-term fluctuations], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2008, no. 5, p. 59–67. (In Russian)
- Mikhailov V.N. *Ust'ya rek Rossii i sopredel'nykh stran: proshloe, nastoyashchee i budushchee* [Estuaries of rivers in Russia and neighboring countries: past, present and future], Moscow, GEOS, 1997, 413 p. (In Russian)
- Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu. *Dinamika pritoka rastvorenykh khimicheskikh veshchestv i antropogennaya nagruzka na ust'evuyu oblast' r. Kuban'* [Dynamics of chemical substance inflow and anthropogenic load on the Kuban River mouth area], *Voda: khimiya i ekologiya*, 2011, no. 9, p. 9–16. (In Russian)
- Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A., Kosmenko L.S., Reshetnyak O.S. *Rol' khimicheskogo rechnogo stoka v antropogennoi transformatsii sostoyaniya vodnoi sredy Eniseiskoi ust'evoi oblasti* [The role of chemical river runoff in the anthropogenic transformation of the state of the aquatic environment in the Enisei River mouth area], *Vodnye resursy*, 2010, no. 4, p. 434–444. (In Russian)
- Nikanorov A.M., Bryzgalo V.A., Reshetnyak O.S., Kosmenko L.S., Kondakova M.Yu. *Antropogennaya transformatsiya ekologicheskogo sostoyaniya i transport zagryaznyayushchikh veshchestv po dline reki Kubani* [Anthropogenic transformation of the ecological state and pollutants' transport along the Kuban River], *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie*, 2013, no. 2, p. 108–118. (In Russian)
- RD 52.24.643–2002. *Metodicheskie ukazaniya. Metod kompleksnoi otsenki stepeni zagryaznenosti poverkhnostnykh vod sushi po gidrokhimicheskim pokazatelyam* [Guidance document 52.24.643–2002. Methodological guidelines. A method for complex assessment of the degree of contamination of land surface waters by hydrochemical indicators], St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2003, 49 p. (In Russian)
- Skhema kompleksnogo ispol'zovaniya i okhrany vodnykh ob'ektov basseina reki Kuban', kn. 2, Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya i klyuchevye problemy rechnogo basseina* [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Kuban River basin, book 2, Assessment of the ecological state and key problems of the river basin], Krasnodar, Kuban Basin Water Management, 2014, 133 p. (In Russian)
- Sorokina V.V., Ivlieva O.V., Lurie P.M. *Dinamika stoka na ust'evykh uchastkakh rek Don i Kuban' vo vtoroi polovine XX veka* [River flow alteration within the mouth areas of the Don and Kuban rivers in the second half of the 20th century], *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN*, 2006, vol. 2, no. 2, p. 58–67. (In Russian)
- Tkachenko A.N., Tkachenko O.V., Lychagin M.Yu. *Potoki tyazhelykh metallov v akval'nykh sistemakh del't Dona i Kubani* [Fluxes of heavy metals in the aquatic systems of the Don and Kuban River deltas], *Doklady Akademii nauk*, 2017, vol. 474, no. 2, p. 234–237. (In Russian)
- Zaslavskaya M.B., Efimova L.E. [Seasonal variability of dissolved-solid yield in the Arctic seas of Russia], *Materialy nauchnoy konferencii "Sovremennye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod"* [Proceedings of the Scientific conference "Modern problems of hydrochemistry and surface water quality monitoring"], 2015, pt. 1, p. 44–48. (In Russian)
- Web sources*
- AIS GMVO. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob'ektov* [Automated Information System for State Monitoring of Water bodies], URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (access date 09.01.2021). (In Russian)
- Kuban River Delta: Group of limans between Kuban & Protoka rivers, URL: <https://rsis.ramsar.org/ris/674> (access date 24.01.2021).
- Vodno-bolotnye ugodiya Rossii* [Wetlands of Russia], URL: <http://www.fesk.ru/wetlands/5.html> (access date 24.01.2021). (In Russian)

Received 22.03.2021

Revised 14.12.2021

Accepted 27.06.2022

ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ БАССЕЙНОВ НА УДЕЛЬНЫЙ МЕЖЕННЫЙ СТОК МАЛЫХ РЕК НА СЕВЕРЕ И ЮГЕ ЧУКОТКИ

О.Д. Трегубов¹, В.Ю. Разживин², В.В. Шамов³, Л.С. Лебедева⁴

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт имени Н.А. Шило ДВО РАН, вед. науч. сотр., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: tregubov2@yandex.ru

²Ботанический институт имени В.Л. Комарова РАН, ст. науч. сотр., канд. биол. наук; e-mail: volodyar@binran.ru

³Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, гл. науч. сотр., д-р геогр. наук; e-mail: vlshamov@yandex.ru

⁴Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН, ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: lyudmilaslebedeva@gmail.com

Статья посвящена анализу ландшафтных факторов, определяющих сток малых рек Арктики и Субарктики крайнего северо-востока Азии. В работе рассматриваются гидрография, структура мерзлотных ландшафтов и их гидрохимическая характеристика, пространственная динамика меженного стока в бассейнах рек Угольная-Дионисия и Янранайваам. Установлено, что устойчивое питание рек обусловлено соотношением ландшафтов, генерирующих и депонирующих надмерзлотный сток: арктических гольцовых щебнистых кустарничковых тундр, равнинных кочкарных тундр и бугорковых болот. Меженный сток в пределах 20–50 л/(с·км²) типичен для истоков рек, в склоновых отложениях которых тают сезонные гольцовые льды и образуются конденсационные воды. На пологих склонах тундровых увалов талые воды внутригрунтовых почвенных сезонных льдов обеспечивают удельный сток в пределах 10–20 л/(с·км²). Депонируют надмерзлотные воды верховые и низинные болота, где их сток составляет менее 10 л/(с·км²). На примере двух водосборных бассейнов показано, что существенное уменьшение количества осадков на севере Чукотки практически целиком компенсируется образованием конденсационных вод. При этом внутригрунтовые сезонные инфильтрационные почвенные льды замещаются в арктических ландшафтах инфильтрационно-конденсационными гольцовыми льдами, талые воды которых восполняют потери поверхностного стока.

Ключевые слова: мерзлотные ландшафты, надмерзлотные воды, водный баланс малых рек, потепление климата

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.9

ВВЕДЕНИЕ

Воздействие флуктуаций климата на сток рек в криолитозоне осложняется криогенными процессами [Walvoord et al., 2016]. Усиление надмерзлотного стока происходит за счет таяния подземных льдов, увеличения мощности надмерзлотного водоносного горизонта на склонах и в таликах [Liljedahl et al., 2016]. Критическое повышение количества осадков приведет к переувлажнению мерзлотных почв, которое замедляет рост глубины сезонного протаивания [Park et al., 2012]. Гидрологическая роль мерзлотных ландшафтов отражена в целом ряде российских публикаций [Тепловодообмен..., 2007; Лебедева и др., 2019; Василенко, 2013; Нестерова и др., 2018; Губарева и др., 2018; Гагаринова, 2012]. Описан процесс образования внутригрунтового льда в толще крупнообломочных склоновых отложений Колымского нагорья [Банцекина, Михайлов, 2009]. В работе О.Д. Трегубова с соавторами [2021] рассмотрены суточные циклы показателей речного стока и температуры, связанные с образованием конденсационных и

талых вод подземных льдов. По данным И.Т. Рейнюка (1959), конденсация водяных паров воздуха в грубообломочных отложениях в бассейне Колымы достигает 80 мм/год. Работы В.В. Климочкина [1975] и В.В. Шепелева [2011] свидетельствуют о значительной доле конденсационных вод в питании водоносных горизонтов в некоторых районах Центральной Якутии. Годовой объем конденсационных вод в стоке якутских рек изменяется от 15 до 50 мм [Банцекина и др., 2009]. Для большинства рек Западной Чукотки в последние годы выявлено увеличение стока за счет активизации таяния многолетних снежников, гольцового льда и других типов льдов в каменных глетчерах и иных крупнообломочных образованиях [Глотов, Ушаков, 2020].

Исследовать результат этих криогенных процессов можно путем комплексного сравнительного анализа ландшафтной структуры и пространственной динамики поверхностного стока на двух типичных речных водосборах, расположенных в различных природно-климатических и геокриологических условиях.

Цель настоящей работы – установить характер и степень влияния ландшафтных факторов на формирование стока малых рек в условиях субарктического и арктического морского климатов. Основное внимание работы сосредоточено на изучении сходства и различий климата, ландшафтов и криогенных процессов в двух типичных речных бассейнах, расположенных в пределах Анадырской и Чаунской низменностей.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В отличие от горных районов в низменностях прослеживается природная широтная зональность, в том числе мерзлотно-климатических условий. Климат на большей части Анадырской низменности – субарктический морской [Чукотка..., 1995]. Среднегодовая температура по данным метеостанции Анадырь за период с 1981 по 2010 г. равна -5°C ¹. Осадков выпадает в среднем 382 мм в год, из них более половины зимой. По данным Росгидромета с 1976 по 2016 г. среднегодовая температура воздуха повысилась на $2,2^{\circ}\text{C}$, годовая сумма осадков – на 66 мм. Мощность сплошной многолетней мерзлоты с севера на юг уменьшается от 300 до 50 м, в южных районах Чукотки она становится прерывистой. Температура мерзлых грунтов на подошве слоя годового теплооборота уменьшается с севера на юг от $-7,1$ до -1°C . Глубина сезонного протаивания изменяется от 0,45–0,60 м на пологих склонах тундровых увалов до 0,60–1,5 м на склонах гор и в поймах рек [Трегубов, 2017]. Анадырская низменность представляет собой равнину с отметками высот в диапазоне 2–150 м, расчлененную и обрамленную по краям горными сооружениями, отдельными горными поднятиями в виде кряжей и хребтов. Для рек типично весеннее половодье, прерывистый летне-осенний паводок и длительная устойчивая зимняя межень.

Климат северной части Чаунской низменности – арктический морской. Среднегодовая температура по данным метеостанции Певек за период с 1981 по 2010 г. составила $-9,8^{\circ}\text{C}$. Осадков выпадает 146 мм в год, примерно поровну в холодный и теплый периоды года. С 1976 по 2016 г. среднегодовая температура воздуха здесь повысилась на $3,2^{\circ}\text{C}$, а годовая сумма осадков уменьшилась на 87 мм. Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) уменьшается от горного обрамления низменности к побережью Чаунской губы от 400 до 160 м [Чукотка..., 1995]. Температура ММП изменяется от $-7,5$ до -5°C . Мощность сезонно-талого слоя (СТС) на задернованных склонах равна 0,4–0,6 м и увеличивается до 1,5 м

на делювиальных осыпях и в поймах рек. В геоморфологическом отношении низменность представляет собой осушенную часть Чаунской губы, окруженную горами Чукотского нагорья и Анадырского плоскогорья. Реки здесь характеризуются весенне-летним половодьем, примерно равными ему по стоку летне-осенними паводками и устойчивой зимней меженью.

Основными объектами являются реки Угольная-Дионисия и Янранайваам (рис. 1).

Река Угольная-Дионисия в 15 км к западу от г. Анадыря впадает в Анадырский лиман. Длина реки – 24 км, площадь водосбора – 96 км², отметки высот водораздельной линии находятся в пределах 110–580 м абс., уреза воды – от 180 м в истоках до 2,5 м в устье.

Река Янранайваам берет начало на западных отрогах Шелагского хребта, наибольшая высота которого составляет 710 м (г. Туманная). Длина реки составляет 17 км, площадь водосбора – 85,7 км². В нижнем течении реки долина приобретает V-образный поперечный профиль, образованный склонами двух сопков высотой 300 и 360 м. Отметки уреза воды снижаются от 180 в истоках до 0 м абс. в устье.

Полевые исследования проведены на р. Угольная-Дионисия и Янранайваам в начале летней межени – с 1 по 10 июля в 2019 и 2020 гг. соответственно. На этот период приходится наибольшая скорость протаивания деятельного слоя, таяние сезонных льдов, начало внутригрунтовой конденсации, максимум вегетации растительности. Переход от половодья к летней межени позволяет отследить смену источников питания рек. Безусловно, краткосрочные исследования не могут заменить многолетние наблюдения на гидрологических постах, однако детальность и комплексность наблюдений в бассейнах малых рек позволяют получить данные о механизмах формирования стока, которые далеко не всегда обеспечиваются стандартными режимными наблюдениями.

В 2019 г. в пределах Анадырской низменности и в 2020 г. в Чаунской низменности погода мало отличалась от многолетних ее характеристик. Среднесуточная температура во время полевых работ 2019 г. в бассейне р. Угольная-Дионисия составила $12,1^{\circ}\text{C}$, сплошной снежный покров сошел за две недели до начала наблюдений, за это время выпало 5,9 мм жидких осадков, а в течение 10 дней полевых наблюдений – 1,5 мм. В окрестностях г. Певек снежный покров полностью стаял к началу третьей декады июня 2020 г. С 1 по 10 июля 2020 г. среднесуточная температура составила здесь $12,3^{\circ}\text{C}$, при этом выпало 4,9 мм осадков. Гидрологические условия в регионе в эти годы по данным наблюдений на ближайших гидрологических постах также близ-

¹ Здесь и далее информация по климату взята на сайте Гидрометцентра России: <https://meteoinfo.ru/>.

ки к норме, превышения критических паводковых уровней не наблюдалось.

Основным методом исследований авторов была маршрутная мерзлотно-гидрологическая съемка, включающая измерения мощности и влажности оттаявших горизонтов почвы, описание структуры растительного покрова, экзогенно-криогенных процессов и поверхностного стока на выбранных

участках водосборов. На участках с типичными или специфичными проявлениями ландшафтных условий в шурфах глубиной 0,5 м изучалось строение деятельного слоя. В местах впадения основных притоков производились измерения расходов и отбирались пробы воды (рис. 2). Общая плотность пунктов наблюдений соответствовала масштабу 1:50 000 (2, 3 точки на 1 км²).

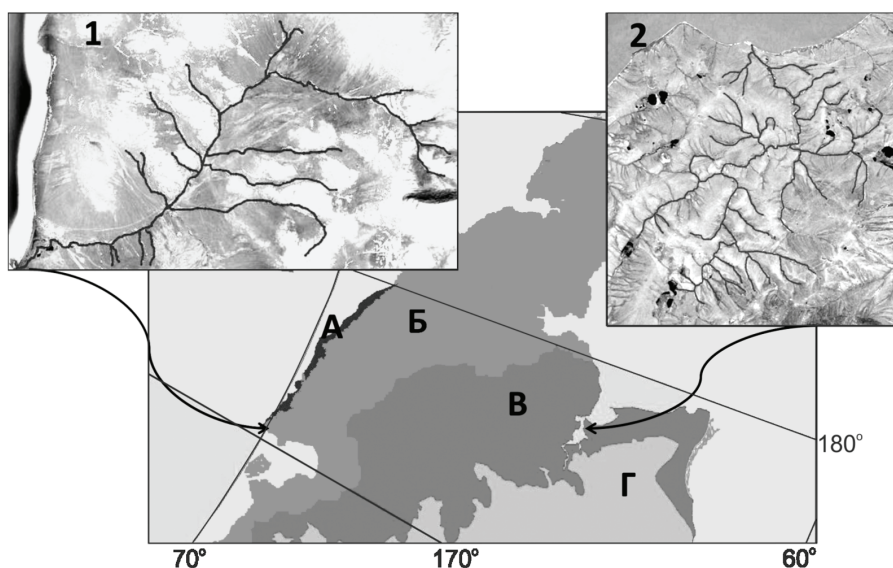


Рис. 1. Район и объекты исследований:

А – арктические тундры; Б – гипоарктические (субарктические) тундры; В – кустарниковые тундры; Г – лиственничные редколесья и кедровые стланики [Elvebakk et al., 1999; CAVM team, 2003]. На врезках бассейны рек: 1 – Янранайваам; 2 – Угольная-Дионисия

Fig. 1. Study area and objects:

А – Arctic tundra; Б – hypoarctic (subarctic) tundra; В – shrub tundra; Г – larch woodlands and cedar scrub [Elvebakk et al., 1999; CAVM team, 2003]. Insets, the basins of the rivers: 1 – Yanranaivaam; 2 – Dionisiya-Ugolnaya

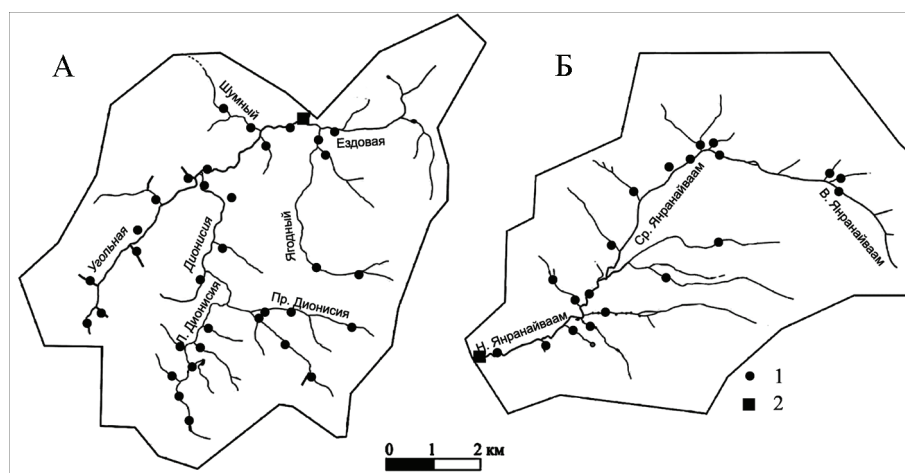


Рис. 2. Схемы опробования и гидрологических наблюдений в бассейнах Угольная-Дионисия (А) и Янранайваам (Б): 1 – точки разовых гидрологических наблюдений; 2 – точки режимных гидрологических наблюдений (замыкающие створы)

Fig. 2. Schemes of sampling and hydrological observations in the Ugolnaya-Dionisiya (A) and Yanranaivaam (B) river basins: 1 – sites of one-time hydrological observations; 2 – hydrological monitoring observation sites (main-stream stations)

Параллельно площадным работам в замыкающих створах обеих рек проводились измерения стока четыре раза в сутки с отбором проб воды и ежечасные измерения уровня воды. В ходе съемок и режимных наблюдений измерялись температура, электропроводность и pH воды, температура и влажность почв. При этом использовались вертушки «Поток-мкр ГР-100» и «Поток ГР21М»; влагомер «ТК100-01»; портативные кондуктометр СОМ-80 и pH-метр КЛ-911; цифровые логгеры НОВО ONSSET – измерители уровней U20L-04, температуры U23-003 и влажности почв U23-002; а также металлический шуп 5×1200 мм и труба для отбора керна 32×1000 мм.

Для индикации условий формирования надмерзлотного стока в работе использовались гидрохимические данные. Всего было отобрано 104 пробы. В нефльтрованной пробе потенциометрическим титрованием определялось содержание гидрокарбонат-иона. После фильтрования в Центре ландшафтной экодиагностики и ГИС-технологий Тихоокеанского института географии ДВО РАН определяли содержание главных ионов (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), общего железа (Fe) и растворенного органического углерода (РОУ) в воде.

Для пространственного моделирования применялся метод интерполяции Kriging пакета Golden Software Surfer. Пункты определений модуля стока, минерализации, концентрации ионов выносились в центры соответствующих водосборов на топографических картах в системе местных прямоугольных координат. При исследовании рельефа и составлении картосхемы мерзлотных ландшафтов использовались топографические карты масштабов 1:100 000–1:25 000, цифровые модели рельефа Arctic DEM, спутниковые снимки Google Earth [<https://www.google.com/earth>].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для обоих речных бассейнов характерен древовидный рисунок гидрографической сети (см. рис. 1, 2): р. Дионисия имеет полигональный решетчатый рисунок, р. Угольная – перистый, а р. Ездоя – центробежные и дугообразные формы. В верховье р. Янранайваам по периметру чашеобразного расширения долины наблюдается веерообразный рисунок речной сети, ниже по левому борту долины рисунок речной сети ветвящийся, по правому борту – параллельный, что определяется геологическим строением и палеогеографией исследуемых бассейнов.

Главное геоморфологическое отличие бассейна р. Янранайваам – преобладание здесь денудации и обнажений горных пород: в ее верхнем и среднем течении вершины и крутые горные склоны занимают 26,2% площади водосбора, а на долю коллюви-

ально-делювиальных горных подножий приходится 18,1%. В бассейне р. Угольная-Дионисия осыпные с делювием склоны занимают менее 5% площади.

Соотношение площадей с преобладанием криогенных и посткриогенных процессов обратное: пологие склоны, покрытые чехлом четвертичных водно-ледниковых, морских и озерно-аллювиальных осадков в долине р. Угольная-Дионисия занимают 86,8%, а в бассейне Янранайваам – 25,2%.

В бассейне р. Угольная-Дионисия доминирующими и структурообразующими являются кочкарные кустарничковые мохово-пушицевые тундры (68% площади) (рис. 3А). В бассейне Янранайваам преобладают гольцы – 40,9%, пятнистые мохово-кустарничковые тундры – 32,5%, подгольцовые разнотравные мохово-кустарничковые тундры верхнего течения – 12,8% (см. рис. 3Б). Более 3% водосбора р. Угольная-Дионисия в горных истоках занимают ольховники. Доля водосбора р. Янранайваам в сравнении с бассейном Угольная-Дионисия, занятая болотными ландшафтами (тундроболотами), существенно меньше: верховыми – в 6 раз, склоновыми – в 11 раз, низинными – в 6 раз. Доля пойменных ландшафтов, наоборот, здесь по площади в два раза больше, чем в долине р. Угольная-Дионисия.

Для бассейна р. Янранайваам характерны меньшая сезонная льдистость, ограниченное распространение ПЖЛ, торфяных бугров пучения и термокарста, более интенсивное проявление морозобойного растрескивания и криотурбирования почв (табл.). Термоэрозия в обоих районах проявлена локально в супесчаной толще ледового комплекса. Меньшая степень задернованности горной части бассейна р. Янранайваам, широкое распространение крупнообломочных осыпей и более низкая температура ММП создают предпосылки для образования конденсационных вод.

В верховьях р. Угольная-Дионисия на контакте щебнистых тундр и ольховников в химическом составе надмерзлотных вод обнаружены нитраты в концентрациях 0,4–0,8 мг/л. Минерализация нейтральных (pH 6,8–7,0) гидрокарбонатных кальциевых вод изменяется от 20 до 60 мг/л. РОУ содержится в пределах 2–10 мг/л, концентрация общего железа – 0,10–0,25 мг/л. В условиях смешения поверхностных и подмерзлотных вод образуются нейтральные – слабощелочные (pH 7,2–7,4) гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 50–300 мг/л. Содержание в них РОУ составляет 2–4 мг/л, общего железа – менее 0,25 мг/л.

Для большей части площади распространения южных кочкарных тундр в бассейне р. Угольная-Дионисия характерны слабокислые до нейтральных (pH 5,0–6,6) хлоридно-гидрокарбонатные

магний-кальциевые воды с минерализацией 20–30 мг/л, содержанием РОУ – 12 мг/л, общего железа – 0,4–0,6 мг/л.

Верховые и низинные болота в наибольшей степени занимают верховья некоторых притоков и пойму р. Угольная-Дионисия в среднем течении (см. табл., рис. 3А). Здесь обнаруживаются слабокислые (рН 5–6) гидрокарбонатно-хлоридные магний-кальций-натриевые воды с минерализацией 6–12 мг/л. Сульфаты в этих водах не определены, содержание РОУ изменяется в пределах 10–17 мг/л, а железа достигает 1,8 мг/л.

В бассейне р. Янранайваам выходы подмерзлотных подземных вод обнаружены не были. В зоне распространения щебнистых тундр и лугов горных подножий верховья р. Янранайваам в гидрокарбонатных натриевых водах определены нитраты – до 1,6 мг/л, содержание РОУ при этом понижается до 1 мг/л, железа – до 0,01 мг/л. Там, где среди подгольцовых тундр и лугов горных подножий обнаруживаются участки кочкарных тундр, в водах, обогащенных нитратами, рН понижается до 6,4, концентрация РОУ повышается до 4 мг/л и железа – до 0,08 мг/л (см. рис. 3Б).

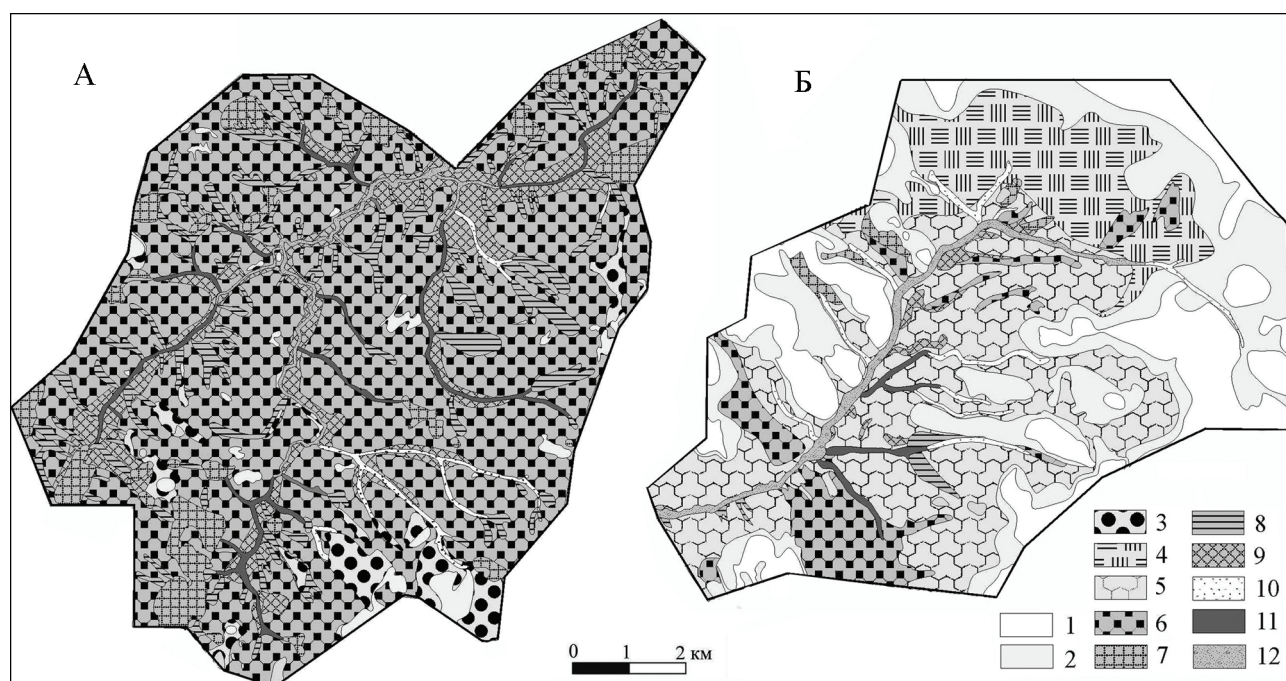


Рис. 3. Картосхемы мерзлотных ландшафтов водосборных бассейнов (вверх по течению от контрольного створа) рек Угольная-Дионисия (А) и Янранайваам (Б):

1 – гольцовые куртинные простратнокустарничковые тундры; 2 – щебнистые пятнистые простратнокустарничковые тундры; 3 – ольховники горных подножий, берегов озер и рек; 4 – подгольцовые кустарничковые тундры и луга в горных подножьях; 5 – сухие пятнистые арктотундры; 6 – увлажненные кочкарные южные тундры; 7 – мелкобугорковые верховые тундровые болота; 8 – грядово-мочажинные тундровые болота; 9 – низинные тундровые болота солифлюкционных террас; 10 – поймы ручьев с валунно-галечным руслом; 11 – поймы ручьев с торфяным и песчано-глинистым руслом; 12 – пойма реки с галечно-песчаным и песчаным руслом

Fig. 3. Maps of permafrost landscapes of the catchment basins (upstream the control section) of the Ugolnaya-Dionisiya River (A) and the Yanranaivaam River (B):

1 – char tundra mountains; 2 – gravelly – spotted low – growing shrubby mountain tundra; 3 – alder bushes of mountain foothills, lake and river banks; 4 – low – growing shrub tundra and meadows in mountain foothills; 5 – dry spotted arctotundra; 6 – moistened hummocky southern tundra; 7 – small-hummocky tundra upland swamps; 8 – ridge-pool tundra bogs; 9 – tundra lowland bogs of solifluction terraces; 10 – floodplains of streams with boulder-pebble beds; 11 – floodplains of streams with peat and sand-clay beds; 12 – river floodplain with a pebble-sand and sandy bed

По содержанию главных ионов в водах в нижнем течении по левому борту долины обособляется район, где на фоне сухих пятнистых арктических тундр выделяются крупные участки заболоченных кочкарных тундр (см. рис. 3Б, табл.). Для этого района

характерны слабокислые (рН 5,5–6,5), обогащенные РОУ (6–25 мг/л) хлоридно-гидрокарбонатные кальций-натриевые воды. Общее содержание растворенных веществ в пределах 20–40 мг/л, общего железа – от 1 до 10 мг/л.

Таблица
Сравнительный анализ структуры и характеристик мерзлотных ландшафтов бассейнов рек Угольная-Дионисия и Янранайваам

№	Ландшафт	Угольная-Дионисия				Янранайваам			
		Ld_s , %	Криогенные процессы и рельеф	Почвы, мощность СТС, подземные льды	S , %	Ld_s , %	Криогенные процессы и рельеф	Почвы, мощность СТС, подземные льды	S , %
1	Гольцовые тундры горных вершин и крутых склонов								
2	Щебнистые мохово-кустарничковые тундры на горных террасах и склонах	<20	Вымораживание, дели. Нивальный	Примитивные грубогумусные, 1–1,5 м. Гольцовые	3	<20	Вымораживание, дели. Нивальный	Примитивные грубогумусные, 1–1,5 м. Гольцовые	23,3
3	Ольховники горных подножий и берегов ручьев с мохово-кустарничково-разнотравным нижним ярусом	20–40	Вымораживание, дели, термоэрозия, термокарст. Структурный	Торфянистые, тундровые подбурсы, 0,5–1 м. Сегрегационные	4,2				
4	Подгольцовые разнотравные и мохово-кустарничковые тундры склонов и террас					20–40	Вымораживание, криотурбирование, солифлюкция. Нивальный	Арктотундровые, подбурсы, 0,4–1 м. Гольцовые	12,8
5	Сухие пятнистые мохово-кустарничковые арктотундры пологих склонов и террас					<20	Морозобойное растрескивание, криотурбирование. Трещинно-полигональный, медальонный	Арктотундровые, 0,4–0,8 м. Сегрегационные	32,5
6	Увлажненные кочкарные кустарничковые мохово-пушицевые тундры пологих склонов и террас	40–60	Солифлюкция, локально криотурбирование. Полигональный	Торфянистые, 0,5–0,6 м, сегрегационные, ПЖЛ	68	40–60	Солифлюкция, термоэрозия, термокарст. Остаточно-полигональный, термокарстовый	Торфянистые, 0,4–0,5 м, сегрегационные, ПЖЛ	8,3
7	Мелкобугристые кустарничковые мохово-осоковые верховые болота	80–90	Мерзлотное пучение, термокарст. Полигонально-жильный, западинно-бугристый	Торфяные, 0,4–0,5 м. Сегрегационные, ПЖЛ	6,2	60–80	Мерзлотное пучение, термокарст. Западинно-бугристый	Торфянистые, торфяные, 0,4–0,6 м. Сегрегационные, ПЖЛ	1
8	Грядово-мочажинные кустарничковые осоково-сфагновые тундроболота пологих склонов	60–80	Солифлюкция, термоэрозия. Грядово-мочажинный	Торфянистые, торфяные, 0,4–0,8 м. Сегрегационные	8,8	40–60	Солифлюкция, термоэрозия. Грядово-мочажинный	Торфянистые, торфяные, 0,4–0,8 м. Сегрегационные, ПЖЛ	0,8
9	Мелкобугристые ивовые осоково-сфагновые тундроболота низких террас	80–90	Мерзлотное пучение, термокарст. Полигонально-жильный, западинно-бугристый	Торфянистые, торфяные, 0,4–0,6. Сегрегационные, ПЖЛ	8	60–80	Мерзлотное пучение, термокарст, криотурбирование. Западинно-бугристый	Торфянистые, торфяные, 0,4–0,5. Сегрегационные, инъекционные	1,4

№	Ландшафт	Угольная-Дионисия				Янраайваам			
		Ld_s , %	Криогенные процессы и рельеф	Почвы, мощность СТС, подземные льды	S , %	Ld_s , %	Криогенные процессы и рельеф	Почвы, мощность СТС, подземные льды	S , %
10	Поймы ручьев с валунно-галечным руслом, с кустарниками и разнотравной растительностью	20–40	Курумы. Локально низовальный и наледный	Аллювиальные дерновые, 1–1,5 м. Погребенные наледы	0,1	<20	Курумы. Локально низовальный и наледный	Аллювиальные дерновые, 1–1,5 м. Погребенные наледы	0,4
11	Поймы ручьев с торфяным и песчано-глинистым руслом, с ивово-осоковой растительностью	60–80	Солифлюкция, мерзлотное пучение, термокарст. Термокарстовый, западинно-булгистый	Аллювиальные болотные, 0,4–1 м. Сегрегационные, ПЖЛ	1	40–60	Солифлюкция, термокарст, термоэрозия. Термокарстовый, западинно-булгистый	Аллювиальные болотные, 0,4–1 м. Сегрегационные, инъеционные	0,5
12	Пойма реки с галечно-песчаным и песчаным руслом с ивой, кустарничково-мохово-осоковой растительностью	20–80	Мерзлотное пучение, термокарст. Термокарстовый, западинно-булгистый	Аллювиальные лугово-болотные, 0,6–1,0 м. Инъеционные, ПЖЛ	0,7	20–60	Мерзлотное пучение, термокарст. Термокарстовый, западинно-булгистый	Аллювиальные лугово-болотные, 0,6–1,0 м. Инъеционные, погребенные наледы	1,4

Примечание. N – номер в условных обозначениях рис. 4; Ld_s – льдистость почв; S – доля проективного покрытия на картосхеме на рис. 3.

С 1 по 10 июля в 2019 и 2020 гг. по данным инструментальных гидрологических наблюдений отмечено 10-кратное падение расхода воды на контрольном створе обеих рек и практически равный модуль стока на начало летней межени (рис. 4). Как видно на графиках, величина и скорость уменьшения стока почти в два раза больше в бассейне р. Янранайваам. Здесь же отмечается локальное увеличение удельных расходов воды с 1 по 3 июня. Небольшой слой дождя (1–4 мм) не оказывает воздействие на сток и никак не проявляет себя в конце первой декады июля, что видно на графике (рис. 4Б).

Изменения стока притоков 1–3 порядков в пределах исследуемых бассейнов показаны с по-

мощью изолиний (рис. 5). На схемах достаточно уверенно можно выделить три зоны: 1) с модулем стока более 20 л/(с·км²), 2) от 10 до 20 л/(с·км²) и 3) менее 10 л/(с·км²). Для р. Угольная-Дионисия доли водосбора, занимаемые этими зонами, составляют соответственно 12,1, 38,1 и 49,8%. Первая зона соответствует площади распространения щебнистых мохово-кустарничковых тундр и ольховников, вторая – умеренно заболоченных кочкарных мохово-пушицевых тундр (см. рис. 3Б, 5Б), а третья приурочена к верховым и низинным тундроболотам. Диапазоны отметок рельефа в выделенных зонах соответственно – 100–400, 20–200 и 10–100 м абс.

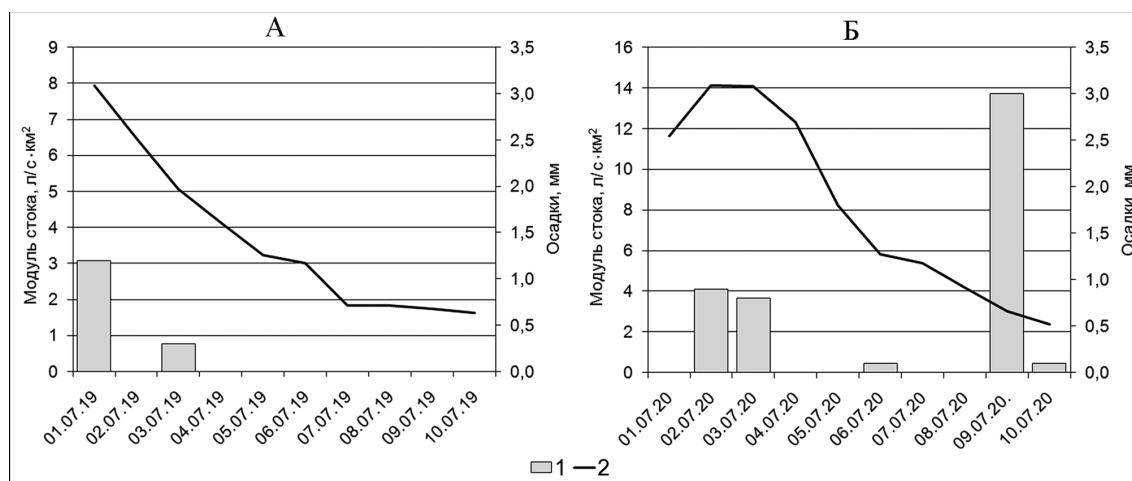


Рис. 4. Изменения стока рек Угольная-Дионисия (А) и Янранайваам (Б) в начале летней межени:

1 – суточное количество выпавших осадков; 2 – модуль стока, рассчитанный по расходу воды в замыкающем створе

Fig. 4. Changes in the specific flow of the Ugolnaya-Dionisiya (A) and Yanranaivaam (B) rivers at the beginning of summer low-water period: 1 – daily precipitation; 2 – specific discharge calculated according to water runoff at the main-stream station

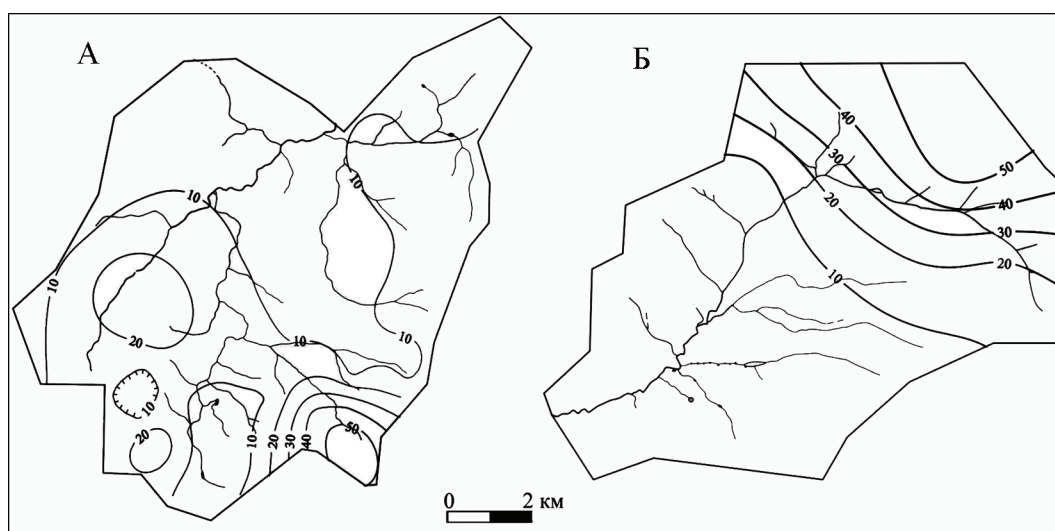


Рис. 5. Схемы изолиний модуля стока (л/(с·км²)) водотоков 1–3-го порядков в бассейнах р. Угольная-Дионисия (А) и р. Янранайваам (Б)

Fig. 5. Schemes of specific discharge (l/(sec·km²)) of 1 to 3-order watercourses in the Ugolnaya-Dionisiya River (A) and the Yanranaivaam River (B) basins

Распределение долей площади водосбора р. Янранайваам, занимаемых указанными зонами, иное: 1 – 38,6; 2 – 15,5; 3 – 45,9% соответственно. В бассейне р. Янранайваам первой зоне соответствуют гольцовые, щепнистые и подгольцовые мохово-кустарничковые тундры в интервале высоты рельефа 100–600 м. Некоторое исключение в плане высоты рельефа составляет вошедшая в первую зону надпойменная терраса в днище долины реки с пятнистыми кустарничковыми арктотундрами. Диапазон абсолютных высот рельефа во второй зоне – 25–250 м, в отличие от первой крутизна и длина склонов здесь меньше, а их площадь в равной пропорции занимают гольцовые и пятнистые мохово-кустарничковые арктотундры. Третья область стока приурочена к существенному распространению увлажненных кочкарных мохово-пушицевых тундр на террасовидных склонах с высотой рельефа в пределах 15–300 м.

По мнению авторов, такое зонирование удельного стока связано с биологическим потреблением воды растениями в начале лета. Немаловажным является рост среднесуточной температуры воздуха в период наблюдений с 9 до 19°C в Анадыре и с 5 до 17°C в Певеке, когда наблюдается активная вегетация и рост глубины протаивания с 10–15 до 25–30 см в Анадырской и с 10 до 25–35 см в Чаунской тундре.

Пространственная организация надмерзлотного стока р. Янранайваам выглядит более простой. Область максимальных значений меженного удельного стока приурочена к участкам современной денудации коллювиально-делювиальных отложений с разреженным растительным покровом и примитивными почвами, т. е. там, где есть благоприятные условия для образования конденсационных вод и гольцовых льдов (см. рис. 3Б). В этой области отмечены минимальные значения минерализации, РОУ и железа, нейтральная или слабощелочная реакция надмерзлотных и речных вод. Состав их отличается от талых вод снежников, что свидетельствует о незначительном вкладе последних в формирование стока. На горных террасах и в их подножьях, покрытых кочкарными тундрами и тундроболотами, модуль стока уменьшается за счет заболачивания деятельного слоя; кислотность воды, содержание РОУ и железа в воде здесь возрастают. Высокие значения нитратов и сульфатов в воде истоков и основной реки авторы связывают с сульфидной минерализацией горных пород и нитрификацией органо-генных отложений почв и донного ила в условиях площадного дренажа насыщенных кислородом вод и наличия азотфиксирующих растений в растительном покрове кустарничковых тундр и лугов (астргалы, копеечник арктический и другие виды семейства бобовых).

Вторая область с модулем стока 10–20 л/(с·км²) расположена в пределах горного подножия и днища долины, покрытых пятнистыми арктотундрами, кочкарными тундрами и тундроболотами, с существенно низкими величинами латеральной фильтрации и относительно высоким испарением влаги. На правом борту долины р. Янранайваам, где доминируют кустарничковые тундры, воды имеют нейтральную реакцию, РОУ содержится до 2–3 мг/л, а железа также менее 0,01 мг/л. На левобережье, где возрастает доля болот, растет кислотность вод (рН 5,8–6,1), содержание РОУ увеличивается до 5 мг/л, железа – до 0,4 мг/л.

Минимальные значения удельного надмерзлотного стока свойственны как минимум трем генетически различающимся типам ландшафтов. В правом борту долины р. Янранайваам в среднем течении, на террасированных склонах южной экспозиции с обнажениями коренных скальных горных пород надмерзлотный (точнее поверхностный) сток контролируется выпавшими осадками и скоростью таяния снежников в весенне-летний период. Именно здесь самая высокая густота эрозионного расчленения поверхности, чаще всего встречаются практически сухие расщелины, гроты, водопады. Мест с условиями, благоприятными для образования гольцовых льдов и конденсационных вод, здесь меньше.

На южном и северном склонах среднего и нижнего течения реки интенсивность стока ограничивают заболоченные пологие склоны, где надмерзлотные воды аккумулируются торфянистыми и торфяными почвами, встречаются озера различного размера. Воды этой области водосбора отличаются относительно высокой минерализацией и кислотностью, содержанием РОУ до 25 мг/л и железа – до 10 мг/л. Нитратов не обнаружено, содержание сульфатов минимально.

В нижнем течении реки эрозионного расчленения бортов долины нет. Воды отличаются максимальной в бассейне минерализацией, кислотностью, содержанием РОУ и железа. Минимальные значения модулей стока здесь обусловлены пологим рельефом, слабой латеральной фильтрацией деятельного слоя и относительно высокой транспирацией.

С потеплением климата следует ожидать увеличения глубины протаивания и мощности коллювиально-делювиальных покровов с ростом количества конденсационных вод и гольцовых льдов, что позволит сохранить или даже повысить летний сток р. Янранайваам даже при уменьшившемся количестве жидких осадков. В зоне распространения пойменных заболоченных кочкарных тундр увеличение глубины протаивания обеспечит дополнительное питание подрусловых таликов и увеличит зимний сток реки.

В отличие от р. Янранайваам в бассейне р. Угольная-Дионисия в области с модулем стока 20–50 л/(с·км²) распространены ольховники с разнотравным ярусом. Преобладание здесь линейного стока над площадным и отсутствие сплошной полосы кустарничковых тундр обусловило снижение нитратов в составе надмерзлотных вод. Область со средним удельным стоком 10–20 л/(с·км²) характеризуется доминированием кочкарных тундр на выпуклых склонах. Солифлюкционные и нивальные надпойменные террасы здесь заняты низинными болотами. По кислотности, содержаниям РОУ и железа надмерзлотные воды близки к характеристикам третьей зоны р. Янранайваам. Плотность дренажной сети невысокая, в формировании склонового стока принимают участие веерные и ветвящиеся ложбины стока [Тарбеева и др., 2021]. Условий, благоприятных для образования конденсационных вод, не обнаружено. Основным источником питания надмерзлотных вод в период межени являются талые воды льдистых верхних горизонтов почвы (см. табл.). Надпойменные снежники в данном районе являются дополнительным источником питания реки, что подтверждается здесь локальным снижением кислотности, содержания РОУ и железа в надмерзлотных водах. С другой стороны, снежники существенно замедляют таяние почв и тем самым уменьшают объем талых вод сезонных льдов [Трегубов и др., 2021].

Минимальные значения модуля надмерзлотного стока на плоских увалах и вогнутых склонах связаны с распространением верховых болот, полигональных тундр с термокарстовыми просадками, а также водораздельных озер. Здесь доминируют солифлюкция и термокарст, в меньшей степени термоэрозия. Надмерзлотные воды отличаются высокой кислотностью при низкой минерализации, высоким содержанием РОУ и железа. В качестве основных источников питания надмерзлотных вод меженного периода, как и в предыдущем случае, здесь выступают талые воды сезонных льдов верхних горизонтов почв, которые дополняются талыми водами ПЖЛ. Приводораздельные озерно-болотные котловины аккумулируют часть талых снеговых вод весной, которые затем по мере протаивания деятельного слоя участвуют в питании надмерзлотных вод.

Увеличение глубины протаивания в условиях потепления климата, очевидно, приведет к локальному усилению термокарста и заболачиванию бас-

сейна р. Угольная-Дионисия. Возрастание объема конденсационных вод в силу редкости гольцов не окажет существенного влияния на сток. Увеличение количества осадков повысит влажность почв и замедлит рост глубины протаивания. При этом возрастет сезонная льдистость торфяных и торфянистых почв. В результате ожидается сохранение в ближайшей перспективе водного баланса реки при выравнивании стока в летнюю и зимнюю межень.

ВЫВОДЫ

Равенство предмеженного стока двух рек южной и северной Чукотки при различном среднемноголетнем количестве атмосферных осадков (382 и 146 мм) может быть обусловлено поясностью и зональностью тундр, что выражено в снижении высотного положения гольцового пояса с юга на север. В этом же направлении на равнинах сокращается доля задернованной поверхности, уменьшается мощность почвенного профиля и надмерзлотного водоносного горизонта, возрастает доля кустарничков в растительном покрове, усиливается морозное выветривание и криотурбирование. В итоге на фоне зонального уменьшения атмосферного увлажнения практически в том же объеме увеличивается объем конденсационных вод, а внутригрунтовые сезонные инфильтрационные почвенные льды замещаются в ландшафте инфильтрационно-конденсационными гольцовыми льдами, которые при таянии восполняют недостаток атмосферной влаги, участвующей в стокоформировании.

При сохранении современных тенденций и темпов изменения мерзлотно-климатических условий в течение ближайших десятилетий существенных изменений речного стока малых тундровых рек не произойдет. Изменения коснутся внутриводосборного перераспределения стока за счет региональных изменений условий аккумуляции надмерзлотных вод или роста фильтрационных свойств деятельного слоя. Прогнозируемая устойчивость и запас прочности речных систем в ранге ландшафтного района обусловлены достаточным разнообразием внутри бассейнов геоморфологических и геокриологических условий, зональных тундровых почв и растительности. При потеплении климата ожидается сглаживание сезонных колебаний стока, образование новых и расширение существующих русловых таликовых зон, появление в долинах рек интразональных пойменных ландшафтов.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60036). Авторы выражают благодарность Б.И. Гарцману, А.М. Тарбеевой и Т.С. Губаревой за научные консультации и участие в полевых работах; А.Г. Болдескулу за аналитические исследования проб воды; К.К. Уяганскому, М.А. Нутевекет за участие в полевых работах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Банцеева Т.В., Михайлов В.М. К оценке роли внутри-грунтовой конденсации водяных паров в формировании теплового и водного режимов крупнообломочных склоновых отложений // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII. № 1. С. 40–45.
- Василенко Н.Г. Гидрология рек зоны БАМ: Экспедиционные исследования. СПб.: Нестор-История, 2013. 672 с.
- Гагаринова О.В. Ландшафтно-гидрологические закономерности формирования стока в бассейне озера Байкал // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 55–60.
- Глотов В.Е., Ушаков М.В. Климатически обусловленные изменения стока заполярных рек западной Чукотки // Криосфера Земли. 2020. Т. 24. № 6. С. 33–44.
- Губарева Т.С., Гарцман Б.И., Василенко Н.Г. Источники формирования речного стока в зоне многолетней мерзлоты: оценка методами трассерной гидрологии по данным режимных гидрохимических наблюдений // Криосфера Земли. 2018. Т. 22. № 1. С. 32–43.
- Климочкин В.В. К вопросу о роли конденсации в формировании ресурсов грунтовых вод // Вопросы гидрогеологии криолитозоны. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1975. С. 157–164.
- Лебедева Л.С., Бажин К.И., Христофоров И.И., Абрамов А.А., Павлова Н.А., Ефремов В.С., Огонеров В.В., Тарбеева А.М., Федоров М.П., Нестерова Н.В., Макарьева О.М. Надмерзлотные субэдральные талики в бассейне реки Шестаковка (Центральная Якутия) // Криосфера Земли. 2019. Т. 23. № 1. С. 40–50.
- Нестерова Н.В., Макарьева О.М., Виноградова Т.А., Лебедева Л.С. Моделирование процессов формирования стока зоны БАМ на основе данных полигона Могол // Водное хозяйство России. 2018. № 1. С. 18–38.
- Рейнюк И.Т. Конденсация в деятельном слое вечной мерзлоты // Тр. ВНИИ-1. 1959. Вып. 13. С. 1–24.
- Тарбеева А.М., Трегубов О.Д., Лебедева Л.С. Структура склоновой ложбинной сети криолитозоны в окрестностях г. Анадыря // Геоморфология. 2021. Т. 52. № 1. С. 109–120.
- Тепловодообмен мерзлотных ландшафтов Восточной Сибири и его факторы / А.Г. Георгиади, А.Н. Золотокрылин, Р.В. Десяткин и др. М.; Тверь: Триада, 2007. 576 с.
- Трегубов О.Д., Гарцман Б.И., Тарбеева А.М., Лебедева Л.С., Шенелев В.В. Пространственная и временная динамика источников питания и водного режима реки Угольная-Дионисия (Анадырская низменность, Чукотка) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 4. С. 1–12.
- Трегубов О.Д. Геохимические барьеры в почвах и ландшафтах Анадырской тундры // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2017. № 3. С. 70–79.
- Чукотка: Природно-экономический очерк. М.: Арт-Литэкс, 1995. 370 с.
- Шенелев В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск: Гео, 2011. 169 с.
- Liljedahl A.K., Boike J., Daanen R.P. et al. Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology, *Nature Geoscience*, 2016, vol. 9, p. 312–318, DOI: 10.1038/ngeo2674.
- Park H., Walsh J., Fedorov A.N., Sherstiukov A.B., Iijima Y., Ohata T. The influence of climate and hydrological variables on opposite anomaly in active layer thickness between Eurasian and North American watersheds, *The Cryosphere Discuss.*, 2012, vol. 6, p. 2537–2574, DOI: 10.5194/tcd-6-2537-2012, URL: <http://www.the-cryosphere-discuss.net/6/2537/2012/>.
- Walvoord M.A., Kurylyk B.L. Hydrologic Impacts of Thawing Permafrost - A Review, *Vadose Zone Journal*, 2016, vol. 15, iss. 6, 20 p., DOI: 15. 10.2136/vzj2016.01.0010.

Поступила в редакцию 27.03.2021

После доработки 04.03.2022

Принята к публикации 27.06.2022

THE INFLUENCE OF BASIN LANDSCAPE PATTERN ON SPECIFIC LOW-WATER FLOW OF SMALL RIVERS IN THE NORTH AND SOUTH OF CHUKOTKA

O.D. Tregubov¹, V.Yu. Razzhivin², V.V. Shamov³, L.S. Lebedeva⁴¹ Shilo Northern-East Complex Scientific-Research Institute FEB RAS, Leading Scientific Researcher, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: tregubov2@yandex.ru² Komarov Botanical Institute RAS, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Biology; e-mail: volodyar@binran.ru³ Pacific Geographical Institute FEB RAS, Chief Scientific Researcher, D.Sc. in Geography; e-mail: vlshamov@yandex.ru⁴ Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: lyudmilaslebedeva@gmail.com

The article analyses landscape factors that determine the runoff of small Arctic and Subarctic rivers in the far northeast of Asia. The paper considers hydrography, structure of permafrost landscapes and their hydrochemical characteristics, and the spatial dynamics of low-water runoff in the basins of the Ugolnaya-Dionisiya and Yanranayvaam rivers. It has been established that sustainable water intake depends on the ratio of landscapes generating and depositing the permafrost runoff, namely Arctic char gravelly shrub tundra, lowland tussock tundra and hummock swamps. The low-water runoff of 20–50 l/km²·sec is typical for the sources of rivers, where seasonal char ice melts in the slope deposits and condensation waters are formed. Melt water of seasonal intra-surface soil ice on the gentle slopes of tundra hummocks provides specific runoff of 10–20 l/km²·sec. Upland and lowland marshes deposit above-frozen waters, and their runoff is less than 10 l/km²·sec. Using

the example of two catchment basins, it is shown that the decrease in precipitation in the north of Chukotka is almost completely compensated by the formation of condensation waters. At the same time, in-ground seasonal infiltration soil ice is replaced in Arctic landscapes by infiltration-condensation char ice, and its melt water makes up for the loss of surface runoff.

Keywords: permafrost landscapes, permafrost waters, water balance of small rivers, climate warming

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Foundation for Basic Research (project 18-05-60036). The authors express their thanks to B.I. Gartsman, A.M. Tarbeeva and T.S. Gubareva for scientific advices and participation in field work; to A.G. Boleskul for analyzing water samples; and to K.K. Uyagansky and M.A. Nuteveket for participation in field work.

REFERENCE

- Bantsekina T.V., Mihajlov V.M. *K ocenke roli vnutrigruntovoj kondensacii vodyanyh parov v formirovanii teplovogo i vodnogo rezhimov krupnooblomochnyh sklonovyh otlozhenij* [To the evaluation of the role of intra-ground condensation in thermal and water regimes of coarse-grained slope deposits], *Kriosfera Zemli*, 2009, vol. 13, no. 1, p. 40–45. (In Russian)
- CAVM Team 2003, *Circumpolar Arctic vegetation map, scale 1:7 500 000*, Conservation of Arctic Flora and Fauna (CAFF) Map, no. 1, U.S. Fish and Wildlife Service, Anchorage.
- Chukotka: *Prirodno-ekonomicheskij ocherk* [Chukotka: Essay on Nature and Economy], Moscow, Art-Litex Publ., 1995, 370 p. (In Russian)
- Gagarinova O.V. Landscape-hydrological regularities of runoff formation within the Lake Baikal watershed basin, *Geography and Natural Resources*, 2012, no. 3, p. 218–222.
- Gidrologiya zabolochennyh territorij zony mngoletnej merzloty Zapadnoj Sibiri [Hydrology of wetlands in the permafrost zone of Western Siberia], Saint Petersburg, VVM Publ., 2009, 536 p. (In Russian)
- Glotov V.E., Ushakov M.V. Climate-related changes in the runoff of polar rivers in Western Chukotka, *Earth's Cryosphere*, 2020, vol. 24, no. 6, p. 27–37.
- Gubareva T.S., Gartsman B.I., Vasilenko N.G. Sources of river flow formation in the zone of permafrost: estimation by the methods of tracer hydrology according to the data of regime hydrochemical observations, *Earth's Cryosphere*, 2018, vol. 22, no. 1, p. 29–40.
- Klimochkin V.V. [On the role of condensation in the formation of groundwater resources], *Voprosy gidrogeologii kriolitozony* [Issues of cryolithozone hydrogeology], Yakutsk, Institute of Permafrost Studies of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences, 1975, p. 157–164. (In Russian)
- Lebedeva L.S., Bazhin K.I., Khristoforov I.I., Abramov A.A., Pavlova N.A., Efremov V.S., Ogonerov V.V., Tarbeeva A.M., Fedorov M.P., Nesterova N.V., Makarieva O.M. Suprapermafrost subaerial taliks, Central Yakutia, Shestakovka river basin, *Earth's Cryosphere*, 2019, vol. 23, no. 1, p. 35–44.
- Liljedahl A.K., Boike J., Daanen R.P. et al. Pan-Arctic ice-wedge degradation in warming permafrost and its influence on tundra hydrology, *Nature Geoscience*, 2016, vol. 9, p. 312–318, DOI: 10.1038/ngeo2674.
- Nesterova N.V., Makar'eva O.M., Vinogradova T.A., Lebedeva L.S. Modelirovanie processov formirovaniya stoka zony BAM na osnove dannyh poligona Mogot [Modeling of the processes of flow formation in the BAM zone based on the materials of the Mogot site], *Water Management in Russia*, 2018, no. 1, p. 18–38. (In Russian)
- Park H., Walsh J., Fedorov A.N., Sherstiukov A.B., Iijima Y., Ohata T. The influence of climate and hydrological variables on opposite anomaly in active layer thickness between Eurasian and North American watersheds, *The Cryosphere Discuss.*, 2012, vol. 6, p. 2537–2574, DOI: 10.5194/tcd-6-2537-2012, URL: <http://www.the-cryosphere-discuss.net/6/2537/2012/>
- Rejnyuk I.T. *Kondensatsiya v deyatelnom sloe vechnoj merzloty, Trudy VNII-1* [Condensation in the active permafrost layer, Proceedings of the All-Union Research Institute 1], Magadan, 1959, vol. 15, 24 p. (In Russian)
- Shepelev V.V. *Nadmerzlotnye vody kriolitozony* [Permafrost waters of the cryolithozone], Novosibirsk, Geo Publ., 2011, 169 p. (In Russian)
- Tarbeeva A.M., Tregubov O.D., Lebedeva L.S. Struktura sklonovoj lozhbinnoj seti kriolitozony v okrestnostyah g. Anadyrya [Structure of the slope runoff network of the cryolithozone in the vicinity of Anadyr], *Geomorphology*, 2021, vol. 52, no. 1, p. 109–120. (In Russian)
- Teplovodoobmen merzlotnyh landshaftov Vostochnoj Sibiri i ego faktory* [Heat and water exchange in permafrost landscapes of Eastern Siberia and its factors], A.G. Georgiadi, A.N. Zolotokrylin, R.V. Desjatkin i dr., Moscow, Tver, Triad Publ., 2007, 576 p. (In Russian)
- Tregubov O.D., Gartsman B.I., Tarbeeva A.M., Lebedeva L.S., Shepelev V.V. Spatial and temporal dynamics of sources and water regime of the Ugolnaya-Dionisiya River (Anadyr Lowland, Chukotka), *Water resources*, 2021, vol. 48, no. 4, p. 427–438.
- Tregubov O.D. Geohimicheskie bar'ery v pochvah i landshaftah Anadyrskoj tundry [Geochemical barriers in soils and landscapes of the Anadyr Tundra], *Vestn. Mosk. unta, Ser. 5, Geogr.*, 2017, no. 3, p. 70–79. (In Russian)
- Vasilenko N.G. *Gidrologiya rek zony BAM: Ekspedicionnye issledovaniya* [Hydrology of rivers in the Baikal-Amur Mainline zone: Expedition research], Saint Petersburg, Nestor-History Publ., 2013, 672 p. (In Russian)
- Walvoord M.A., Kurylyk B.L. Hydrologic Impacts of Thawing Permafrost – A Review, *Vadose Zone Journal*, 2016, vol. 15, iss. 6, 20 p., DOI: 15.10.2136/vzj2016.01.0010.

Received 27.03.2021

Revised 04.03.2022

Accepted 27.06.2022

ТИПЫ СЕЛЬСКИХ И ГОРОДСКИХ МЕСТНОСТЕЙ ПОЛЬШИ, ВЕНГРИИ, РУМЫНИИ И ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А.М. Ершов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, магистр; e-mail: AlexiusErshov@ya.ru

Если пространственное разнообразие есть во многом
предпосылка экономического развития,
а неравномерность – его спутник, то глубокое
неравенство – тормоз, который с каждым новым
витком исторической спирали
обостряет отношения полярных районов.
А.И. Трейвиш

На примере четырех постсоциалистических стран Восточной Европы (Польша, Венгрия, Румыния и Россия) проводится сравнительный анализ относительного положения разных типов местности и их динамики за десятилетний период с 2010 по 2020 г. Автор разрабатывает методические представления об использовании индивидуальной типологии при создании социально-экономического профиля территории в целях выявления пространственной неравномерности исследуемых стран по социально-демографическим, экономическим и инфраструктурным показателям. По результатам анализа делаются выводы о доминирующих тенденциях социально-экономической дифференциации между сельскими, городскими и переходными типами местности в изучаемых государствах. Выявлена необязательность внутрирегиональной пространственной конвергенции как характерного следствия социально-экономического развития страны. Сопутствующие постсоциалистическому переходу трансформационные процессы привели к формированию разных моделей социально-экономической дифференциации пространства в зависимости от особенностей системы расселения в каждой стране: условно равномерному развитию в Польше, зональному развитию в Венгрии и дифференцированному развитию в Румынии и Европейской России. Автором выдвигается концепция об основных стадиях и направлениях социально-экономической дифференциации пространства, позволяющая систематизировать статистически полученные выводы.

Ключевые слова: социально-экономическая дифференциация, сельско-городской континуум, пространственная неравномерность, сельская местность, постсоциалистический период, Восточная Европа

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.10

ВВЕДЕНИЕ

Развитие пространства, связанное с его экономическим освоением человеческим социумом, эссенциально приводит к процессу его внутренней дифференциации. Фактически дифференциация является стороной процесса развития, связанной с делением трансформирующегося в ходе развития целого на части, иерархические уровни. Рассматривая процесс дифференциации в социально-экономической плоскости, мы полагаем социально-экономическую дифференциацию как «структурное разделение социально-экономической пространственной системы, сформированное сравнительным различием отдельных подсистем по определенному показателю, группе признаков под влиянием факторов различной природы, оказывающее влияние на дальнейшую трансформацию системы» [Лапин, 2017, с. 111]. Отражением протекания данного процесса

в пространстве является изменение социально-экономического положения территории, выражающего состояние социальной, демографической, экономической и других сфер жизни условного района в текущий момент.

В данной работе проводится сравнительный анализ социально-экономической дифференциации территорий стран Восточной Европы: Европейской России, а также Польши, Венгрии и Румынии как наиболее природно и климатически близких государств со схожими с российскими трансформационными процессами в сельской местности. Выбор трех данных зарубежных стран для сравнительного исследования объясняется наличием социально-экономической статистики по ряду показателей за длительный временной промежуток на муниципальном или окружном уровне. В силу отсутствия в открытом доступе муниципальной статистики и

плохого качества данных по областям из объектов исследования была исключена Болгария. Высокая доля горных и возвышенных территорий в Чехии и Словакии оставили данные страны вне итоговой выборки исследуемых стран в силу большого влияния азонального фактора в виде гористости территории.

Общими чертами постсоциалистического переходного периода в странах Восточной Европы стали переход к рыночной экономике, деаграризация и деиндустриализация народного хозяйства с массовым сокращением рабочих мест, реструктуризация торговых связей со странами мира, обесценивание накоплений населения и сопутствующий рост социально-экономического неравенства с формированием обширных пространств депрессивных малопродуктивных сельскохозяйственных регионов. Однако пространственные паттерны дифференциации между странами, несмотря на общие макроусловия, отличаются.

Большая часть исследований, посвященных теме пространственной неравномерности и социально-экономической дифференциации сельской местности России, базируются на рассмотрении процессов в региональном разрезе. Нарастание центр-периферийных внутрирегиональных диспропорций, а также формирование обширных депрессивных территорий стали основой исследовательских работ регионалистов, экономистов, географов, демографов и социологов в постсоветский период. Региональные особенности дифференциации экономико-демографического развития, а также межрегиональная пространственная неравномерность сельских территорий анализировались в целом ряде работ Нефедовой, Трейвиша, Алексеева, Зубаревич, Заславской, Пациорковского и ряда других отечественных исследователей [Алексеев, Зубаревич, 2000; Махрова и др., 2016; Трейвиш, 2019]. Зарубежные исследователи проводили аналогичные работы в своих странах: Ежи Бански и Павел Чурски изучали пространственную дифференциацию развития Польши [Banski, 2019; Churski, 2021], Ласло Кульчар и Янош Пенжес исследовали периферийные территории Венгрии [Kulcsar, Bradatan, 2014; Penzes, 2013], Анка Дачин и Иоан Ианос искали способы оценить пространственную неравномерность социально-экономического развития округов в Румынии [Dachin, 2008; Ianos et al., 2013].

Ограниченная в сравнении со странами Восточной Европы ЕС, отечественная статистическая база является главной причиной отсутствия большого количества работ по исследованию внутрирегиональных различий, отражающих наиболее релевантную картину происходящих социально-экономических процессов. В силу необходимости проведения детального сравнительного анализа

процессов в нашей стране и за рубежом, а также накопления достаточного уровня данных на муниципальном уровне для проведения временного анализа было принято решение использовать данные на уровне муниципалитетов, а не агрегированные региональные данные, дающие ограниченное пространственное представление о социально-экономических трансформациях.

Данная статья посвящена исследованию состояния и динамики социально-экономической неравномерности пространства постсоциалистических стран на наиболее низшем статистически доступном административно-территориальном уровне.

Объектом исследования в этой работе являются типы местности стран Восточной Европы (Польша, Венгрия, Румыния, Россия), объективно существующие в рамках село-городского континуума. В результате перехода от государственного социализма к капитализму, возвращению к «естественным осям» развития сравниваемые страны пережили масштабный социальный и экономический кризис, который привел к снижению уровня жизни, особенно на сельской периферии (новая периферия) и в старых индустриальных регионах (деградирующие бывшие региональные центры), а также усилению поляризации между регионами и социальными группами. Регионы данных стран вступили в эпоху «пространственного дарвинизма», когда развитие и экономический рост происходили в наиболее конкурентных регионах и городах [Leibert, 2013].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения сравнительного анализа относительного социально-экономического положения и динамики территорий Польши, Венгрии, Румынии и европейской части России были использованы базы данных социально-экономических показателей за 2010 и 2020 гг. В качестве базовых статистических единиц для исследуемых стран используются муниципальные территориальные образования: для стран ЕС – административно-территориальные единицы уровня NUTS-3 и LAU, для Российской Федерации – муниципальные образования первого уровня (муниципальные районы, муниципальные и городские округа). Выбор низшего статистически обеспеченного уровня административно-территориального деления для проведения статистического исследования пространственной дифференциации объясняется необходимостью получить детальную, статистически несглаженную картину трансформации положения сельских и городских территорий.

В качестве статистических материалов выступают данные переписей населения, ежегодные статистические сборники с социально-экономическими показателями по муниципальным образова-

ниям, базы данных территориальной статистики. База локальных данных Польского Центрального статистического офиса (GUS BDL) предоставляет целостную информацию на уровне муниципалитетов с 2001 г. [База локальных..., 2022], База Венгерского Центрального статистического офиса (TIMEA) с 2011 г. [База Венгерского..., 2022], а российская База данных показателей муниципальных образований (БДМО) с 2010 г. [База данных показателей..., 2022]. База территориальной статистики Румынского Центрального статистического офиса (TEMPO online) предоставляет данные с 1990 г. [База территориальной..., 2022], однако в открытом доступе данные по низовым административно-территориальным единицам отсутствуют, и возможно использование большинства показателей лишь на окружном уровне.

Ограниченность и несоответствие временных рядов статистических показателей по разным странам лимитируют возможность проведения долгосрочного сравнительного анализа. Тем не менее общий (условно) десятилетний период (2010–2020) сбора открытой статистики на муниципальном уровне позволяет провести рассмотрение простран-

ственной неравномерности социально-экономического развития сельско-городских территорий на муниципальном уровне.

Социально-экономические показатели, используемые для анализа пространственной неравномерности развития сельско-городской местности указанных стран, можно разделить на несколько групп: социально-демографические показатели, экономические, инфраструктурные. В итоговый перечень попали наиболее базовые показатели, имеющиеся в открытом доступе для всех стран или, в отдельных случаях, хотя бы для трех из четырех стран.

Использование показателей, отражающих ситуацию в разных сферах жизни населения, позволяет получить более полную картину социально-экономического разрыва между сельскими и городскими территориями, а также выявить гетерогенность явлений в пространстве и влияние существующего пространственного градиента на темпы и направления трансформации отдельных типов сельской местности. Перечень общих социально-экономических показателей для всех стран, позволяющих проводить сравнительный анализ, представлен в табл. 1.

Таблица 1

Анализируемые социально-экономические показатели

Социально-демографические	Экономические	Инфраструктурные
Естественный прирост населения	Уровень безработицы	Ввод зданий на душу населения
Плотность населения	Зарплата на душу населения	Уровень автомобилизации
Миграция на душу населения	Демнагрузка на работающих	Плотность дорожной сети
Браки на душу населения		
Доля пожилых лиц		

Примечание. Составлено автором.

Основным аналитическим инструментом данного исследования стал метод социально-экономических профилей. Для каждой страны за исследуемые временные реперные точки на базе созданной исследовательской типологии были построены графики изменения значений агрегированных нормированных социально-экономических показателей по типам территорий в рамках сельско-городского континуума. Значения агрегированного показателя считались путем получения среднего из линейно масштабированных значений по каждому анализируемому показателю для каждого типа местности. Данный тривиальный способ агрегирования выбран в целях упрощения интерпретации полученных результатов:

$$a^i = \text{ср. знач.}^i \left(\sum_{i=1}^n \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \right),$$

где j – тип местности, а i – муниципальное образование.

Изменение социально-экономического профиля на временном периоде позволяет понять направления социально-экономической трансформации территорий исследуемых стран, а также оценить пространственную дифференциацию между сельскими и городскими территориями, выраженную в развитии пригородных зон, а также периферизации удаленных от ядер районов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

После серьезного экономического и политического коллапса конца 1980 – начала 1990-х гг. страны Восточной Европы начали сближаться с Западной Европой во многих точках зрения. Бывшие члены

Восточного блока добились сравнительного приближения значений валового внутреннего продукта на душу населения к значениям наиболее развитых европейских стран [Banski, 2019]. Однако конвергенция на национальном уровне привела к дивергенции на субнациональном, региональном уровне. Столичные регионы, а также их пригородные зоны развивались намного быстрее, чем остальные территории [Kulcsar, Bradatjan, 2014; Wojewodzka-Wiewiorska, Dudek, 2016]. С точки зрения роста национального продукта в городских районах темпы роста были примерно в полтора раза выше, чем в периферийной сельской местности [Leibert, 2013]. В связи с постиндустриализацией экономики регионы, в которых третичный сектор стал основным драйвером роста, находились в выгодном положении перед районами с крупным вторичным и первичным секторами.

Типологизация территорий. Выявление пространственных паттернов социально-экономической дифференциации требует предварительной

разбивки территории страны на городские, сельские и переходные типы местности. С целью получения единой сравнительной базы путем учета центр-периферийных, а также сельско-городских различий была проведена типологизация исследуемых административно-территориальных единиц стран. При создании исследовательской типологии для стран-объектов исследования использовались базовые, общие характеристики сельских и городских территорий. Для определения положения в центр-периферийной системе использовались данные о транспортной удаленности статистической единицы от крупного городского центра. Интервальное деление по дистанции от центра определяется в зависимости от среднего размера и количества исследуемых административно-территориальных единиц страны. Уровень урбанизированности и плотность населения позволили уточнить положение муниципального образования в системе «село – город». Выделенные типы по каждой стране представлены на рис. 1.

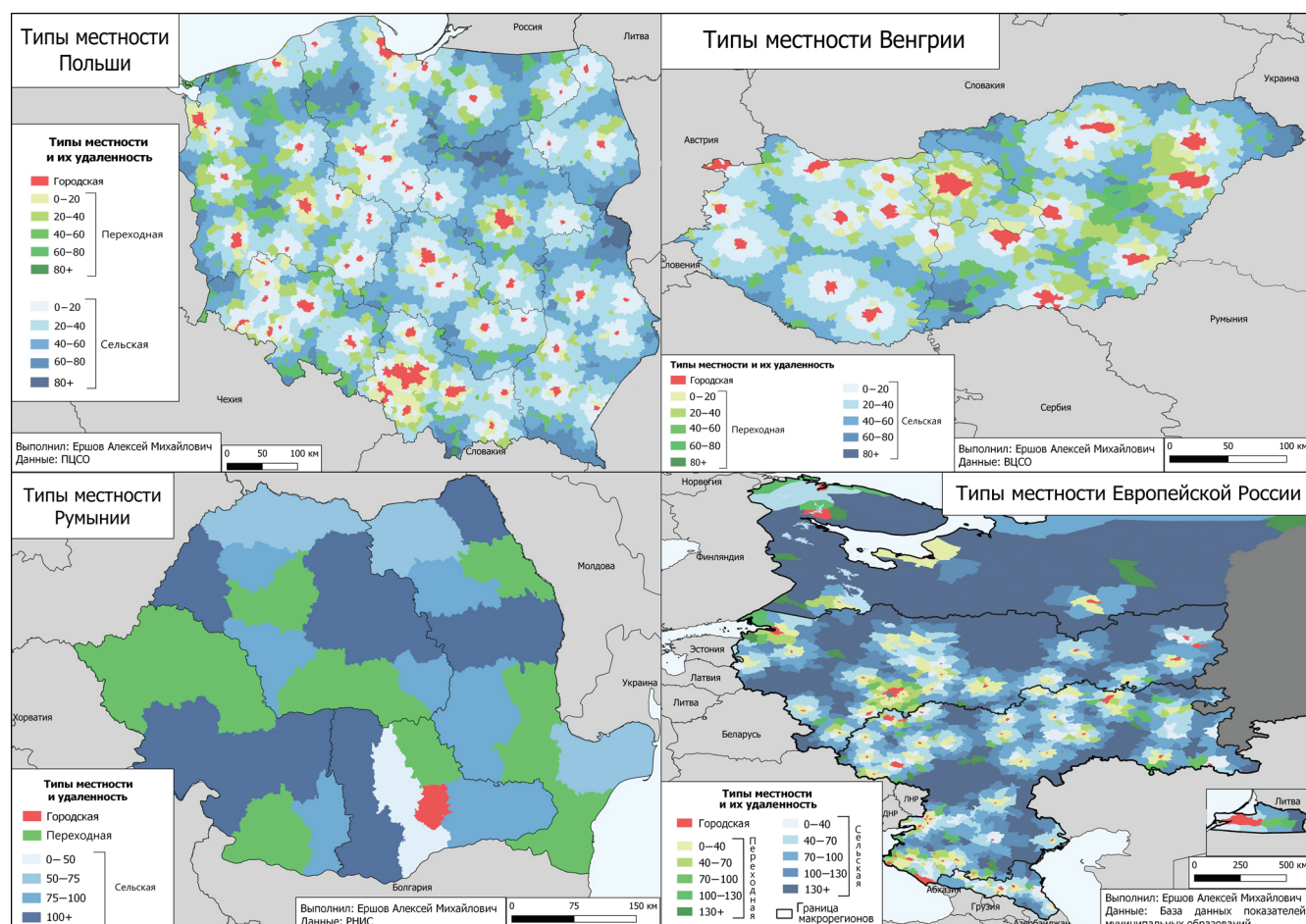


Рис. 1. Типы местности в Польше, Венгрии, Румынии и Европейской России. Источник: составлено автором

Fig. 1. Types of territories in Poland, Hungary, Romania and European Russia. Source: compiled by the author

В силу значительных различий в площади стран, а также в площади муниципальных образований, в исследуемых странах в целях приведения выделенных типов к единому сравнимому виду была проведена классификация количественных значений расстояния от центра на пять функционально разных типов местности: городской, пригородный (до 40 км, полчаса езды), рурбан (вплоть до 60–70 км, часовая доступность), сельский и периферийный (от 80–100 км, свыше полутора часов езды).

Стоит отметить, что российские статистические единицы в силу их сравнительно большей площади, а также отсутствия четкого разделения сельских, переходных и городских территорий имеют более низкий потенциал отражения социально-экономических различий между селом и городом, чем муниципальная статистика стран ЕС. Российская статистика позволяет лишь в общих чертах учитывать сельско-городскую структуру населения. Более территориально агрегированные данные по Румынии также показывают более сглаженную дифференциацию на окружном уровне, чем на муниципальном.

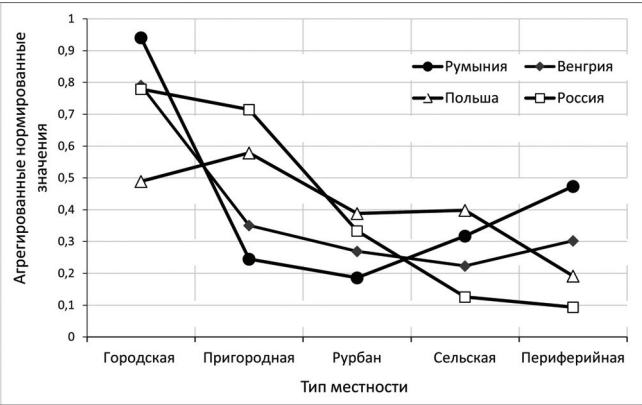


Рис. 2. Социально-экономические профили стран Восточной Европы за 2010 г.
Источник: составлено автором

Fig. 2. Socio-economic profiles of Eastern European countries in 2010. Source: compiled by the author

Социально-экономические профили. Сравнение относительного положения разных типов местности по странам и их динамики за десятилетний период позволяет сделать выводы о процессах социально-экономической дифференциации пространства и существующих разрывах между относительными лидирующими и отстающими типами территорий по исследуемым показателям. Полученные обобщенные социально-экономические профили за общий для исследуемых стран временной промежуток с 2010 по 2020 г. представлены на рис. 2 и 3.

С целью приведения данных в визуально и интуитивно более понятный вид была составлена табл. 2, отражающая доминирование относительного положения разных типов местности среди стран, а также динамику относительного социально-экономического положения типов местности за 2010–2020 гг. Это позволяет оценить, как отличается социально-экономическая дифференциация типов местности по странам, и как по странам социально-экономически выражен тот или иной тип местности.

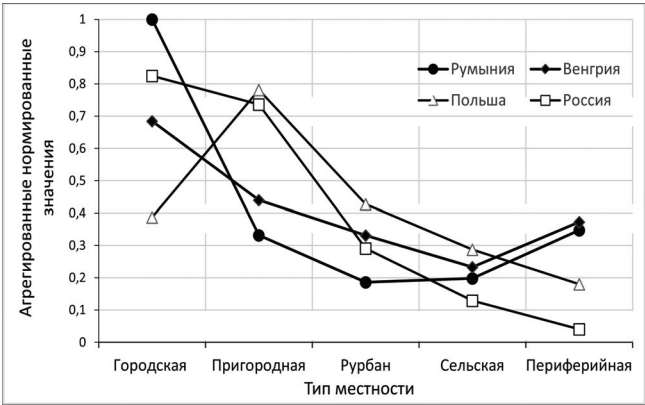


Рис. 3. Социально-экономические профили стран Восточной Европы за 2020 г.
Источник: составлено автором

Fig. 3. Socio-economic profiles of Eastern European countries in 2020. Source: compiled by the author

Таблица 2

Относительное положение и десятилетняя динамика разных типов местности стран Восточной Европы на 2020 г.

Относительное положение и динамика к 2020 г.	Городская		Пригородная		Рурбан		Сельская		Периферийная	
1	Румыния	↗	Польша	↗	Польша	↗	Польша	↘	Венгрия	↗
2	Россия	↗	Россия	↗	Венгрия	↗	Венгрия	~	Румыния	↘
3	Венгрия	↘	Венгрия	↗	Россия	↘	Румыния	↘	Польша	~
4	Польша	↘	Румыния	↗	Румыния	~	Россия	~	Россия	↘

Примечание. Составлено автором.

В целом городской тип местности наиболее выделяется по социально-экономическим показателям в Румынии и России, в которых к тому же данный тип стал еще более дифференцированным от других типов местности. Для Румынии свойствен значительный социально-экономический разрыв между городскими территориями и другими типами местности, который к 2020 г. стал абсолютным: городские территории по всем социально-экономическим показателям являются лидерами. Градиент между центром и периферией в стране становится все больше, и особых предпосылок для смены тенденции нет. Отстающие округа отстают еще сильнее, а городские агломерации во главе с Бухарестом продолжают развиваться. В Венгрии и Польше на фоне развития субурбанизационных процессов городские территории утрачивают свое относительное социально-экономическое положение, причем в Польше они окончательно уступили лидерство социально и экономически более благоприятной пригородной зоне.

Пригородная зона в динамике становится все более предпочтительным типом местности, показав рост относительного положения во всех странах. Наиболее высокое положение пригородной зоны в Польше и России. В Польше она окончательно сформировалась как отдельный многофункциональный тип местности, сочетающий сельские и городские черты. В стране произошло становление пригородных зон как новых омоложенных социально-экономических центров при снижающихся по социально-экономическим условиям городских ядрах. Окрестности Варшавы, Гданьска, Вроцлава, Кракова, Познани, Лодзя и других крупных городских центров являются наиболее привлекательными территориями для мигрантов и для развития новых отраслей экономики [Churski et al., 2021; Lupinski, 2014]. В России в силу более редкой сети населенных пунктов и меньшей плотности населения пригородная зона является фактически одной из немногих экономически эффективных форм существования и развития сельской местности. Наиболее благоприятной сельской территорией пригородную зону делают близость к городскому рынку высокооплачиваемого труда, городским медицинским, культурно-развлекательным и образовательным услугам, сниженные издержки производства благодаря высокой транспортной доступности рынков сбыта и иные агломерационные эффекты, а также прочие спилловер-эффекты от инновационной городской экономики. В Венгрии и Румынии развитие пригородной зоны происходит преимущественно вокруг столичных агломераций в силу преимущественно моноцентрической структуры расселения стран. Однако в Венгрии за последнее десятилетие стал более выражен процесс развития пригородных

зон вокруг недепрессивных региональных центров, расположенных на основных транспортных магистралях страны.

Рурбан, или сельско-городская зона, занимает промежуточное положение между центральными городскими и периферийными сельскими районами и способна в силу относительно высокой транспортной доступности экономических ядер получать дивиденды от более тесных контактов с городскими территориями. За последнее десятилетие данная зона немного сократила относительный разрыв от лидирующих более городских местностей Венгрии и Польши, фактически получая пока ограниченные выгоды от субурбанизационных процессов. В Румынии и России рурбан-территории не становятся более привлекательными в силу ограниченности экономических ресурсов у государств на поддержку обширных по площади территорий данного типа, меньшей связанности социально-экономического пространства, а также менее привлекательной экономической сферы рурбан-пространств по сравнению с городскими ядрами [Janos et al., 2013].

Типичные сельские территории находятся в стагнации или относительном спаде во всех странах в силу исчерпания демографического потенциала, постаревшей структуры населения, преимущественно аграрной недиверсифицированной экономики, что делает данные территории непривлекательными при доминирующей сейчас экономической парадигме пространственного развития. Относительно благоприятное социально-экономическое положение имеют сельская местность Польши и Венгрии, однако за последнее десятилетие конвергенция сельских и городских регионов на фоне субурбанизационных процессов была ограниченной. В Венгрии слабо развитые аграрные Южно-Задунайский край и Альфельд отстают от Будапештской агломерации, нового растущего экономического ядра на северо-западе, а также крупных региональных центров [Leibert, 2013]. В Польше на фоне относительного снижения положения городских ядер сельские муниципалитеты несколько уменьшили градиент с городскими и переходными муниципалитетами. Однако сельско-городские, переходные муниципалитеты компенсировали данный рост для сельских территорий усилением миграционного оттока из них при общем старении жителей, что способствовало увеличению доли неработающих по муниципалитетам и суммарно относительно ухудшило положение сельского типа местности.

Румынская сельская местность в силу деградации социальной сферы ввиду завершения демографического перехода и оттока работоспособного населения, а также кризиса экономической сферы из-за экономической неэффективности частного

малоземельного сельского хозяйства увеличила отставание от более инновационной и экономически привлекательной Бухарестской агломерации. В стране произошла концентрация депрессивных зон в отдельных районах, в которых не сформировалось новых отраслей экономики взамен сельскому хозяйству. Особенно это касается двух главных агрорегионов Румынии: Западной равнины и Центральной Румынской равнины [Dachin, 2008]. В России среднее, относительно устойчивое положение сельской местности обеспечивается за счет южных черноземных регионов страны, характеризующихся благоприятными агроклиматическими условиями, более высокой плотностью сельской сети населенных пунктов и их крупноселенностью [Нефедова, 2012]. Данные сельские территории уравнивают негативные тенденции в сельских муниципалитетах Нечерноземья и севера Европейской России [Трейвиш, 2010; Трейвиш, 2019].

Периферийные территории усилили отставание по большинству социально-экономических показателей во всех странах, однако повышенная рождаемость и пониженная смертность в глубинных районах Венгрии позволяют сгладить положение данного типа местности в этой стране [Penzes, 2013]. Стоит отметить, что демографического потенциала надолго не хватит, и венгерскую периферию ждет судьба румынской, которая за последнее десятилетие значительно потеряла в своей социально-экономической привлекательности. Российская и польская периферии являются наиболее депрессивными территориями в этих странах с точки зрения демографических, социальных, экономических и инфраструктурных показателей. Наиболее периферийные сельские районы пострадали сильнее всего в силу повышенных издержек на реализацию продукции и пониженных экономических связей с ядрами страны. Глубоко периферийные территории Европейской России, исчерпавшие демографический потенциал, деградируют из-за повышенных удельных расходов на содержание инфраструктуры, на обеспечение населения базовыми потребностями, а также из-за отсутствия высокооплачиваемых центров приложения труда – сжатие хозяйственно освоенного пространства фактически приводит к формированию условно «пустой местности», инвариантно отстающей от других территорий.

Теоретические представления. С целью систематизировать выводы об основных паттернах и направлениях социально-экономической дифференциации пространства в центр-периферийной системе, полученные в ходе сравнительного анализа, была составлена схема, обобщающая основные стадии и варианты социально-экономической дифференциации пространства (рис. 4). Основная идея в

предложенной концепции состоит в том, что после первоначального роста условного центра по социально-экономическому показателю и следующей за ним диффузией инноваций, приводящей к выравниванию социально-экономического профиля территории, наступает стадия, когда эндогенный потенциал территории и экзогенные факторы определяют баланс между выравнивающими и дифференцирующими социально-экономическое состояние силами. Это фаза дифференциации социально-экономического пространства, когда определяется способность пространственной системы способствовать энтропии и обеспечить относительно небольшие значения градиента между центральными и периферийными территориями. Разное сочетание дифференцирующих и выравнивающих сил приводит к трем основным формам развития пространства:

- равномерному развитию, характеризующемуся небольшой неравномерностью социально-экономических условий;

- зональному развитию, при котором внутри формируется несколько гомогенных зон, имеющих выраженные социально-экономические разрывы между собой;

- дифференцированному развитию, при котором пространство делится на две сильно различные типологически территории.

В случае равномерного развития формируется центр-периферийный/сельско-городской континуум, который способствует комплексному развитию и освоению пространства. Это в общих чертах случай плотно населенной субурбанизирующейся Польши, в которой относительно невысокая неравномерность социально-экономического пространства способствует активизации экономического роста на большей части территории, а также уменьшению темпов деградации периферийных территорий и сжатия хозяйственно освоенного пространства [Wojewodzka-Wiewiorska, Dudek, 2016].

Зональное развитие подразумевает дробление пространства на несколько территориальных подсистем, что во многом соотносится с иерархическими уровнями административно-территориального деления. Повышенная социально-экономическая дифференциация пространства приводит к замедлению экономического роста в силу меньшей привлекательности периферийных и переходных зон в сравнении с городскими, что приводит к преимущественной концентрации экономического потенциала пространства в городах и не способствует комплексному развитию всей территории. Это больше случай Венгрии с ее Будапештской агломерацией, региональными центрами и их пригородными зонами, а также типичной сельской местностью Великой Венгерской равнины и Задунайского края.

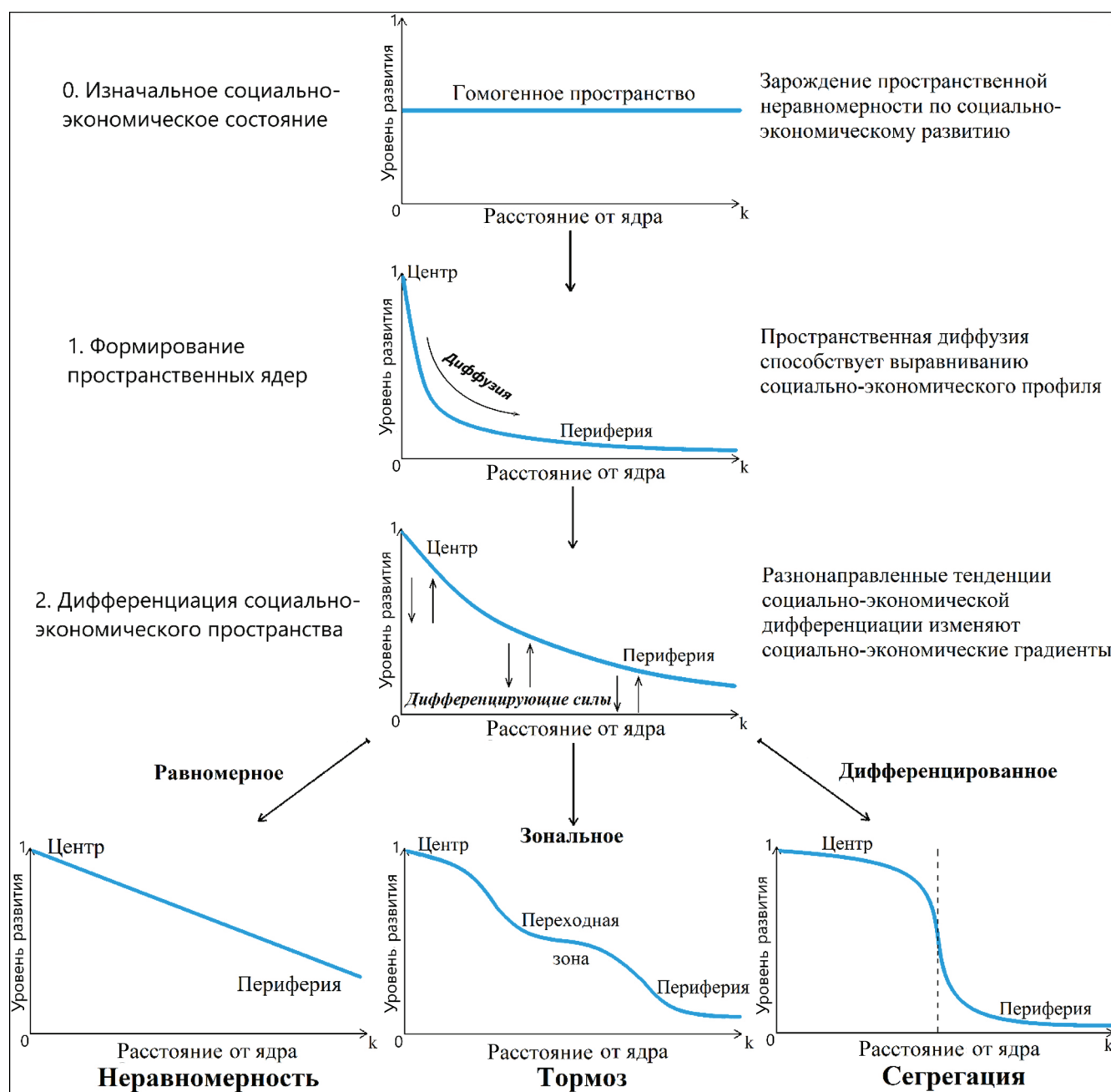


Рис. 4. Основные стадии и направления социально-экономической дифференциации пространства.

Источник: составлено автором

Fig. 4. The main stages and directions of socio-economic differentiation of territories. Source: compiled by the author

Дифференцированное развитие связано с формирующейся пространственной сегрегацией центральных мест от периферийных, а также дальнейшим усилением этого разрыва. Фактически этот паттерн развития является пространственным отражением «порочного круга упадка», когда отстающие становятся все более депрессивными. Высокая социально-экономическая дифференциация становится тормозом для развития экономики и поддержания хозяйственного освоения обширных пространств. Это ситуация, которая формируется в России и Румынии. Развитие пригородной зоны

при таком сценарии является фактически единственным способом модернизации депрессивной сельской местности, однако долгосрочные перспективы эффективности такой пространственной формы развития представляются сомнительными. Тем не менее в России, в отличие от Румынии, в условиях разреженной системы расселения сформирована относительно социально и экономически благоприятная пригородная зона, что позволяет отчасти компенсировать сжатие типичной сельской местности и замещение ее условно «пустой местностью».

ВЫВОДЫ

Прохождение переходного периода в четырех странах Восточной Европы происходило по-разному. Если Польше удалось перейти к рыночной экономике без серьезных социальных и экономических потрясений, то в Венгрии и особенно Румынии и России переход от социализма оказался крайне тяжелым для перспектив поддержания хозяйственного освоения сельских пространств. Следствием этого стало формирование разных моделей социально-экономической дифференциации пространства в зависимости от особенностей системы расселения в каждой стране.

В Польше можно говорить о развитости классического сельско-городского континуума. Социально-демографическая дифференциация пространства в Польше привела к бурному развитию пригородных зон в рамках классического субурбанизационного процесса.

Сельская местность Венгрии является хинтерландом для городских и пригородных зон. Пригородные зоны так же, как и в Польше, получили значительное развитие, однако положение городов как лидеров с точки зрения социально-экономических условий пока остается нетронутым.

Румынские крупнейшие города, в особенности Бухарест, являются очагами относительного соци-

ально-экономического благополучия над периферийными регионами, депопулирующими в связи с их искаженной возрастной структурой, отражающей миграционные процессы прошлого. Пригородные зоны получили ограниченное развитие при абсолютном лидерстве городских центров.

Пространственным отражением социально-экономической дифференциации в России является усиление разрыва между городскими и пригородными территориями и остальными обширными пространствами. Влияние больших городов в условиях разряженного расселения на окружающую сельскую территорию усиливается. Российские сельские территории, за исключением пригородных зон, имеют крайне ограниченный потенциал для сокращения социально-экономического разрыва с городскими центрами.

Таким образом, основным выводом данной работы можно считать тезис о том, что внутрирегиональная пространственная конвергенция не является обязательным следствием социально-экономического развития территории. Наоборот, в зависимости от особенностей системы расселения и плотности населения возможно формирование пространственных форм территориального развития, способствующих нарастанию социально-экономической дифференциации.

Благодарности. Сбор материалов, выработка методики и написание статьи выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ «Трансформация различных типов сельской местности России под влиянием внутренних и внешних факторов в современных социально-экономических и демографических условиях» № 21-17-00112.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев А.И., Zubarevich H.B. Кризис урбанизации и сельская местность России // Проблемы прогнозирования. 2000. № 4. С. 138–146.
- Зотова М.В., Колосов В.А., Гриценко А.А., Себенцов А.Б., Карпенко М.С. Территориальные градиенты социально-экономического развития российского пограничья // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018. № 5. С. 7–21.
- Латин А.В. Теоретико-методологические подходы к проблеме социально-экономической дифференциации территорий // Современные научные исследования и разработки. 2017. № 6. С. 109–124.
- Махрова А.Г., Нефедова Т.Г., Трейвиш А.И. Поляризация пространства центрально-российского мегалополиса и мобильность населения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2016. № 5. С. 77–85.
- Нефедова Т.Г. Сжатие и поляризация сельского пространства России // Демоскоп Weekly. 2012. № 507–508. С. 16–29.
- Трейвиш А.И. Неравномерность и структурное разнообразие пространственного развития экономики как научная проблема и российская реальность // Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 4. С. 1–28.
- Трейвиш А.И. «Сжатие» пространства: трактовка модели // Сжатие социально-экономического пространства: новое в теории регионального развития и практике его государственного регулирования. 2010. С. 16–31.
- Banski J. Spatial differences in the transformation processes taking place in rural areas of East-Central Europe, *Three Decades of Transformation in the East-Central European Countryside*, 2019, p. 3–19.
- Churski P., Herodowicz T., Konecka-Szydłowska B., Perdal R. Differentiation of the Socio-Economic Development of Poland – “Invisible” Historical Heritage, *Land*, 2021, vol. 10, no. 11, p. 12–47.
- Dachin A. Rural development-a basic condition for narrowing regional disparities in Romania, *Romanian Journal of Regional Science*, 2008, vol. 2, no. 2, p. 106–117.
- Ianos I., Petrișor A.-I., Zamfir D., Cercleux A.-L., Stoica I.-V., Talanga C. In search of a relevant index measuring territorial disparities in a transition country. Romania as a case study, *Die Erde-Journal of the Geographical Society of Berlin*, 2013, vol. 144, no. 1, p. 69–81.
- Kulcsar L.J., Bradatan C. The greying periphery – Ageing and community development in rural Romania and

- Bulgaria, *Europe – Asia Studies*, 2014, vol. 66, no. 5, p. 794–810.
- Leibert T. The peripheralization of rural areas in post-socialist Central Europe: A case of fragmenting development? Lessons from rural Hungary, *Peripheralization*, 2013, p. 101–120.
- Lupinski W. Suburbanisation in Poland, *Geogr. Inf.*, 2014, vol. 18, p. 104–113.
- Penzes J. The dimensions of peripheral areas and their restructuring in Central Europe, *Hungarian geographical bulletin*, 2013, vol. 62, no. 4, p. 373–386.
- Wojewodzka-Wiewiorska A., Dudek H. Dynamics of rural areas development in Poland – convergence analysis, *Research for Rural Development*, 2016, vol. 2, p. 99–105.
- Электронные источники
База Венгерского центрального статистического офиса TIMEA. URL: <https://map.ksh.hu/timea/?locale=en> (дата обращения 01.03.2022).
- База данных показателей муниципальных образований Росстата. URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (дата обращения 20.03.2022).
- База данных показателей муниципальных образований: объединенные и обработанные данные за 2006–2020 гг. // Росстат; обработка: М.В. Веденьков, М.О. Комин, М.В. Цыганков, Инфраструктура научно-исследовательских данных. АНО «ЦПУР». URL: <http://data-in.ru/data-catalog/datasets/115/> (дата обращения 18.02.2022).
- База локальных данных Польши GUS BDL. URL: <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start/> (дата обращения 28.02.2022).
- База территориальной статистики Румынии TEMPO online. URL: <http://statistici.insse.ro:8077/tempo-online/> (дата обращения 03.03.2022).

Поступила в редакцию 17.02.2022

После доработки 25.04.2022

Принята к публикации 27.06.2022

TYPES OF RURAL AND URBAN TERRITORIES IN POLAND, HUNGARY, ROMANIA AND EUROPEAN RUSSIA

A. M. Ershov

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, Master in Geography; e-mail: AlexiusErshov@ya.ru

Four post-socialist countries of Eastern Europe (Poland, Hungary, Romania and Russia) were comparatively analyzed in terms of the relative position and dynamics of different types of territories over a ten-year period from 2010 to 2020. The author develops methodological ideas about the usage of individual typology to create a socio-economic profile of a territory in order to identify spatial inequality of the countries under study upon socio-demographic, economic and infrastructural indicators. The results of the analysis allowed concluding about dominant trends of socio-economic differentiation between rural, urban and peri-urban zones. It was found that the intraregional spatial convergence is not an obligatory consequence of the socio-economic development of a country. The transformation processes which accompany the post-socialist transition led to the formation of different models of spatial socio-economic differentiation in each country, i. e. relatively balanced development in Poland, zonal development in Hungary and differentiated development in Romania and European Russia. The author suggests a concept of main stages and directions of the socio-economic differentiation of territories, which helps to systematize statistically-obtained conclusions.

Keywords: socio-economic differentiation, rural-urban continuum, spatial inequality, rural area, post-socialist period, Eastern Europe

Acknowledgements. The collection of database, the elaboration of methodology and the writing of the article were financially supported by the Russian Science Foundation (project no. 21-17-00112 “Transformation of various types of rural areas of Russia under the influence of internal and external factors in modern socio-economic and demographic conditions”).

REFERENCES

- Alekseev A.I., Zubarevich N.V. Krizis urbanizacii i sel'skaya mestnost' Rossii [The crisis of urbanization and the rural area of Russia], *Problemy prognozirovaniya*, 2000, no. 4, p. 138–146. (In Russian)
- Banski J. Spatial differences in the transformation processes taking place in rural areas of East-Central Europe // *Three Decades of Transformation in the East-Central European Countryside*, 2019, p. 3–19.
- Churski P., Herodowicz T., Konecka-Szydłowska B., Perdal R. Differentiation of the Socio-Economic Development of Poland – “Invisible” Historical Heritage, *Land*, 2021, vol. 10, no. 11, p. 12–47.
- Dachin A. Rural development-a basic condition for narrowing regional disparities in Romania, *Romanian Journal of Regional Science*, 2008, vol. 2, no. 2, p. 106–117.

- Ianos I., Petrișor A.-I., Zamfir D., Cercleux A.-L., Stoica I.-V., Talanga C. In search of a relevant index measuring territorial disparities in a transition country. Romania as a case study, *Die Erde – Journal of the Geographical Society of Berlin*, 2013, vol. 144, no. 1, p. 69–81.
- Kulcsar L.J., Bradatan C. The greying periphery – Ageing and community development in rural Romania and Bulgaria, *Europe-Asia Studies*, 2014, vol. 66, no. 5, p. 794–810.
- Lapin A.V. Teoretiko-metodologicheskie podhody k probleme social'no-ekonomicheskoy differenciacii territorij [Theoretical and methodological approaches to the problem of socio-economic differentiation of territories], *Sovremennye nauchnye issledovaniya i razrabotki*, 2017, no. 6, p. 109–124. (In Russian)
- Leibert T. The peripheralization of rural areas in post-socialist Central Europe: A case of fragmenting development? Lessons from rural Hungary, *Peripheralization*, 2013, p. 101–120.
- Lupinski W. Suburbanisation in Poland, *Geogr. Inf.* 2014, vol. 18, p. 104–113.
- Mahrova A.G., Nefyodova T.G., Trejvish A.I. Poliarizatsiya prostranstva central'no-rossijskogo megalopolisa i mobil'nost' naseleniya [Polarization of space of the Central Russian megalopolis and the mobility of population], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2016, no. 5, p. 77–85. (In Russian)
- Nefyodova T.G. Kostromskaya periferiya v fokuse problem periferijnyh rajonov Rossii // Severnoe selo: tradicii i innovacii [Kostroma periphery in the focus of the problems of peripheral regions of Russia], *Soobshchestvo professional'nyh sociologov*, 2010, p. 40–69. (In Russian)
- Nefyodova T.G. Szhatie i poliarizatsiya sel'skogo prostranstva Rossii [Compression and polarization of the rural space of Russia], *Weekly*, 2012, no. 507–508, p. 16–29. (In Russian)
- Penzes J. The dimensions of peripheral areas and their restructuring in Central Europe, *Hungarian geographical bulletin*, 2013, vol. 62, no. 4, p. 373–386.
- Trejvish A.I. [“Compression” of space: interpretation of the model] *Szhatie social'no-ekonomicheskogo prostranstva: novoe v teorii regional'nogo razvitiya i praktike ego gosudarstvennogo regulirovaniya* [The compression of socio-economic space: new in the theory of regional development and the practice of its state regulation], 2010, p. 16–31. (In Russian)
- Trejvish A.I. Neravnomernost' i strukturnoe raznoobrazie prostranstvennogo razvitiya ekonomiki kak nauchnaya problema i rossijskaya real'nost' [The unevenness and structural diversity of the spatial development of economy as a scientific problem and Russian reality], *Prostranstvennaya ekonomika*, 2019, vol. 15, no. 4, p. 1–28. (In Russian)
- Wojewodzka-Wiewiorska A., Dudek H. Dynamics of rural areas development in Poland –convergence analysis, *Research for Rural Development*, 2016, vol. 2, p. 99–105.
- Zotova M.V., Kolosov V.A., Gritsenko A.A., Sebestov A.B., Karpenko M.S. Territorial'nye gradienty social'no-ekonomicheskogo razvitiya rossijskogo pogranich'ya [Territorial gradients of the socio-economic development of the Russian borderland], *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2018, no. 5, p. 7–21. (In Russian)
- Web sources*
- Baza dannyh pokazatelej municipal'nyh obrazovanij Ross-tata [The Rosstat database of indicators for municipalities], URL: <https://www.gks.ru/dbscripts/munst/> (access date 20.03.2022).
- Baza dannyh pokazatelej municipal'nyh obrazovanij: ob"edinennye i obrabotannye dannye za 2006–2020 gg. [Database of municipal indicators: combined and processed data for 2006–2020], Rosstat, obrabotka M.V. Veden'kov, M.O. Komin, M.V. Cygankov, Infrastruktura nauchno-issledovatel'skih dannyh, ANO “CPUR”, URL: <http://data-in.ru/data-catalog/datasets/115/> (access date 18.02.2022).
- Baza lokal'nyh dannyh Pol'shi GUS BDL [Local database of Poland GUS BDL], URL: <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/start/> (access date 28.02.2022).
- Baza territorial'noj statistiki Rumynii TEMPO online [Romanian Territorial Statistics Database TEMPO online], URL: <http://statistici.INSSE.ro:8077/tempo-online/> (access date 03.03.2022).
- Baza Vengerskogo central'nogo statisticheskogo ofisa TIMEA [Database of the Hungarian Central Statistical Office of TIMEA], URL: <https://map.ksh.hu/timea/?locale=en> (access date 01.03.2022).

Received 17.02.2022

Revised 25.04.2022

Accepted 27.06.2022

ИСТОРИЯ ГЕОГРАФИИ

УДК 910:378

СТОЛЕТИЕ ПЕРВОЙ УЧЕБНОЙ ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ПРАКТИКИ МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА В ПОДМОСКОВЬЕ

А.А. Агирречу

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России, ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: agir@mail.ru

В 1922 г. состоялся первый опыт проведения стационарной общегеографической практики студентов Московского университета в Подмоскowie. Статья, поводом для которой стала публикация столетней давности участника практики, студента Б. Шустова, посвящена предпосылкам организации работы студентов на географической станции в Верейском уезде Московской губернии, описанию места и формата проведения практики, программе исследований, включающей в основном метеорологическую, геоморфологическую, геодезическую и биогеографическую части. В силу различных обстоятельств первый опыт проведения стационарной практики в Подмоскowie не получил своего логического продолжения. Позднее также были попытки создания базы проведения практики, но удалось сделать это только почти через четверть века. При этом первый опыт такой практики в определенной степени заложил некоторые начальные принципы проведения общегеографических научных исследований в стационарных условиях на территории Подмоскowie в учебно-практических целях. В статье также приводится информация об авторе статьи Б.С. Шустове, который после окончания университета полтора десятилетия активно занимался научной и преподавательской деятельностью в НИИ географии и на географическом отделении (позднее – факультете) МГУ, а потом в Рязанской области.

Ключевые слова: география, студент, географическая станция, база, практика, Б.С. Шустов

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.11

ВВЕДЕНИЕ

Подготовка географов в Московском университете началась с образованием в 1884 г. по инициативе Д.Н. Анучина кафедры географии и этнографии на историко-филологическом факультете, которая спустя четыре года была передана на физико-математический факультет [Летопись Московского..., 2004, с. 198]. В 1919 г. кафедра разделилась на две: кафедру географии (зав. каф. А.А. Крубер) и кафедру антропологии и этнографии (зав. каф. Д.Н. Анучин). В 1922 г. произошло одно из первых «структурных» изменений на «громоздком» физико-математическом факультете Московского университета, когда его естественное отделение разделилось на биологическое и почвенно-геолого-географическое (окончательная реформа физматов произошла только в 1930–1931 гг.), что стало причиной и переработки имеющихся учебных планов (в частности, в учебный план географов были введены новые дисциплины: сравнительное страноведение, биогеография, география азиатской части СССР, антропогеография) [Соловьев, 1940, с. 58].

Обучение студентов на кафедре, из которой вышли многие выдающиеся географы первой трети XX в. (А.С. Барков, Л.С. Берг, А.А. Борзов, С.Г. Григорьев, А.А. Крубер и др.), в основном носило теоретический характер без каких-либо практических занятий на том или ином полигоне. Для получения навыков практической работы в то время студенты в основном участвовали в экспедициях, проходивших в различных районах страны и имеющих своей целью изучение территории с решением тех или иных научных или практических задач. Хотя определенным элементом обучения, видимо, были и географические экскурсии в Подмоскowie, активным сторонником которых являлся А.А. Борзов. В середине 1920-х гг. он выпустил книжку, включающую описание нескольких экскурсионных маршрутов в окрестностях Москвы [Борзов, 1925]¹; пособие в значительной степени было ориентировано на школьных преподавателей географии.

¹ Позднее вышло второе издание, подготовленное в соавторстве [Борзов, Семихатова, 1933], в нем число описанных маршрутов увеличилось с четырех до семи.

Пролистывая подшивки журнала «Землеведение» за 1920-е гг. (основного московского периодического географического издания), нам удалось обнаружить в номере за 1922 г. любопытную статью студента кафедры географии того периода Бориса Шустова «Отчет о летней географической станции студентов-географов Московского университета (при деревне Мякишево, лето 1922 г.)» [Шустов, 1922].

Статья, датированная 7 сентября 1922 г., свидетельствует о том, что в течение двух месяцев лета 1922 г. впервые состоялась подмосковная практика студентов-географов Московского университета. При этом сразу отметим, что в статье ни разу не встречается столь привычное нам слово «практика», в ней говорится о «работе на станции». Лишь в более поздних упоминаниях об этом событии в истории университетской географии используется уже слово «практика». Мы в своей публикации также будем использовать ставшее уже традиционным для нас понятие. Попытаемся кратко, но с привлечением и других немногочисленных литературных источников рассказать об этом событии – о месте проведения и характере работ, а также связать его с дальнейшим развитием этого важного элемента подготовки географов.

ИДЕЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ И ЕЕ ПОДГОТОВКА

Инициатива практики – «организация летом географической станции для практических и исследовательских работ», проведение полезной работы вне «душной Москвы» исходила от студентов в начале 1922 г. Предметная комиссия кафедры географии поддержала идею студентов. Целью работ «было намечено составление географического очерка окружающей станцию местности, а также сбор коллекций по всем отраслям естествознания» (пока сложно сказать, был ли в итоге такой очерк составлен и сохранился ли он; по сути, это должен был быть своеобразный отчет по практике).

В качестве «помещения для летней станции через одного из студентов удалось получить от С.Д. Долганова разрешение [безвозмездно] занять принадлежащий ему хутор в Наро-Фоминском уезде Московской губернии близ деревни Мякишево».

Попытки найти информацию об этой деревне или о владельце хутора дали пока не много результатов, но тем не менее кое-что удалось найти. В справочном издании «Населенные местности Московской губернии» за 1911 г. [Населенные местности..., 1911] (и в аналогичном за 1913 г.) в составе Ташировской волости Вереяского уезда фигурирует крестьянское поселение «деревня Мякишево», находящееся в 30 верстах от уездного города и в 11 верстах от железнодорожной станции Нара

(село Наро-Фоминское входило в этот уезд). Также из этого источника мы видим, что в деревне было 24 двора; в примечании указано, что здесь (или рядом) находятся «имения Долганова и Арцыбашева и ремесленная школа». На наше удивление фамилия владельца имения и хутора (спустя 11 лет) совпали (другой информации о владельце пока найти не удалось). Через деревню Мякишево тогда действительно проходила основная дорога от Кубинки на Верею и к станции Нара. Эта деревня существует и сегодня в составе Наро-Фоминского района Московской области между Кубинкой и Наро-Фоминском на берегу р. Нара. В ее окрестностях сейчас много различных СНТ, а также рядом на «первой бетонке» находится один из пунктов противовоздушной обороны столицы, сооруженный уже во второй половине XX в. (ныне, видимо, заброшенный).

Итак, место организации станции было определено уже весной 1922 г. Профессор А.А. Крубер взял на себя заведывание ею, «хозяйственной частью» и заместителем заведующего станцией был избран студент Б. Шустов. Весной была проведена подготовительная работа, связанная «с получением геодезических приборов для производства съемки, анероидов... а также карты местности в 2-х верстовом масштабе»². Сложность в организации работ была обусловлена не только частичным дефицитом оборудования (которое удалось тем не менее собрать, в том числе с помощью Географического музея университета), но и традиционным дефицитом денежных средств, которые в основном были собраны самими студентами.

РАБОТА СТАНЦИИ В МЯКИШЕВО

6 июня 1922 г. группа из девяти студентов (и трех учащихся других учебных заведений в качестве технических помощников) выехала на станцию, где провела более двух месяцев (до 13 августа). Нам сложно сейчас однозначно установить, студенты какого года обучения в тот период были в Мякишево. По всей видимости, это не были студенты первого курса, поступившие годом ранее в университет, т. е. это не была практика для студентов 1-го курса в современном понимании. Следует отметить, что, с одной стороны, численность студентов на кафедре географии тогда была небольшая (прием был не постоянным и составлял до восьми студентов в год), с другой – в тот период при четырехлетнем образовании географическая (как и иная другая) специализация начиналась на 2–3-м курсах, при этом, по словам А.И. Соловьева, «некоторые студенты задерживались в университете по 5–8 лет, работая на стороне

² Здесь и далее, если не указан иной источник, цитаты приводятся из статьи [Шустов, 1922].

и сдавая в год посильный минимум предметов» [Соловьев, 1940, с. 59].

Как указано в статье о практике 1922 г., в течение двух месяцев «станцию посетили и руководили экскурсиями в окрестности и практическими занятиями профессора А.А. Крубер и С.Г. Григорьев, преподаватели И.С. Щукин и И.С. Силинич», т. е. основные сотрудники кафедры географии того периода.

РАБОТА СТУДЕНТОВ НА ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Сразу же по прибытии студенты по просьбе администрации Мякишевской сельскохозяйственной школы (видимо это школа, которая одиннадцатью годами ранее была указана в справочнике как «ремесленная») «приняли в свое заведывание метеорологическую станцию второго разряда Московского губ. зем. отдела». Далее в статье указывается, что с 1 июля по 12 августа также проводились наблюдения на метеорологической станции (возможно, уже «своей», параллельно).

Во время работы в Мякишево был сделан «ряд анероидных измерений высот, был описан в общих чертах рельеф местности, произведено измерение поперечного сечения р. Нары близ станции», проводились геодезические работы – «маршрутные съемки буссолью и мензулой». Также детально были сняты окрестности станции и в крупном масштабе (мензулой) участок р. Нары.

Дальние маршруты охватывали широкое пространство вокруг станции в радиусе от 15 до 30 км – на север и северо-запад до станций Кубинка и Шелковка (Дорохово) Александровской (ныне – Белорусской) железной дороги, на юго-восток до станции Нара (Киевская железная дорога), на юго-запад – до уездного города Верея. Как говорится в статье, все экскурсии проводились пешком, иногда проходя в день до 35 верст (около 37–38 км).

Важными элементами работы были ботаническая часть, в ходе которой изучались растительные сообщества и собирался гербарий (около 300 видов растений), и зоологическая часть, включающая наблюдения за жизнью и привычками животных. Также профессором С.Г. Григорьевым проводились биологические экскурсии. Некоторые студенты проводили помимо этого этнографические и антропогеографические (по сути, экономико-географические) наблюдения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВОГО ОПЫТА ПРОВЕДЕНИЯ ПРАКТИКИ

По всей видимости, в 1922 г. был единичный случай проведения стационарной практики в Подмосковье, который не повторился в последующие годы. Мы не встретили каких-то свидетельств о по-

добных мероприятиях позднее, во второй половине 1920-х гг. О том периоде есть опубликованные воспоминания студентов тех лет. Например, Ю.Г. Саушкин (выпускник 1932 г.) подробно рассказывает о студенческой жизни, преподавателях, занятиях, экспедициях, но о практике такого формата информации нет. Он лишь пишет: «Мы старались больше выходить в чудесные подмосковные места. У станции Тайнинка В.М. Никифоров проводил с нами геодезическую практику. <...> Меннер раскрывал перед нами методы полевых геологических исследований...» [Саушкин, 2011, с. 69].

В упоминаемой статье А.И. Соловьева (выпускник 1931 г.) говорится как раз о том, что только «в 1922 г. существовала подмосковная станция для полевой практики студентов» [Соловьев, 1940, с. 59], без указания места. В более поздней статье 1955 г. И.В. Никольского (выпускник 1931 г.) с соавторами говорится, что «придавая большое значение полевой практике, географы МГУ... впервые организовали на добровольных началах практику студентов по географии и краеведению (в Подмосковье) на хуторе Долганово Наро-Фоминского района» [Никольский и др., 1955, с. 48]. Об этом же факте и месте есть упоминание и в статье И.А. Орловой в том же сборнике [Орлова, 1955, с. 265]. Правда, в обеих статьях 1955 г. упоминается 1921-й, а не 1922 г., что, по всей видимости, является ошибкой, так как у нас есть более ранние и точные свидетельства года проведения этой практики, по сути, от одного из организаторов и участников этого события.

В том же сборнике 1955 г., в статье К.В. Зворыкина «Учебные и учебно-научные станции географического факультета» говорится, что в 1926 г. была попытка организации по инициативе А.А. Крубера и А.А. Борзова научной географической станции на озере Плещеево в г. Переславль-Залесский. Благодаря содействию местного краеведческого общества было получено помещение для организации географической станции и летом 1926 г., несколько студентов и аспирантов работали там под руководством приват-доцента кафедры В.Ф. Пиотровского [Деятельность Географического..., 1926, с. 114]. Но позднее «из-за отсутствия средств и трудностей связи с Москвой» станция была закрыта [Зворыкин, 1955, с. 226].

Итак, различные попытки создания базы географов Московского университета в Подмосковье в 1920-х гг. не получили своего продолжения, хотя вопрос о необходимости таковой и в дальнейшем не раз поднимался. В 1930-е гг. некоторые практики все-таки стали систематически проводиться – по топографии с 1934 по 1945 г. с увеличивающейся от двух до пяти недель продолжительностью в различных районах ближнего Подмосковья (на Ленинских

горах, на Потылихе, у ст. Матвеевское Киевской железной дороги – самое подходящее место для съемки рельефа, в Загорске, у ст. Клязьма и Валентиновка Ярославской железной дороги) [Асеев, Лисицына, 1950, с. 219]), геологии и общей физической географии [Первухин, 1933]. А на общем собрании коллектива НИИ географии и почвенно-географического факультета в 1935 г. обсуждался вопрос о создании постоянных баз факультета [Орлова, 1955, с. 270], что удалось осуществить лишь спустя 10 лет – в 1945 г., когда около территории, используемой Московским университетом для ведения подсобного хозяйства, в поселке Красновидово Можайского района на берегу Москвы-реки была создана первая постоянная «научно-исследовательская

географическая станция и учебно-производственная база» географического факультета [Летопись Московского..., 2004, с. 489]. Красновидово более чем на два десятилетия стало постоянным местом проведения общегеографической практики студентов 1-го курса географического факультета. После сооружения Можайского водохранилища (что усложнило здесь полноценное проведение практики) было найдено новое место – д. Сатино Боровского района Калужской области на берегу р. Протвы, где с 1968 г. (с перерывом на четыре года) стали проводиться общегеографические практики студентов 1-го курса. А база в Красновидово продолжила свое функционирование, выполняя уже иные научные и учебно-практические задачи (рис.).

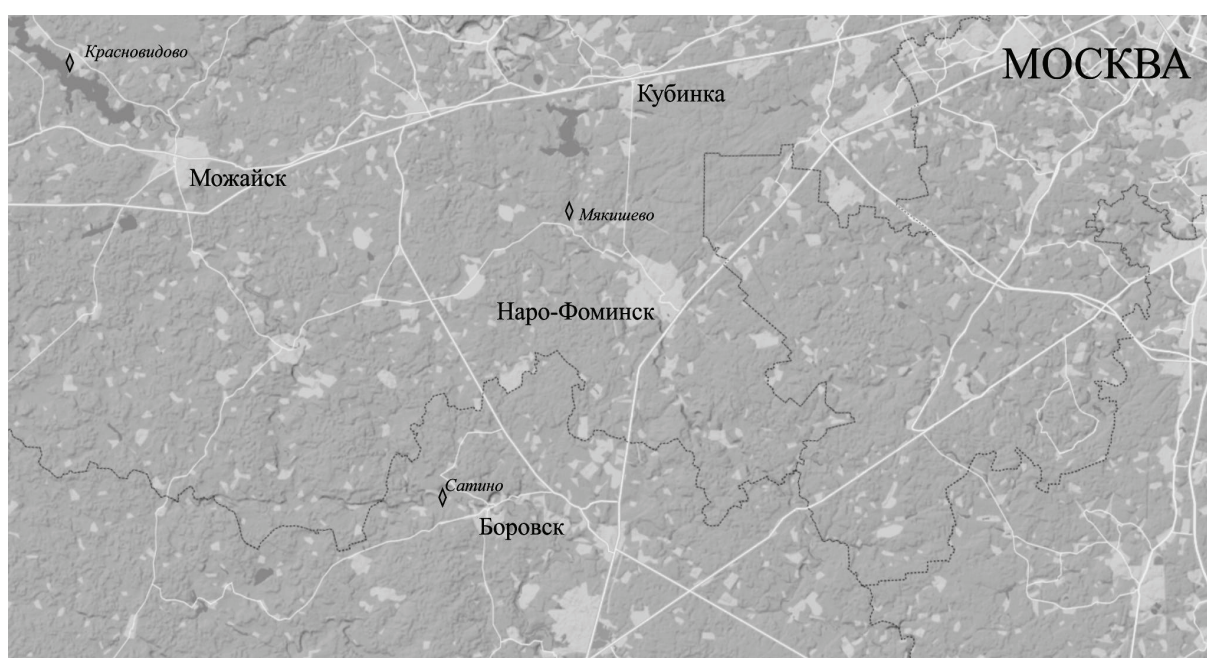


Рис. Карта-схема размещения основных станций общегеографической практики географов Московского университета в Подмоскowie в XX в.

Источник: составлено автором на основе www.google.ru/maps

Fig. Schematic map of the location of main stations for the general geographical practice of geographers of the Moscow University in the Moscow region in the 20th century. Compiled by the author basing on www.google.ru/maps

Но тем не менее попытка создания базы для проведения практики осуществлена еще 100 лет назад, когда был проведен первый подобный опыт географов Московского университета в Подмоскowie, не получивший на том этапе, в силу различных обстоятельств, своего логического продолжения.

Следует отметить, что Московский университет был не первым в создании выездной стационарной практики (может быть отчасти в связи с небольшим числом студентов-географов в тот период).

Первый опыт создания подобной практики студентов в рамках летнего триместра состоялся в Пе-

трограде в Географическом институте, ректором которого являлся академик А.Е. Ферсман, а ученым секретарем – будущий академик и основатель Института географии АН СССР А.А. Григорьев [Список персонала..., 1921, с. 171]. В июле 1919 г. станция была обустроена в г. Павловске, в ее работе приняли участие 56 студентов, которые прошли практики по восьми дисциплинам (включая астрономию и рисование) [Григорьев, 1921, с. 148–149]. Уже спустя год было найдено новое место проведения практики – в окрестностях ст. Саблино Николаевской (ныне – Октябрьской) железной дороги,

где удалось организовать общежитие на 50 человек, а практику, включавшую уже 16 дисциплин, проходило 65 студентов. Исходя из предшествующего опыта, к лету 1921 г. были разработаны план и программа проведения практики, которые с тех пор стали проходить в Саблино постоянно и планомерно [Исаченко, Николаева, 2000, с. 95–96]³.

В 1921 г. студентом Географического института в Петрограде стал будущий академик и декан географического факультета МГУ в послевоенное десятилетие К.К. Марков, который, наряду с другими студентами, также проходил практику в Саблино. Во многом, наверное, благодаря своему студенческому опыту, в 1945 г. им было инициировано создание базы в Красновидово. Как позднее писал К.К. Марков, «“Московское Саблино” – так называл Красновидово В.Н. Сукачев, и он был прав: использован был опыт Саблино...» [Марков, 1973, с. 59].

Активная фаза развития географического образования в нашей стране началась во второй половине 1930-х гг., когда географические факультеты и кафедры начали массово формироваться в вузах различных городов нашей страны. Но стационарные базы для проведения практик, сохранившиеся до нашего времени, в основном уже стали появляться в послевоенный период, а местами даже в 1970–1980-е гг. [Учебно-научные..., 2001].

ОБ АВТОРЕ СТАТЬИ

Говоря о событиях столетней давности, информация о которых стала известна благодаря статье в журнале «Землеведение», нельзя не сказать несколько слов о Б.С. Шустове – авторе этой публикации, который позднее стал может быть не столь известным, но тем не менее достаточно деятельным географом и физико-географом.

Борис Сергеевич Шустов (1901–1979) родился в Москве, в семье служащего. После окончания в 1918 г. школы второй ступени (средней школы) он поступил на физико-математический факультет Московского университета, который закончил в 1924 г. Считается, что это был один из самых сильных (и больших) наборов на географическую специальность в тот период; одновременно с Б. Шустовым студентами стали в дальнейшем видные исследователи и работники высшей и средней школы: Л.И. Семихатова, Т.Н. Губнина, В.И. Монахова (позднее была доцентом МГПИ им. В.И. Ленина), А.А. Дометти (географ-методист, преподаватель географии в школе⁴) и др. [Соловьев, 1940, с. 58].

³ С тех пор Саблино – основная база проведения практики географов Ленинградского (Санкт-Петербургского) университета, которая уже «перешагнула» свой столетний юбилей.

⁴ По воспоминаниям А.Д. Сахарова, Аглаида Александровна была его учителем географии в школе [Сахаров, 1990, с. 24].

После окончания они стали аспирантами или сотрудниками недавно организованного НИИ географии Московского университета.

Очень большое значение в тот период имела экспедиционная деятельность. В этом участвовали не только сотрудники кафедры и НИИ, но также студенты и аспиранты. Б. Шустов, будучи еще студентом, летом 1923 г. вместе с профессором А.А. Крубера в рамках работ Российского общества по изучению Крыма занимался «исследованием в геоморфологическом отношении восточной части Крыма» [Основание и деятельность..., 1924, с. 276]. Позднее, летом 1926 г., уже являясь аспирантом, он работал в Одессе, Севастополе, Феодосии, Ростове и Новороссийске по вопросу о черноморском транспорте и, в частности, о замерзании Азовского моря [Деятельность Географического..., 1926, с. 114]. Б. Шустов принимал активное участие в работе географического отделения Общества любителей естествознания, антропологии и этнографии, в том числе с докладами по итогам своих экспедиций. После доклада на тему «К хозяйственному районированию Крыма» на одном из таких заседаний 2 декабря 1924 г. он был рекомендован к избранию в действительные члены Общества [Протоколы заседаний..., 1925, с. 174].

Занимаясь изучением Крыма, Б.С. Шустов в 1927 г. в серии «Экономико-географические очерки СССР» выпустил брошюру про Крымскую АССР [Шустов, 1927]. Спустя год в серии «Наука и техника» вышла его книга «Моря и океаны» [Шустов, 1928].

После окончания аспирантуры в 1928 г. Б.С. Шустов остался работать в НИИ географии, с 1933 г., будучи уже доцентом кафедры физической географии, читал курс «Метеорология и климатология» [Соловьев, 1940, с. 68]. В 1935 г. Борис Сергеевич был в числе первых географов на факультете, кому была присвоена ученая степень кандидата географических наук без защиты диссертации [География..., 1955, с. 7]. Тематика его научно-исследовательской деятельности была связана с вопросами изучения морей и океанов, в том числе его «работы по изучению туманов Азовского моря и волнений у черноморских берегов в пределах СССР получили положительную оценку и признаны имеющими крупное оборонное значение» [Борзов, 1951, с. 349].

В начале Великой Отечественной войны, уволившись из МГУ, Б.С. Шустов эвакуировался в Рыбновский район Рязанской области, где работал учителем географии, завучем и директором средней школы. После войны он остался на Рязанщине. С декабря 1944 г. Борис Сергеевич работал в Рязанском педагогическом институте,

в том числе до 1953 г. – зав. кафедрой географии и геологии, а затем – доцентом кафедры. В 1959 г. он вернулся в Рыбное в среднюю школу. В послевоенный период его работы были посвящены в основном географии и краеведению Рязанской области [Шустов..., 2003].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, благодаря статье Б.С. Шустова, опубликованной в журнале «Землеведение», и другим источникам мы можем констатировать, что 100 лет назад, в течение двух месяцев лета 1922 г. в Подмоскovie (к юго-западу от столицы) состоялся первый опыт проведения полевых исследований на стационарной практике для студентов-географов Московского университета.

Эта практика (работа студентов на географической станции), организованная в первую очередь благодаря инициативе самих студентов и с их активным участием, в силу разных обстоятельств не стала на том этапе традиционной, проводившейся

для следующих поколений студентов-географов. Но в любом случае, этот опыт в какой-то степени послужил подтверждением необходимости проведения таких практик в Подмоскovie и стимулом для поиска места проведения стационарной общегеографической практики в регионе. Это удалось успешно реализовать только спустя почти четверть века, когда была образована база в Красновидово (в западном Подмоскovie), а затем спустя еще два десятилетия была создана нынешняя база общегеографической практики в Сатино Калужской области (к юго-западу от Москвы). Характерно, что все три места проведения стационарных общегеографических практик находятся в пределах краевой зоны московского оледенения, в подзоне смешанных лесов, фактически в одном западном – юго-западном секторе большого Подмоскovia. Думается, это не случайно, поскольку эти природные условия репрезентативны для крупного региона, в котором располагается МГУ, – центра Восточно-Европейской равнины.

Благодарность. Статья подготовлена в рамках выполнения госзадания «Современная динамика и факторы социально-экономического развития регионов и городов России и стран Ближнего Зарубежья» (№ 121051100161-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Асеев А.А., Лисицына Г.Н. Учебная и производственная практика студентов географического факультета МГУ // Высшее географическое образование. Вопросы географии. Сб. 18. М.: Географиз, 1950. С. 219–227.
- Борзов А.А. Географические экскурсии в окрестностях Москвы. М.: Новая Москва, 1925. 78 с.
- Борзов А.А. Научно-исследовательский институт географии МГУ // Географические работы. М.: Географиз, 1951. С. 336–350.
- Борзов А.А., Семихатова Л.И. Географические экскурсии под Москвой: метод. пособие для учителей. 2-е изд., доп. М.: Учпедгиз, 1933. 119 с.
- География в Московском университете за 200 лет. 1755–1955. Справочный материал / отв. ред. К.К. Марков, Ю.Г. Саушкин, А.И. Соловьев. М.: Геогр. ф-т МГУ, 1955. 111 с.
- Григорьев А.А. Географический институт в 1919 и 1920 годах // Известия Географического института. 1921. Вып. 2. С. 143–164.
- Деятельность Географического научно-исследовательского института при 1-м МГУ за 1925–1926 гг. // Землеведение. 1926. Т. 28. № 3–4. С. 112–114.
- Исаченко Г.А., Николаева Т.В. Роль учебно-научных станций в географическом образовании // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2000. Вып. 2. С. 95–100.
- Зворыкин К.В. Учебные и учебно-научные станции географического факультета // География в Московском университете за 200 лет. 1755–1955 / под ред. К.К. Маркова, Ю.Г. Саушкина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1955. С. 225–232.
- Летопись Московского университета: в 3 т. Т. 1. 1755–1952 / авт.-сост. Е.В. Ильченко. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2004. 624 с.
- Марков К.К. Воспоминания и размышления географа. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1973. 118 с.
- Населенные местности Московской губернии: [стат. сб.] / под ред. Б.Н. Пенкина. М.: Моск. столич. и губ. стат. ком., 1911. 459 с.
- Никольский И.В., Цедлер Е.Э., Антошко Я.В. Географический факультет после Великой Октябрьской социалистической революции // География в Московском университете за 200 лет. 1755–1955 / под ред. К.К. Маркова, Ю.Г. Саушкина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1955. С. 47–65.
- Орлова И.А. Полевая практика студентов-географов в Московском университете // География в Московском университете за 200 лет. 1755–1955 / под ред. К.К. Маркова, Ю.Г. Саушкина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1955. С. 261–286.
- Основание и деятельность российского о-ва по изучению Крыма // Землеведение. 1924. Т. 26. № 1–2. С. 275–276.
- Первухин М. Почвенно-географический факультет // За пролетарские кадры. 1933. № 25(206). 9 июня. С. 2–3.
- Протоколы заседаний Географического отделения общества любителей естествознания, антропологии и этнографии (с 7 марта 1924 г. по 12 мая 1925 г.) // Землеведение. 1925. Т. 27. № 1–2. С. 173–178.
- Саушкин Ю.Г. Студенческие годы // Географическое мышление. М.; Смоленск: Ойкумена, 2011. С. 59–92.
- Сахаров А.Д. Воспоминания // Знамя. 1990. № 10. С. 3–64.

- Соловьев А.И. Кафедра физической географии МГУ с 1917 г. // Ученые записки МГУ. Юбилейная серия. Вып. 55. География. М.: Изд. МГУ, 1940. С. 53–86.
- Список персонала Географического института к 1 января 1921 г. // Известия Географического института. 1921. Вып. 2. С. 171–179.
- Учебно-научные географические станции вузов России / под ред. Г.И. Рычагова, С.И. Антонова. М.: Геогр. ф-т МГУ, 2001. 589 с.
- Шустов Б. Отчет о летней географической станции студентов-географов Московского университета (при деревне Мякишево, лето 1922 г.) // Землеведение. 1922. Т. 25. № 3–4. С. 227–229.
- Шустов Б.С. Крымская АССР. М.: Плановое хозяйство, 1927. 63 с.
- Шустов Б.С. Моря и океаны. М.; Л.: Моск. рабочий, 1928. 111 с.
- Шустов Борис Сергеевич (1901–1978). Библиогр. указатель / сост. М.М. Тимофеева. Рязань, 2003. 7 с.

Поступила в редакцию 28.02.2022

После доработки 15.05.2022

Принята к публикации 27.06.2022

CENTENARY OF THE FIRST-EVER FIELD TRAINING FOR GEOGRAPHY STUDENTS OF THE MOSCOW UNIVERSITY IN THE MOSCOW REGION

A.A. Aguirrechu

Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia, Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: agir@mail.ru

In 1922, a first-ever stationary general geographical field training for students of the Moscow University was held in the Moscow region. The paper is inspired by a hundred-year-old publication by a trainee, then student B. Shustov, which describes the reasons for organizing the students' fieldwork at the geographical station in the Vereya district of Moscow Governorate, the place and the format of training, and the research program including mainly meteorological, geomorphologic, geodetic and biogeographic components. Due to various circumstances, the first experience of stationary training in the Moscow region went to nowhere. Later, there were further attempts to arrange a permanent base for training, but they became successful only after almost a quarter of a century. At the same time, the first experience of such training formed some initial principles for conducting general geographical research for educational and practical purposes in the Moscow area. The article also provides information about the author of the publication, B.S. Shustov, who after graduating from the university was for a decade and a half actively engaged in scientific and teaching activities at the Research Institute of Geography and at the geographical department (later – the faculty) of the Moscow State University, and then in the Ryazan oblast.

Keywords: geography, student, geographic research station, field training, field training base, B.S. Shustov

Acknowledgement. The article was prepared under the state task “Modern Dynamics and Factors of Socioeconomic Development of Regions and Cities of Russia and Countries of the Near Abroad” (topic no. 121051100161-9).

REFERENCES

- Aseyev A.A., Lisitsyna G.N. [Educational practice and internship for students of the MSU Faculty of Geography], *Vyssheye geograficheskoye obrazovaniye* [Higher geographical education], *Voprosy geografii*, iss. 18, Moscow, Geografiz Publ., 1950, p. 219–227. (In Russian)
- Borзов A.A. [Research Institute of Geography of the Moscow State University]. *Geograficheskiye raboty* [Geographical works], Moscow, Geografiz Publ., 1951, p. 336–350. (In Russian)
- Borзов A.A. *Geograficheskiye ekskursii v okrestnostyakh Moskvy* [Geographic excursions around Moscow], Moscow, Novaya Moskva Publ., 1925, 78 p. (In Russian)
- Borзов A.A., Semikhatova L.I. *Geograficheskiye ekskursii pod Moskvoy* [Geographical excursions near Moscow], 2 edition, Moscow, Uchpedgiz Publ., 1933, 119 p. (In Russian)
- Deyatel'nost' Geograficheskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta pri 1 MGU za 1925–1926 gg. [Activities of the Geographical Research Institute at the 1st Moscow State University for 1925–1926], *Zemlevedeniye*, 1926, vol. 28, no. 3–4, p. 112–114. (In Russian)
- Geografiya v Moskovskom universitete za 200 let, 1755–1955, Spravochnyy material* [Geography at Moscow University for 200 years, 1755–1955, Reference material], K.K. Markov, Yu.G. Saushkin, A.I. Solov'yev (eds.), Moscow, Geogr. f-t MGU Publ., 1955, 111 p. (In Russian)
- Grigor'yev A.A. *Geograficheskiy institut v 1919 i 1920 godakh* [Geographical Institute in 1919 and 1920], *Izvestiya Geogr. in-ta*, 1921, vol. 2, p. 143–164. (In Russian)
- Isachenko G.A., Nikolayeva T.V. Rol' uchebno-nauchnykh stantsiy v geograficheskoy obrazovanii [The role of educational and scientific stations in geographical educa-

- tion], *Vestn. S.-Peterb. un-ta, Ser. 7*, 2000, vol. 2, p. 95–100. (In Russian)
- Letopis' Moskovskogo universiteta* [Annals of Moscow University], in 3 vol., vol. 1, 1755–1952, auth.-comp. Ye.V. Il'chenko, Moscow, Moscow Univ. Publ., 2004, 624 p. (In Russian)
- Markov K.K. *Vospominaniya i razmyshleniya geografa* [Memoirs and reflections of a geographer], Moscow, Moscow Univ. Publ., 1973, 118 p. (In Russian)
- Naselennyye mestnosti Moskovskoy gubernii* [Populated areas of the Moscow province, stat. sb.], B.N. Penkin (ed.), Moscow, Mosk. stolich. i gub. stat. kom., 1911, 459 p. (In Russian)
- Nikol'skiy I.V., Tsedeler Ye.E., Antoshko Ya.V. [Faculty of Geography after the Great October Socialist Revolution], *Geografiya v Moskovskom universitete za 200 let, 1755–1955* [Geography at Moscow University for 200 years, 1755–1955], K.K. Markov, Yu.G. Saushkin (eds.), Moscow, Moscow Univ. Publ., 1955, p. 47–65. (In Russian)
- Orlova I.A. [Field training of geography students at the Moscow University], *Geografiya v Moskovskom universitete za 200 let, 1755–1955* [Geography at Moscow University for 200 years, 1755–1955], K.K. Markov, Yu.G. Saushkin (eds.), Moscow, Moscow Univ. Publ., 1955, p. 261–286. (In Russian)
- Osnovaniye i deyatelnost' rossiyskogo o-va po izucheniyu Kryma [Foundation and activities of the Russian Society for the study of the Crimea], *Zemlevedeniye*, 1924, vol. 26, no. 1–2, p. 275–276. (In Russian)
- Pervukhin M. Pochvenno-geograficheskiy fakul'tet [Soil and Geography Faculty], *Za proletarskiye kadry*, 1933, no. 25(206), June 9, p. 2–3. (In Russian)
- Protokoly zasedaniy Geograficheskogo otdeleniya Obshchestva lyubiteley estestvoznaniya, antropologii i etnografii (s 7 marta 1924 g. po 12 maya 1925 g.) [Protocols of the meetings of the Geographical Branch of the Society of Lovers of Natural Science, Anthropology and Ethnography (from March 7, 1924 to May 12, 1925)], *Zemlevedeniye*, 1925, vol. 27, no. 1–2, p. 173–178. (In Russian)
- Sakharov A.D. *Vospominaniya* [Memories], *Znamya*, 1990, no. 10, p. 3–64. (In Russian)
- Saushkin Yu.G. [Student years], *Geograficheskoye myshleniye* [Geographical thinking], Moscow, Smolensk, Oyku-mena Publ., 2011, p. 59–92. (In Russian)
- Shustov B. Otchet o letney geograficheskoy stantsii studentov-geografov Moskovskogo Universiteta (pri derevne Myakishevo, leto 1922 g.) [Report on the summer geographic station of students-geographers of Moscow University (near the village of Myakishevo, summer 1922)], *Zemlevedeniye*, 1922, vol. 25, no. 3–4, p. 227–229. (In Russian)
- Shustov B.S. *Krymskaya ASSR* [Crimean ASSR], Moscow, Planovoye khozyaystvo Publ., Gosplan of the USSR, 1927, 63 p. (In Russian)
- Shustov B.S. *Morya i okeany* [Seas and oceans], Moscow, Leningrad, Mosk. rabochiy Publ., 1928, 111 p. (In Russian)
- Shustov Boris Sergeyevich (1901–1978), Bibliogr. ukazatel'* [Shustov Boris Sergeevich (1901–1978), Bibliography index], sost. M.M. Timofeyeva, Ryazan', 2003, 7 p. (In Russian)
- Solov'yev A.I. [Department of Physical Geography of the Moscow State University since 1917], *Uchenyye zapiski MGU* [MSU Transactions], iss. 55, Geografiya, Moscow, Moscow Univ. Publ., 1940, p. 53–86. (In Russian)
- Spisok personala Geograficheskogo Instituta k 1 yanvarya 1921 g. [List of personnel of the Geographical Institute by January 1, 1921], *Izvestiya Geograficheskogo instituta*, 1921, vol. 2, p. 171–179. (In Russian)
- Uchebno-nauchnyye geograficheskiye stantsii vuzov Rossii* [Educational and scientific geographic stations of Russian universities], G.I. Rychagov, S.I. Antonov (eds.), Moscow, Geogr. faculty of MSU, 2001, 589 p.
- Zvorykin K.V. [Educational and educational-scientific stations of the Faculty of Geography], *Geografiya v Moskovskom universitete za 200 let, 1755–1955* [Geography at Moscow University for 200 years, 1755–1955], K.K. Markov, Yu.G. Saushkin (eds.), Moscow, Moscow Univ. Publ., 1955, p. 225–232. (In Russian)

Received 28.02.2022

Revised 15.05.2022

Accepted 27.06.2022

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 556.574.5:546.16

БАЛАНС ФОСФОРА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ СЕЗОННОГО И МНОГОЛЕТНЕГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Ю.С. Даценко¹, В.В. Пуклаков²

^{1,2} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра гидрологии суши*

¹ *Профессор, д-р геогр. наук; e-mail: yuri0548@mail.ru*

² *Ст. науч. сотр., канд. геогр. наук; e-mail: puklakov@mail.ru*

Представлены результаты модельной имитации режима и баланса фосфора в Ивановском, Можайском и Истринском водохранилищах, осуществляющих соответственно сезонное регулирование стока верхней Волги и многолетнее регулирование стока рек Москвы и Истры. Для расчета составляющих баланса фосфора использована двухмерная боксовая модель тепло- и массообмена (ТМО), позволяющая с суточным шагом рассчитывать пространственно-временное распределение параметров качества воды. Уравнение баланса фосфора включает члены, описывающие поступление фосфора по рекам и с бокового водосбора, регенерацию фосфора из донных отложений; седиментацию фосфора, сброс в нижний бьеф, удаление фосфора с водозабором в канал им. Москвы из Ивановского водохранилища, увеличение или уменьшение массы фосфора в воде водохранилища за годовой период. Расчеты проведены для среднего по водности года. Сравнительным анализом составляющих баланса фосфора в Ивановском и в подмосковных водохранилищах показано, что в Ивановском водохранилище более интенсивно происходят процессы седиментации и регенерации фосфора из грунтов. В водохранилище сезонное регулирование основного сброса фосфора в нижний бьеф осуществляется в период половодья, а в водохранилищах многолетнего регулирования – в период межени. Представлены графики зависимости величины удержания фосфора в водоеме от увеличения внешней фосфорной нагрузки, полученные по результатам модельных сценарных расчетов.

Ключевые слова: водохранилище, гидроэкологическое моделирование, фосфорная нагрузка, седиментация и регенерация фосфора

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.12

ВВЕДЕНИЕ

Изучение процессов трансформации соединений фосфора в водоемах уже давно находится в центре внимания лимнологов, поскольку этот элемент в большинстве случаев определяет процессы увеличения продуктивности экосистем и эвтрофирование водоемов. Начиная с простых полуэмпирических моделей эвтрофирования, моделированию режима фосфора в водоемах посвящено немало специальных исследований, с разной степенью детальности описывающих сложные превращения различных форм этого элемента в процессе геохимического и биохимического круговорота в экосистеме водоема [Элементы круговорота..., 1987; Бикбулатов, 2009].

Достигнутый за последние годы прогресс в развитии методов исследования динамики экосистем водоемов основан на предположении о том, что состояние экосистемы в любой заданный момент

времени может быть выражено количественно, так что все изменения в ней могут быть математически формализованы. Таким образом, наиболее перспективной методологией описания поведения водных экосистем в настоящее время представляется математическое моделирование [Меншуткин, 2010; Страшкраба, Гнауик, 1989].

Имитационные расчеты по модели позволяют количественно оценить и проанализировать сложный комплекс внутриводоемных процессов, определяющих трансформацию фосфора в водохранилищах. Большое влияние на направленность, соотношение, интенсивность этих процессов и формирование запасов фосфора в водохранилище оказывает характер регулирования стока гидроузлом. Влияние особенностей режима регулирования на формирование запасов фосфора в водохранилище можно проследить путем сравнения результатов моделирования

сезонных изменений составляющих баланса в водохранилищах различного типа регулирования за один и тот же год.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА

В настоящей работе такое сравнение проведено на основе модельных расчетов в водохранилищах системы водоснабжения г. Москвы: Ивановском водохранилище сезонного регулирования на волжской системе и двух московских водохранилищах многолетнего регулирования – Можайском и Истринском, которые существенно отличаются от Ивановского по интенсивности внутреннего

водообмена. Основные гидрологические характеристики водохранилищ представлены в таблице [Эдельштейн, 1998].

Для расчета составляющих полного баланса фосфора использована двухмерная боксовая модель тепло- и массообмена (ТМО), позволяющая с точным шагом рассчитывать пространственно-временное распределение параметров качества воды [Puklakov, 1995; Гидроэкологический..., 2015]. Алгоритм расчета и примеры применения модели для изучения режима фосфора в долинном водохранилище подробно описаны в работе [Моделирование..., 1995].

Таблица

Гидрологические характеристики водохранилищ

Характеристика	Ивановское	Можайское	Истринское
Объем при НПУ, млн м ³	1120	235	183
Площадь зеркала при НПУ, км ²	316	30,7	33,6
Средняя глубина, м	3,5	7,7	5,4
Наибольшая глубина, м	19,0	22,5	20,0
Коэффициент водообмена, 1/год	8,3	1,15	1,26

Уравнение баланса минерального фосфора в имитационном расчете выглядит следующим образом

$$P_R + P_B + P_{REG} - P_{SED} - P_{GES} - P_K = \pm P_W, \quad (1)$$

где P_R – поступление фосфора по рекам, имеющим данные гидрометрических наблюдений; P_B – поступление фосфора по остальным рекам и с бокового водосбора; P_{REG} – регенерация фосфора из донных отложений; P_{SED} – седиментация фосфора; P_{GES} – сброс в нижний бьеф через водоводы гидроузла; P_K – удаление фосфора с водозабором в канал им. Москвы из Ивановского водохранилища; P_W – увеличение или уменьшение массы фосфора в воде водохранилища. Расчеты проведены для среднего по водности 1984 года.

Регенерация фосфора определяется его диффузией из донных отложений и выделением из разлагающейся органики и оседающего сестона. Эти процессы тесно связаны с глубиной залегания илов z и температурой воды T , поэтому скорость регенерации V_{REG} в модели вычисляется как

$$V_{REG} = k_1 \cdot \exp(k_2 \cdot z + k_3 \cdot T), \quad (2)$$

где k_1 – минимальная среднегодовая интенсивность регенерации фосфора в водоеме; k_2 и k_3 – калибровочные коэффициенты.

Основной фактор седиментации фосфора – его вынос из водной толщи с оседающим на дно биогенным органическим веществом. В водоеме с замедленным водообменом этот процесс описывается уравнением

$$C_{TP}(t + \Delta t) = C_{TP}(t) \cdot \exp(-k_0 \cdot C_{TP}(t) \cdot \Delta t), \quad (3)$$

где $C_{TP}(t + \Delta t)$ и $C_{TP}(t)$ – концентрация в воде общего фосфора (ТР) в начальный и конечный моменты расчетного периода; $k_0 = V_{SED}/SP_p$ – калибровочный коэффициент, отражающий скорость изменения содержания ТР в результате седиментации (здесь V_{SED} – скорость оседания взвешенных в воде частиц; SP_p – максимально возможная при данном содержании фосфора удельная плотность его потока ко дну).

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Составляющие баланса фосфора в рассмотренных водохранилищах характеризуются следующими особенностями.

Внешняя фосфорная нагрузка. По сравнению с Можайским и Истринским водохранилищами среднегодовая интенсивность поступления общего фосфора с водосбора Ивановского водохранилища была в 1,7 раз выше, что связано, прежде всего, с его большей антропогенной нагрузкой, в частности

влиянием сточных вод г. Твери [Иваньковское..., 2000; Даченко, 2021]. Модуль стока фосфора с водосбора Иваньковского водохранилища составил $0,134 \text{ кг}/(\text{км}^2\text{сут})$. Величина годовой фосфорной нагрузки на водоем в результате притока с водосбора составила $1956 \text{ мг}/\text{м}^3$ против $221 \text{ мг}/\text{м}^3$ на Можайском водохранилище, т. е. в 9 раз больше. Несмотря на географическую близость расположения водосборов, режим поступления фосфора в Иваньковское водохранилище характеризуется более сглаженным ходом. Это определяется в первую очередь большими размерами водосбора Иваньковского водохранилища (более чем в 30 раз превышающими площадь водосбора Можайского водохранилища), его большей заболоченностью и зарегулированностью стока воды. Максимальная фосфорная нагрузка приходится на время весеннего половодья и летне-осенних паводков, а минимальная – на время летней и зимней межени.

Сброс фосфора в нижний бьеф. Вынос фосфора за пределы водохранилищ определяется особенностями диспетчерского графика их работы, интенсивностью водообмена и условиями селективного поступления воды в водозаборные отверстия гидроузла. В 1984 г. в Иваньковском водохранилище, которое относится к водоемам сезонного регулирования с интенсивным водообменом, основное количество фосфора (50%) было сброшено в нижний бьеф и водозабор канала в течение трех месяцев – с апреля по июнь, т. е. во время пропуска через водохранилище водных масс весеннего половодья. В отличие от него в водохранилищах многолетнего регулирования максимальный сброс фосфора происходил во время летней и зимней межени. Это определяется в первую очередь режимом сработки Можайского и Истринского водохранилищ и селективностью забора воды из них во время существования устойчивой летней и зимней стратификации вод в приплотинных плесах.

Регенерация фосфора из донных отложений. Средняя интенсивность поступления фосфора из внутриводоемных источников (регенерация фосфора) в Иваньковском водохранилище оказалась в 2 раза выше, чем в подмосковных водохранилищах ($11,0$ против $5,5 \text{ кг}/(\text{км}^2\text{сут})$ в Можайском водохранилище). Скорее всего, это можно объяснить большей загрязненностью донных отложений Иваньковского водохранилища, накопившихся за время его эксплуатации с 1937 г. Обращает на себя внимание большая интенсивность регенерации в мае после весеннего заполнения Иваньковского водохранилища, значительно превышающая регенерацию фосфора в это же время в подмосковных водоемах (рис. 1). Возможно это связано с большим увеличением площади дна Иваньковского водохранилища в

результате весеннего затопления в 1984 г. и включения накопившегося там с осени органического вещества в круговорот общего фосфора в водоеме по сравнению с Можайским и Истринским водохранилищами. Площадь Иваньковского водохранилища увеличилась в результате весеннего заполнения более чем в 2,5 раза, а в подмосковных водохранилищах – всего лишь на 40–45%.

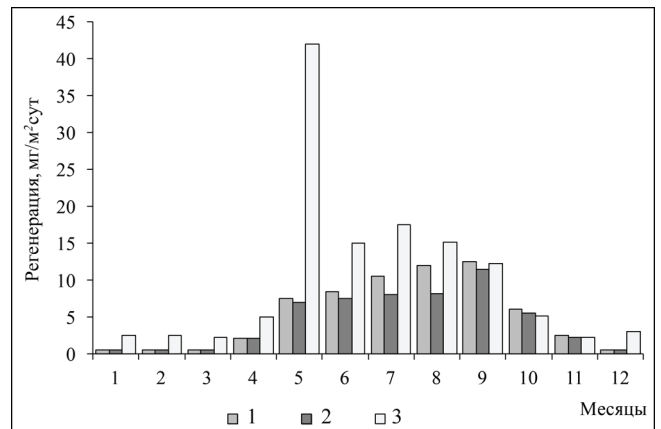


Рис. 1. Интенсивность регенерации общего фосфора в Истринском (1), Можайском (2) и Иваньковском (3) водохранилищах в 1984 г.

Fig. 1. The intensity of total phosphorus regeneration in the Istra (1), Mozhaisk (2) and Ivankovo (3) reservoirs in 1984

В то же время в приходной части баланса фосфора в Иваньковском водохранилище доля регенерации заметно ниже, чем в подмосковных водохранилищах (38 по сравнению с 58–62% соответственно). В итоге, суммарная фосфорная нагрузка, формирующаяся из суммарного притока фосфора с водосбора и его регенерации из донных отложений, в 1984 г. на Иваньковском водохранилище была в 6 раз выше, чем на Можайском и Истринском водохранилищах. Она составила соответственно 3151 , 520 и $528 \text{ мг}/\text{м}^3$ в год.

Седиментация фосфора. Модельная оценка интенсивности удаления общего фосфора из водной массы водохранилища без выноса его за пределы водоема (седиментации фосфора) показала, что в Иваньковском водохранилище в 1984 г. она была в среднем за год на 50% больше, чем в Можайском ($12,0$ и $8,0 \text{ кг}/(\text{км}^2\text{сут})$ соответственно). Максимум седиментации приходится на летний период с пиком в июне месяце (рис. 2), а в подмосковных водохранилищах – на весну с пиком в мае, т. е. сразу после весеннего наполнения водоемов. В целом, роль седиментационных процессов в расходной части баланса фосфора Иваньковского водохранилища в 2 раза меньше, чем в подмосковных водоемах (в нем на седиментацию приходится лишь 42% суммарного годового расхода фосфора, тогда как в Можайском водохранилище – 84, а в Истринском – 85%).

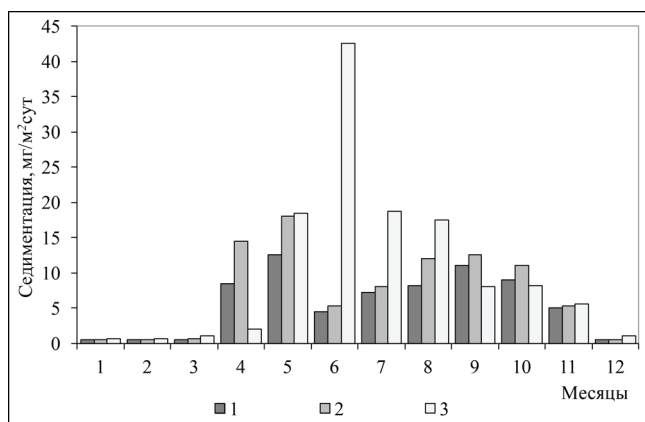


Рис. 2. Интенсивность седиментации общего фосфора в Истринском (1), Можайском (2) и Иваньковском (3) водохранилищах в 1984 г.

Fig. 2. The intensity of total phosphorus sedimentation in the Istra (1), Mozhaik (2) and Ivankovo (3) reservoirs in 1984

Режим содержания фосфора в водохранилищах. Характер внутригодового изменения концентрации общего фосфора в водохранилищах очень близок. Максимальные концентрации фосфора наблюдаются в период поступления в водоемы вод весеннего половодья (в апреле на Можайском и Истринском, в мае на Иваньковском водохранилищах), а минимальные – после окончания половодья и в зимние месяцы. Причем в Иваньковском водохранилище зимнее снижение концентрации фосфора менее ярко выражено, по-видимому, в результате загрязнения зимнего стока рек промышленными сбросами. Минимум приходится на ноябрь, а затем в течение зимы отмечается стабильный рост концентрации фосфора в водохранилище.

Высокий коэффициент водообмена Иваньковского водохранилища определил и невысокое значение коэффициента удержания фосфора, рассчитываемого по относительному снижению концентраций фосфора в водохранилище за год, в водоеме в 1984 г. Если в подмосковных водохранилищах, годовой коэффициент водообмена которых на порядок ниже, коэффициент удержания составил 62%, то в Иваньковском водохранилище всего 8%.

Таким образом, совместный анализ модельной имитации режима и баланса общего фосфора в Иваньковском водохранилище и слабопроточных Можайском и Истринском водохранилищах показал, что характер режима содержания фосфора, основные черты которого определяются гидрометеорологическими факторами, близок во всех водоемах. Географическая близость расположения водосборов водохранилищ определяет сходство режима притока с них фосфора. Тем не менее различия в размерах водосборов, их антропогенной освоенности, особенностях морфометрии и интенсивно-

сти водообмена существенно влияют на структуру баланса фосфора водоемов. Так, в результате большей хозяйственной освоенности водосбора, фосфорная нагрузка на Иваньковское водохранилище многократно превышает аналогичную нагрузку на подмосковные водохранилища. Следствием этого является также явное превышение интенсивности регенерации фосфора в Иваньковском водохранилище по сравнению с Можайским и Истринским водохранилищами и ее резкий рост после весеннего затопления больших площадей прибрежной полосы. Сезонный характер регулирования водохранилища и большая интенсивность его водообмена приводят к тому, что более 50% фосфора, вынесенного за пределы водохранилища, поступает в нижний бьеф и канал им. Москвы в течение апреля – июня, тогда как в подмосковных водохранилищах основной сброс фосфора идет в период межени. С высоким водообменом связано и то, что роль седиментационных процессов в расходной части баланса фосфора Иваньковского водохранилища в 2 раза меньше, чем в подмосковных водоемах, а коэффициент удержания фосфора в водоеме – в 7,5 раз.

Определенный интерес представляет рассмотрение структуры баланса общего фосфора Иваньковского водохранилища при более высоких величинах фосфорной нагрузки его водосбора. На основе гидрометеорологической информации 1984 г. были выполнены имитационные расчеты гидрологического режима водохранилища при повышении фосфорной нагрузки на водотоки водосбора до критических значений. В рассмотренном выше расчете концентрация фосфора в суммарном годовом притоке была равна 215 мг/м³, а среднегодовое значение концентрации фосфора в водоеме составило 182 мг/м³. То есть в результате внутриводоемных процессов происходит снижение содержания фосфора в водной массе в среднем на 15%. Водохранилище в отношении фосфора оказывает положительное влияние на экологическое состояние речных вод. Аналогично выполненным ранее для подмосковных водохранилищ модельным имитациям, нами проведены расчеты, в которых концентрация фосфора в суммарном годовом притоке воды с водосбора Иваньковского водохранилища была увеличена в 2 и 5 раз.

Из рис. 3 видно, что во всех водоемах с ростом фосфорной нагрузки средняя скорость седиментации фосфора также увеличивается. В то же время при одинаковой фосфорной нагрузке в подмосковных водоемах процессы седиментации протекают значительно быстрее, чем в Иваньковском водохранилище: в Можайском – в 1,6, в Истринском – в 1,4 раза. Связано это, в первую очередь, с различиями в интенсивности их водообмена, а во вторую – с особенностями морфологического строения этих водоемов.

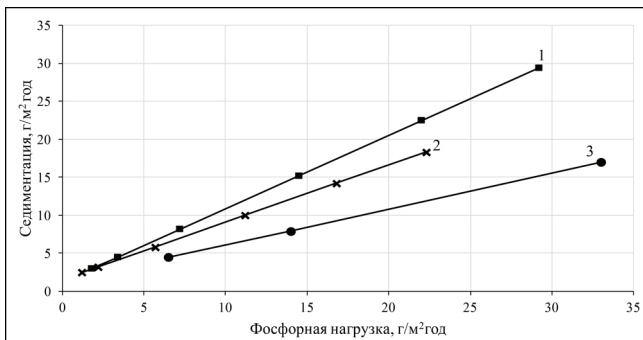


Рис. 3. Зависимость седиментации общего фосфора от величины фосфорной нагрузки на Можайском (1), Истринском (2) и Иваньковском (3) водохранилищах

Fig. 3. Dependence of total phosphorus sedimentation on the amount of phosphorus load in the Mozhaisk (1), Istra (2) and Ivankovo (3) reservoirs

С увеличением фосфорной нагрузки увеличивается и процент удержания фосфора во всех водоемах. Но в подмосковных водохранилищах он очень быстро достигает своего максимума, близкого к 95% (при нагрузке в 10–15 г/(м²·год)), а в Иваньковском водохранилище он растет очень медленно и даже при очень больших нагрузках на водоем (130 г/(м²·год)) не превышает 75%.

С увеличением фосфорной нагрузки концентрация общего фосфора в сбросе из водохранилищ также растет, но с разной интенсивностью. В Иваньковском водохранилище этот рост существенно выше, чем в подмосковных водохранилищах. Результаты сценарных расчетов при увеличении существующей фосфорной нагрузки на эти водоемы в 2 раза показывают, что Истринское водохранилище, характеризующееся самым слабым водообменом и сложным многолопастным строением своего ложа, наиболее интенсивно трансформирует сток фосфора в нижний бьеф гидроузла и эффективно осуществляет самоочищение проходящих через него речных водных масс. В Иваньковском водохранилище, водообмен которого на порядок выше, эффективность самоочищения воды при росте фосфорной нагрузки заметно ниже.

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект № 20-17-00209).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бикбулатов Э.С. Биоэлементы и их трансформация в водных экосистемах. Рыбинск: Рыбинский печатный дом, 2009. 289 с.
- Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). М.: Перо, 2015. 286 с.
- Даценко Ю.С. Влияние Иваньковского водохранилища на качество воды Волжского источника водоснабжения г. Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2021. № 5. с. 124–131.
- Иваньковское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. М.: Наука, 2000. 344 с.
- Мениуткин В.В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). Петрозаводск. СПб., 2010. 416 с.
- Моделирование режима фосфора в долинном водохранилище / под ред. К.К. Эдельштейна. М.: Изд-во МГУ, 1995. 80 с.
- Страшкраба М., Гнаук А. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование. М.: Мир, 1989. 373 с.

По сценарным расчетам при увеличении притока фосфора с водосборов водохранилищ в 2 раза рост концентрации фосфора в них составит в Истринском водохранилище 15%, в Можайском – 23, в Иваньковском – 47%. При увеличении нагрузки в 5 раз этот рост составит, соответственно, 48, 72 и 159%.

ВЫВОДЫ

В водоеме сезонного регулирования (Иваньковское водохранилище) основное количество (более 50%) поступившего за год фосфора сбрасывается в нижний бьеф водохранилища в апреле – июне, а в водохранилищах многолетнего регулирования – во время летней и зимней межени.

Регенерация фосфора в Иваньковском водохранилище в 2 раза выше, чем в подмосковных водохранилищах, а интенсивность седиментации фосфора в нем на 50% больше, чем в Можайском водохранилище. Максимум седиментации приходится на июнь, а в подмосковных водохранилищах – на май. Вклад седиментационных процессов в формирование расходной части баланса фосфора Иваньковского водохранилища был в 2 раза меньше, чем в водохранилищах многолетнего регулирования.

При одинаковой фосфорной нагрузке на водоемы в подмосковных водохранилищах процессы седиментации протекают значительно быстрее, чем в Иваньковском водохранилище, что связано с различиями в интенсивности их водообмена и с особенностями морфологического строения ложа этих водоемов.

С увеличением фосфорной нагрузки процент удержания фосфора во всех водоемах увеличивается. В подмосковных водохранилищах он очень быстро достигает своего максимума, а в Иваньковском водохранилище растет очень медленно и даже при высоких нагрузках на водоем не превышает 75%. Концентрация общего фосфора на выходе из водохранилищ также растет, но с разной интенсивностью. Максимум эффекта самоочищения проявляется в Истринском водохранилище, минимум – в Иваньковском.

Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. М.: ГЕОС, 1998. 277 с.
Элементы круговорота фосфора в водоемах. Л.: Наука, 1987. 103 с.

Puklakov V. Mathematical Model of the Heat and Mass Transfer Processes in a Stratified Reservoir, *Int. Revuecs. Hydrobiol.*, 1995, vol. 80, no. 1, p. 49–59.

Поступила в редакцию 14.02.2022

После доработки 25.04.2022

Принята к публикации 27.06.2022

PHOSPHORUS BALANCE IN RESERVOIRS OF SEASONAL AND LONG-TERM REGULATION

Yu.S. Datsenko¹, V.V. Puklakov²

^{1,2} Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Land Hydrology

¹ Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: yuri0548@mail.ru

² Senior Scientific Researcher, Ph.D. in Geography; e-mail: puklakov@mail.ru

The results of model simulation of the phosphorus regime and balance in the Ivankovo, Mozhaik and Istra reservoirs, which carries out seasonal regulation of the Upper Volga runoff and long-term regulation of the Moskva and Istra rivers, are presented. The components of phosphorus balance were calculated using 2-D box model of heat and mass transfer which provides for day-by-day calculation of spatio-temporal distribution of water quality parameters. Phosphorus balance equation accounts for phosphorus input along the rivers and from the side watershed area, phosphorus regeneration from the bottom sediments, water release to the lower pool, and phosphorus removal through water discharge from the Ivankovo reservoir to the Moscow Canal, as well as the annual increase or decrease of phosphorus mass. Calculations refer to an average water year. A comparative analysis of phosphorus balance components in the Ivankovo reservoir and in the reservoirs near Moscow shows that the processes of sedimentation and regeneration of phosphorus from sediments are more intensive in the Ivankovo reservoir. The main discharge of phosphorus to the lower pool is during the spring flood period in the reservoir of seasonal regulation and during the low-water period in the reservoirs of long-term regulation. Scenario calculations provided graphs of the values of phosphorus retention in a reservoir depending on the increasing external phosphorus load.

Keywords: reservoir, hydroecological modeling, phosphorus load, sedimentation and phosphorus regeneration

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 20-17-00209).

REFERENCES

- Bikbulatov E.S. *Bioelementy i ih transformatsiya v vodnyh ecosistemah* [Bioelements and their transformation in aquatic ecosystems], Rybinsk, Rybinsk Printing House, 2009, 289 p. (In Russian)
- Datsenko Y.S. Vliyanie Ivan'kovskogo vodohranilisha na kachestvo vody volzhskogo istochnika vodosnabzheniya g. Moskvy [The influence of the Ivankovo reservoir on water quality in the Volga River source of water supply for Moscow], *Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2021, no. 5, p. 124–131. (In Russian)
- Edelstein K.K. *Vodohranilisha Rossii: ekologicheskie problemy, puti ih resheniya* [Reservoirs of Russia: environmental problems, ways to solve them], Moscow, GEOS Publ., 1998, 277 p. (In Russian)
- Elementy krugovorota fosfora v vodoyomah* [Elements of the phosphorus cycle in water bodies], Leningrad, Nauka Publ., 1987, 103p. (In Russian)
- Gidroecologicheskiy rezhim vodohranilish Podmoskov'ya (nablyudeniya, diagnos, prognos)* [Hydroecological regime of reservoirs of the Moscow region (observations, diagnosis, forecast)], Moscow, Pero Publ., 2015, 286 p. (In Russian)
- Ivankovskoe vodohranilische. Sovremennoe sostoyanie i problemy ohrany* [Ivankovo reservoir. Current state and problems of protection], Moscow, Nauka Publ., 2000, 344 p. (In Russian)
- Menshutkin V.V. *Iskusstvo modelirovaniya (Ekologiya, fiziologiya, evolyutsiya)* [The art of modeling (ecology, physiology, evolution)], Petrozavodsk, SPb., 2010, 416 p. (In Russian)
- Modelirovanie rezhima fosfora v dolinnom vodohranilische* [Modeling of phosphorus regime in a valley reservoir], K.K. Edelstein (ed.), Moscow, MGU Publ., 1995, 80 p. (In Russian)
- Puklakov V. Mathematical Model of the Heat and Mass Transfer Processes in a Stratified Reservoir, *Int. Revuecs. Hydrobiol.*, 1995, vol. 80, no. 1, p. 49–59.
- Strashkraba M., Gnauk A. *Presnovodnye ekosistemy. Matematicheskoe vodelirovanie*. [Freshwater ecosystems. Mathematical modeling], Moscow, Mir, 1989, 373 p. (In Russian)

Received 14.02.2022

Revised 25.04.2022

Accepted 27.06.2022

ФТОР В ВОДАХ СЕВЕРНОЙ АТЛАНТИКИ

А.В. Савенко¹, В.С. Савенко², А.Н. Новигатский³

^{1,2}Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

³Институт океанологии имени П.П. Шишова РАН, аналитическая лаборатория геологического направления

¹Геологический факультет, кафедра геохимии, ст. науч. сотр., канд. геогр. наук;
e-mail: alla_savenko@rambler.ru

²Географический факультет, кафедра гидрологии суши, вед. науч. сотр.,
д-р геол.-минерал. наук, проф.; e-mail: alla_savenko@rambler.ru

³Зав. лаб., канд. геол.-минерал. наук; e-mail: novigatsky@gmail.com

Методом прямой потенциометрии с фторидным ионоселективным электродом получены новые данные о содержании фтора в водах Северной Атлантики. Концентрация фтора по результатам измерений составила $1,27 \pm 0,03$ мг/кг при массовом отношении F/Cl, равном $(6,59 \pm 0,11) \cdot 10^{-5}$, что близко соответствует обычному содержанию фтора в морской воде. Совокупность имеющихся данных по отношению F/Cl в разных районах Мирового океана позволяет предположить наличие слабой изменчивости содержания фтора в солях морской воды.

Ключевые слова: морская вода, солевой состав, содержание фтора, массовое отношение F/Cl, прямая потенциометрия

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.13

ВВЕДЕНИЕ

Фтор входит в группу макрокомпонентов морской воды, содержание которых превышает 1 мг/кг (0,001%). Ранние измерения, выполненные весовым методом, давали сильно различающиеся концентрации фтора и только начиная с 1933 г., когда Т. Томпсон и Г. Тейлор [Tompson, Taylor, 1933] разработали спектрофотометрический циркон-ализариновый метод, стало возможным точное определение фтора. В дальнейшем циркон-ализариновый метод был вытеснен аналогичным, но более удобным лантан-ализариновым методом [Greenhalgh, Riley, 1961], а также ионометрическими методами с фторидным ионоселективным электродом [Warner, 1969]. Небольшое число определений фтора в морской воде было проведено фотонно-активационным методом [Warner, 1969; Brewer et al., 1970]. В подавляющем большинстве случаев все перечисленные методы приводят к согласующимся результатам [Warner et al., 1975]. В некоторых глубоководных пробах спектрофотометрические определения фтора давали аномально высокие значения отношения F/Cl [Greenhalgh, Riley, 1963; Riley, 1965; Brewer et al., 1970], вероятно, обусловленные присутствием фторсодержащих коллоидов и тонких взвесей [Brewer et al., 1970; Warner, 1971]. Однако если исключить все сомнительные случаи, отношение F/Cl в разных районах Мирового океана показывает небольшие, но достоверные различия, выходящие за пределы погрешности измерений [Tompson, Taylor, 1933; Windom, 1971; Warner et al., 1975; Nabipour, Dobaradaran, 2013]. Более опре-

деленные выводы в настоящее время, к сожалению, сделать невозможно, поскольку за прошедшие 90 лет после разработки первого количественного метода определения фтора в морской воде по данному вопросу было опубликовано немногим более трех десятков работ. Этого ограниченного материала явно недостаточно для установления масштабов и причин изменчивости содержания фтора в водах океанов и морей. Цель настоящей работы состояла в получении новой информации и расширении существующей базы данных о содержании фтора в водах Мирового океана.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования послужили пробы морской воды, отобранные в Северной Атлантике с 27 июля по 15 августа 2017 г. во время 68-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Координаты станций и горизонты отбора проб приведены в табл. 1. Концентрацию фтора определяли методом прямой потенциометрии [Савенко, 1986] с использованием измерительной электрохимической цепи, состоящей из фторидного ионоселективного электрода и хлорсеребряного электрода сравнения, заполненного 35% искусственной морской водой без бромидов. Для уменьшения мешающего действия гидроксил-ионов, в отношении которых фторид лантана обладает частичной проницаемостью, и недиссоциированных молекул HF^0 , снижающих активность ионов фтора, в пробы добавляли ацетатный буфер с $\text{pH} = 6,3$ в объемном соотно-

шении 1:10. Данное значение pH оптимально для устранения влияния указанных компонентов [Савенко, Шмидеберг, 1977]. П.Г. Бревнер с соавторами [Brewer et al., 1970] выполняли потенциометрические измерения в более кислой среде ($pH = 5,0-5,5$), которая способствует растворению апатитового и карбонатного материала водной взвеси, что может приводить к некоторому завышению определяемых концентраций растворенного фтора. Калибровку измерительной электрохимической цепи проводили по стандартным растворам, содержащим 0,65, 1,30 и 1,95 мг F/кг и по составу соответствующим нормальной морской воде с соленостью 35‰. Погрешность определений не превышала 3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерений, представленные в табл. 1, показали, что для всех станций прослеживается слабо выраженная тенденция увеличения концентрации фтора с глубиной, которая, однако, сопоставима с точностью определений. Средние величины концентрации фтора и массового отношения F/Cl для вертикальных разрезов всех станций равны $1,27 \pm 0,03$ мг/кг и $(6,59 \pm 0,11) \cdot 10^{-5}$, что близко соответствует значениям, обычным для вод Северной Атлантики (табл. 2).

Таблица 1

Содержание фтора, соленость и массовое отношение F/Cl в водах Северной Атлантики

Координаты	Глубина, м	Горизонт, м	S, ‰	F, мг/кг	F/Cl* · 10 ⁵
Станция 5537, 27.07.2017					
73,5682° с. ш., 7,0117° в. д.	2270	1	35,05	1,24	6,39
		5	35,04	1,25	6,44
		20	35,07	1,24	6,39
		250	34,92	1,24	6,42
		500	34,91	1,25	6,47
		800	34,91	1,27	6,57
		1300	34,91	1,26	6,52
		2263	34,91	1,25	6,47
Среднее			34,97	1,25	6,46
Станция 5545, 31.07.2017					
73,3792° с. ш., 27,0088° в. д.	406	5	34,95	1,28	6,62
		46	35,07	1,25	6,44
		180	35,08	1,28	6,59
		340	35,08	1,28	6,59
		392	35,07	1,29	6,65
Среднее			35,05	1,28	6,58
Станция 5574, 13.08.2017					
74,2492° с. ш., 30,0088° в. д.	303	5	34,91	1,28	6,62
		18	34,92	1,29	6,67
		40	35,06	1,29	6,65
		240	35,05	1,29	6,65
		294	35,02	1,29	6,65
Среднее			34,99	1,29	6,65
Станция 5576, 14.08.2017					
72,4642° с. ш., 32,0020° в. д.	272	5	34,51	1,28	6,70
		33	34,83	1,28	6,64
		100	34,97	1,30	6,72
		180	35,01	1,29	6,66
		266	35,01	1,30	6,71

Окончание таблицы 1

Координаты	Глубина, м	Горизонт, м	S, ‰	F, мг/кг	F/Cl* · 10 ⁵
Среднее			34,87	1,29	6,69
Станция 5577, 14.08.2017					
72,2065° с. ш., 33,0162° в. д.	278	5	34,64	1,29	6,73
		22	34,71	1,29	6,71
		40	34,91	1,29	6,68
		110	35,01	1,30	6,71
		180	35,03	1,30	6,70
		229	35,01	1,30	6,71
		265	35,01	1,30	6,71
Среднее			34,90	1,30	6,71
Станция 5579, 15.08.2017					
70,2235° с. ш., 33,0062° в. д.	248	5	33,91	1,23	6,55
		26	34,11	1,23	6,51
		75	34,57	1,23	6,43
		190	34,59	1,24	6,48
		237	34,61	1,24	6,47
Среднее			34,36	1,23	6,49
Среднее по всем станциям			34,87 ± 0,27	1,27 ± 0,03	6,59 ± 0,11

Примечание. * Хлорность была получена пересчетом солёности, определенной кондуктометрическим методом.

Таблица 2

Величины массового отношения F/Cl в водах Северной Атлантики

Район	F/Cl · 10 ⁵	Ссылка
Северная Атлантика, без проб с аномально высокими значениями отношения F/Cl	6,7 ± 0,1	[Greenhalgh, Riley, 1963; Riley, 1965]
Северная Атлантика	6,9 ± 0,1	[Brewer et al., 1970]
То же	6,82 ± 0,12	[Bewers, 1971]
То же, разрез Большая Банка – Срединно-Атлантический хребет, районы I–IV по направлению к центральным частям океана	7,0 ± 0,2 (I) 6,9 ± 0,1 (II) 6,8 ± 0,1 (III) 6,7 ± 0,1 (IV)	[Kester, 1971]
То же, пролив Гренландия – Шпицберген	6,68 ± 0,11	[Jones, Warner, 1975]
То же, Фарерско-Исландский порог	6,75 ± 0,08	То же
То же, Саргассово море, район Гольфстрима	7,01 ± 0,23	[Косов и др., 1982]
Северная Атлантика	6,59 ± 0,11	Данная работа

Обнаруженные Р. Гринхалгом и Дж. Райли [Greenhalgh, Riley, 1963; Riley, 1965] аномально высокие значения отношения F/Cl в части глубоководных проб, скорее всего, являются артефактом, связанным с присутствием в морской воде тонких взвесей и коллоидов: отношение F/Cl возрастало по мере приближения ко дну, где, как предполагалось, происходило взмучивание осадков. Поскольку лантан, церий или цирконий, вводимые в морскую воду при использовании спектрофотометрического ализаринового метода,

образуют очень прочные фторидные комплексы, эти металлы могут взаимодействовать не только с фтором в растворенном состоянии, но и с находящимся во взвеси в адсорбированной форме или в составе относительно слаборастворимых минералов. Другими словами, образование фторидных комплексов приводит к снижению активности растворенного фтора, которое должно компенсироваться переходом в раствор фтора из поглощенного комплекса взвешенного вещества или из фторсодержащих минералов.

Наряду с этим, небольшие пространственные вариации отношения F/Cl все же имеются. Отмечалось, что для прибрежных вод характерны более высокие значения этого параметра, чем для вод открытого океана [Thompson, Taylor, 1933; Kester, 1971]. В ряде районов наблюдалось закономерное увеличение отношения F/Cl при отклонении солености от таковой в нормальной морской воде как в меньшую, так и в большую сторону [Windom, 1971; Nabipour, Dobaradaran, 2013]. Преимущественное по сравнению с хлором вхождение фтора в состав планктона [Савенко, 1988] и биогенных карбонатов [Thompson, Taylor, 1933; Kitano, Okumura, 1973; Ohde, Kitano, 1980] также должно влиять на величину отношения F/Cl в морской воде. Важным фактором формирования содержания фтора в морской воде служит наземный и подводный вулканизм, который в одних случаях вызывает увеличение отношения F/Cl [Olafsson, 1975; Фазлуллин, Гавриленко, 1989], а в других, наоборот, его снижение [Elderfield, 1972]. Количественная оценка воздей-

ствия указанных факторов в настоящее время затруднена из-за недостатка имеющегося фактического материала, однако с большой долей вероятности можно утверждать, что все они оказывают слабое влияние на величину и пространственно-временную изменчивость отношения F/Cl в морской воде.

ВЫВОДЫ

Определенные методом прямой потенциометрии средние величины концентрации растворенного фтора и массового отношения F/Cl в Северной Атлантике, равные $1,27 \pm 0,03$ мг/кг и $(6,59 \pm 0,11) \cdot 10^{-5}$, соответствуют обычным для вод Мирового океана значениям.

Совокупность имеющихся данных по отношению F/Cl в разных районах Мирового океана позволяет предположить наличие слабой изменчивости содержания фтора в солях морской воды или, иначе выражаясь, относительно небольшое отклонение от постоянства солевого состава морской воды для фтора.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 20-17-00157).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Косов А.Е., Волостных Б.В., Новиков П.Д. Фтор в водах Атлантического океана // *Океанология*. 1982. Т. 22. № 1. С. 43–47.
- Савенко В.С. Введение в ионометрию природных вод. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 77 с.
- Савенко В.С. Элементарный химический состав океанского планктона // *Геохимия*. 1988. № 8. С. 1084–1089.
- Савенко В.С., Шмидеберг Н.А. К методике определения малых концентраций фтора в природных водах // *Гидрохимич. материалы*. 1977. Т. 65. С. 96–101.
- Фазлуллин С.М., Гавриленко Г.М. Фтор как индикатор подводной вулканической деятельности и методы определения его в морской воде // *Вулканология и сейсмология*. 1989. № 5. С. 70–76.
- Bewers J.M. North Atlantic fluoride profiles, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 2, p. 237–241.
- Brewer P.G., Spencer D.W., Wilkiss P.E. Anomalous fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1970, vol. 17, no. 1, p. 1–7.
- Elderfield H. Effect of volcanism on water chemistry, Deception Island, Antarctica, *Marine Geol.*, 1972, vol. 13, no. 1, p. 1–6.
- Greenhalgh R., Riley J.P. The determination of fluorides in natural waters, with particular reference to sea water, *Analyt. Chim. Acta*, 1961, vol. 25, no. 2, p. 179–188.
- Greenhalgh R., Riley J.P. Occurrence of abnormally high fluoride concentration at depth in the oceans, *Nature*, 1963, vol. 197, no. 4865, p. 371–372.
- Jones M.M., Warner T.B. Fluoride in seawater north and east of Iceland, *J. Geophys. Res.*, 1975, vol. 80, no. 18, p. 2695.
- Kester D.R. Fluoride chlorinity ratio of sea water between the Grand Banks and the Mid-Atlantic Ridge, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 11, p. 1123–1126.
- Kitano Y., Okumura M. Coprecipitation of fluoride with calcium carbonate, *Geochem. J.*, 1973, vol. 7, no. 1, p. 37–49.
- Nabipour I., Dobaradaran S. Fluoride and chloride levels in the Bushehr coastal seawater of the Persian Gulf, *Fluoride*, 2013, vol. 46, no. 4, p. 204–207.
- Ohde S., Kitano Y. Incorporation of fluoride into Ca–Mg carbonates, *Geochem. J.*, 1980, vol. 14, no. 6, p. 321–324.
- Olafsson J. Volcanic influence on seawater at Heimaey, *Nature*, 1975, vol. 255, no. 5504, p. 138–141.
- Riley J.P. The occurrence of anomalously high fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1965, vol. 12, no. 2, p. 219–220.
- Thompson T.G., Taylor H.J. Determination and occurrence of fluorides in sea water, *Ind. Eng. Chem., Anal. ed.*, 1933, vol. 5, no. 2, p. 87–89.
- Warner T.B. Fluoride in seawater: Measurement with lanthanum fluoride electrode, *Science*, 1969, vol. 165, no. 3889, p. 178–180.
- Warner T.B. Normal fluoride content of seawater, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 12, p. 1255–1263.
- Warner T.B., Jones M.M., Miller G.R., Kester D.R. Fluoride in sea water: Intercalibration study based on electrometric and spectrophotometric methods, *Analyt. Chim. Acta*, 1975, vol. 77, no. 1, p. 223–228.
- Windom H.L. Fluoride concentration in coastal and estuarine waters, *Limnol. and Oceanogr.*, 1971, vol. 16, no. 5, p. 806–810.

Поступила в редакцию 01.03.2022

После доработки 02.06.2022

Принята к публикации 27.06.2022

FLUORINE IN THE NORTH ATLANTIC WATERS

A.V. Savenko¹, V.S. Savenko², A.N. Novigatsky³^{1,2} Lomonosov Moscow State University³ Shirshov Institute of Oceanology of RAS, Analytical Laboratory of Geological Direction¹ Faculty of Geology, Department of Geochemistry, Senior Scientific Researcher,
Ph.D. in Geography; e-mail: alla_savenko@rambler.ru² Faculty of Geography, Department of Land Hydrology, Leading Scientific Researcher,
D.Sc. in Geology and Mineralogy, Professor; e-mail: alla_savenko@rambler.ru³ Head of Laboratory, Ph.D. in Geology and Mineralogy; e-mail: novigatsky@gmail.com

New data on the fluorine content in North Atlantic waters was obtained by the method of direct potentiometry with a fluoride ion-selective electrode. The measured fluorine concentration was equal to 1.27 ± 0.03 mg/kg at F/Cl mass ratio of $(6.59 \pm 0.11) \cdot 10^{-5}$, which closely corresponds to the normal fluorine content in seawater. The totality of available data on the F/Cl ratio in different areas of the World Ocean suggests rather low variability of the fluorine content in seawater salts.

Keywords: seawater, salt composition, fluorine content, F/Cl mass ratio, direct potentiometry

Acknowledgements. The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project 20-17-00157).

REFERENCES

- Bewers J.M. North Atlantic fluoride profiles, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 2, p. 237–241.
- Brewer P.G., Spencer D.W., Wilkiss P.E. Anomalous fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1970, vol. 17, no. 1, p. 1–7.
- Elderfield H. Effect of volcanism on water chemistry, Deception Island, Antarctica, *Marine Geol.*, 1972, vol. 13, no. 1, p. 1–6.
- Fazlullin S.M., Gavrilenko G.M. Ftor kak indikator podvodnoy vulkanicheskoy deyatel'nosti i metody opredeleniya yego v morskoy vode [Fluorine as an indicator of underwater volcanic activity and methods for determining it in seawater], *Vulkanologiya i Seysmologiya*, 1989, no. 5, p. 70–76. (In Russian)
- Greenhalgh R., Riley J.P. The determination of fluorides in natural waters, with particular reference to sea water, *Analyt. Chim. Acta*, 1961, vol. 25, no. 2, p. 179–188.
- Greenhalgh R., Riley J.P. Occurrence of abnormally high fluoride concentration at depth in the oceans, *Nature*, 1963, vol. 197, no. 4865, p. 371–372.
- Jones M.M., Warner T.B. Fluoride in seawater north and east of Iceland, *J. Geophys. Res.*, 1975, vol. 80, no. 18, p. 2695.
- Kester D.R. Fluoride chlorinity ratio of sea water between the Grand Banks and the Mid-Atlantic Ridge, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 11, p. 1123–1126.
- Kitano Y., Okumura M. Coprecipitation of fluoride with calcium carbonate, *Geochem. J.*, 1973, vol. 7, no. 1, p. 37–49.
- Kosov A.E., Volostnykh B.V., Novikov P.D. Ftor v vodakh Atlanticheskogo okeana [Fluorine in the waters of the Atlantic Ocean], *Okeanologiya*, 1982, vol. 22, no. 1, p. 43–47. (In Russian)
- Nabipour I., Dobaradaran S. Fluoride and chloride levels in the Bushehr coastal seawater of the Persian Gulf, *Fluoride*, 2013, vol. 46, no. 4, p. 204–207.
- Ohde S., Kitano Y. Incorporation of fluoride into Ca–Mg carbonates, *Geochem. J.*, 1980, vol. 14, no. 6, p. 321–324.
- Olafsson J. Volcanic influence on seawater at Heimaey, *Nature*, 1975, vol. 255, no. 5504, p. 138–141.
- Riley J.P. The occurrence of anomalously high fluoride concentrations in the North Atlantic, *Deep-Sea Res.*, 1965, vol. 12, no. 2, p. 219–220.
- Savenko V.S. *Vvedeniye v ionometriyu prirodnikh vod* [Introduction to the ionometry of natural waters], Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 77 p. (In Russian)
- Savenko V.S. Elementarnyy khimicheskiy sostav okeanskogo planktona [Elementary chemical composition of oceanic plankton], *Geokhimiya*, 1988, no. 8, p. 1084–1089. (In Russian)
- Savenko V.S., Shmideberg N.A. K metodike opredeleniya malykh kontsentratsiy ftora v prirodnikh vodakh [To the method for determining low concentrations of fluorine in natural waters], *Gidrokhimicheskiye Materialy*, 1977, vol. 65, p. 96–101. (In Russian)
- Thompson T.G., Taylor H.J. Determination and occurrence of fluorides in sea water, *Ind. Eng. Chem., Anal. ed.*, 1933, vol. 5, no. 2, p. 87–89.
- Warner T.B. Fluoride in seawater: Measurement with lanthanum fluoride electrode, *Science*, 1969, vol. 165, no. 3889, p. 178–180.
- Warner T.B. Normal fluoride content of seawater, *Deep-Sea Res.*, 1971, vol. 18, no. 12, p. 1255–1263.
- Warner T.B., Jones M.M., Miller G.R., Kester D.R. Fluoride in sea water: Intercalibration study based on electrometric and spectrophotometric methods, *Analyt. Chim. Acta*, 1975, vol. 77, no. 1, p. 223–228.
- Windom H.L. Fluoride concentration in coastal and estuarine waters, *Limnol. and Oceanogr.*, 1971, vol. 16, no. 5, p. 806–810.

Received 01.03.2022

Revised 02.06.2022

Accepted 27.06.2022

УСАДЕБНЫЙ КЛАСТЕР КАК ФОРМА РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТОРЖОКСКОГО РАЙОНА ТВЕРСКОЙ ОБЛАСТИ)

О.Д. Крутов¹, М.С. Савоскул², А.И. Алексеев³

^{1–3} *Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра экономической и социальной географии России*

¹ *Студент: e-mail: bigoleg911@ya.ru*

² *Доц., д-р геогр. наук; e-mail: savoskul@yandex.ru*

³ *Проф., д-р геогр. наук; e-mail: alival@mail.ru*

В статье на примере загородных дворянских усадеб, расположенных в окрестностях города Торжок Тверской области, рассматриваются современное состояние, проблемы и недостатки использования загородных усадеб в зонах их концентрации за пределами крупногородских агломераций. По результатам анализа их состояния предложена прикладная схема формирования туристического кластера на базе усадеб, входящих в бывшие Новоторжский и Старицкий уезды. На примере 17 усадеб авторами представлены перспективные варианты рационализации использования и сохранения усадебного наследия в сельской местности Тверской области. Предлагается объединить рассмотренные усадьбы в единый усадебный кластер имени архитектора Львова, так как с его именем связана история многих усадеб на данной территории. Кластер может состоять из трех иерархических и территориальных «ярусов». Усадьбы относятся в тот или иной ярус в зависимости от современного состояния их комплекса и историко-архитектурного потенциала. С одной стороны, подобное разделение в рамках единого усадебного кластера позволяет сформировать общий бренд и облегчить организацию маршрутов, связывающих усадьбы между собой. С другой стороны, разделение функций усадеб в рамках единого кластера расширяет возможности их использования. По итогам анализа состояния усадеб проводится рассмотрение территориальной организации их комплексов в кластере. Помимо этого, авторы заостряют внимание на проблеме разрушающихся усадеб, которые могут стать важным ресурсом для экономического, социального и культурного развития сельской местности, и предлагают новые функции для конкретных усадеб.

Ключевые слова: загородная усадьба, культурная география, рекреационная география, сельская местность

DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.1.14

ВВЕДЕНИЕ

Загородные усадьбы, сохранившиеся в сельской местности Тверской области, являются потенциальным ресурсом экономического, социального и культурного развития сельской местности. Часто исследователи обращаются к изучению усадеб, не связывая их с окружающей сельской местностью. В проведенном исследовании акцент сделан на том, что загородные усадьбы, даже не благоустроенные, могут послужить точками концентрации интересов различных акторов (администрация района, бизнес, местные жители, туристы) и могут стать одним из способов оживления сельской местности в условиях депопуляции и сложной социально-экономической ситуации.

С этой точки зрения в статье анализируется состояние усадеб, расположенных недалеко от Торж-

ка, которые в перспективе могут быть объединены в усадебный кластер. Мы используем такие понятия, как «кластер» в определении А.П. Горкина, а также понятие «зоны концентрации загородных усадеб», под которыми понимаются места повышенной плотности усадеб на территориях, удаленных от крупных городов (Москвы, Санкт-Петербурга, Твери).

С точки зрения рекреационного потенциала территории, чем больше на ней сохранившихся рекреационно-привлекательных культурных объектов, тем выше потенциал для развития туризма, привлечения туристического потока, тем дешевле организация туров. Согласно этой логике зоны концентрации объектов должны быть успешнее, чем усадебная периферия. Тем не менее никаких преимуществ для сохранения усадеб подобная концентрация сейчас не дает. Даже наоборот, подобные зоны concentra-

ции являются местами наиболее интенсивной деградации усадебных комплексов: ценность усадеб в глазах местных жителей невелика, а ресурсов на их поддержание категорически не хватает.

Анализ состояния загородных усадеб в России показал, что внутри зон концентрации доля заброшенных усадеб в среднем выше на 10–20% в сравнении с долей в регионе. В лидерах по доле заброшенных усадеб находятся далеко не самые периферийные территории: пригородный юго-запад Ленинградской области, рекреационно-привлекательная Окская долина от Калуги до Тарусы, транзитный Торжок и т. д. В этих зонах есть относительно успешные усадьбы, привлекающие внимание туристов (Пушкинские в Пушкиногорье Псковской области, Василево в Торжке), но деградация соседних усадеб от этого никак не замедляется. Большое количество усадеб на этих территориях определено историей их формирования в конце XVIII – начале XIX в. Причиной их зарождения были мода на определенные ландшафты и кумулятивный эффект: желание жить там, где уже поселились друзья или популярные деятели эпохи. Мы в своем исследовании обратились как раз к такой зоне концентрации усадеб, расположенных недалеко от Торжка в Тверской области на территории трех районов: Торжокского, Кувшиновского и Старицкого. Благодаря живописным ландшафтам, в этих местах сложилась целая сеть усадеб, которые находятся в различном состоянии и на примере их анализа в статье предлагается образование в зоне их концентрации усадебного кластера.

Изученность темы. Уникальность культурных ландшафтов загородных усадеб, их ценность, как для внутреннего, так и для внешнего потребителя, традиционно становятся предметом изучения географов [Веденин, Борсук, 2013; Топорина, Голубева, 2015]. Одной из классических работ считается работа Н.К. Пиксанова «Областные культурные гнезда», опубликованная в 1928 г. [Пиксанов, 1928]. Среди современных публикаций, близких по тематике данной статье, выделяются исследования усадеб Тульской области [Пономарева, Танкиева, 2015]. Большая часть исследований рассматривает усадьбы как объекты туризма или культурного наследия. В данной статье мы рассматриваем усадьбы прежде всего в качестве ресурса для локального развития территории.

Тверская область часто привлекает внимание географов, благодаря сильной традиции изучения сельского расселения и малых городов региона в Тверском университете. Среди наиболее значимых публикаций по этой тематике можно выделить работы А.А. Ткаченко, А.А. Смирновой, И.П. Смирнова [Ткаченко и др., 2021].

Усадьбы Тверской области становятся частью студенческих практик, в этом отношении представляет интерес публикация Е.В. Меркулова и Р.А. Соколова, представляющая обзор практики историков-регионоведов в усадьбе Берново [Меркулов, Соколов, 2010]. Данная статья посвящена изучению проблемы рационализации использования усадебного наследия в зонах его концентрации.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для написания статьи использовалась авторская база данных о расположении, современном использовании, историческом и архитектурном потенциале и современном состоянии усадебных комплексов, расположенных в окрестностях Торжка (Торжокский, Старицкий, Кувшиновский районы Тверской области). Источниками информации для создания базы данных послужили открытые данные Министерства культуры [Портал открытых данных..., 2021], а также интернет-сайт «Летопись русской усадьбы» [Летопись..., 2021]. Помимо этого летом 2021 г. были проведены полевые наблюдения в Тверской области для уточнения современного состояния усадебных комплексов. Проанализировано состояние 17 усадебных комплексов, которые, по мнению авторов, могут войти в усадебный кластер.

Усадьбы, входящие в зону концентрации, оценены по четырем параметрам: исторический потенциал (жил ли в усадьбе кто-то выдающийся, какой след в истории она оставила); архитектурно-эстетический потенциал (насколько уникальным является сам ансамбль усадьбы); состояние построек (степень и масштабы сохранности внешнего вида дома и интерьеров); состояние парка (благоустройство парка и сохранение исторического облика).

Поскольку количественную оценку в данном случае провести очень сложно, а оценка в баллах неизменно была бы субъективной, то после рассмотрения всех параметров усадьбы попадали в одну из трех групп в зависимости от историко-архитектурного потенциала (высокий, средний, низкий), в зависимости от состояния усадебного комплекса и парка (благоустроенный, удовлетворительное состояние, заброшенный комплекс), также учитывалось то, как сейчас используются усадьбы и их транспортно-географическое положение. На основании полученной оценки усадьбы были отнесены к тому или иному «ярусу» усадебного кластера.

Схема устройства усадебного кластера (рис. 1). На первом этапе работы все усадьбы в зоне их концентрации предложено разделить на три иерархических «яруса»:

– *усадьбы-лидеры*, которые привлекают туристический поток уже на момент зарождения кластера. В них располагаются значимые музейные ком-

плексы, центры культуры и науки. Они могут быть организованы как музеи-заповедники, частные или государственные музеи. Их суть в том, чтобы сделать усадебный кластер узнаваемым и привлекательным, стать основой развития окружающей территории и создать узнаваемый бренд усадебного кластера. Находятся такие усадьбы-лидеры полностью или частично под управлением государства;

– *усадьбы-помощники*, обладающие некоторым потенциалом в сфере культурно-познавательного туризма, которые на данный момент заброшены или используются нерационально. В усадебном кластере они ориентированы на перехват и обслуживание туристического потока, создаваемого усадьбами-лидерами. Можно выделить два типа усадеб-помощников: обслуживающие и досуговые центры. К обслуживающим относятся усадьбы-рестораны, исторические гостиницы, где туристы, приехавшие в усадьбу-лидер, могут отдохнуть и глубже вжиться в обстановку не через экскурсию, а через интеракцию, где можно не только видеть, но и чувствовать, представлять. Усадьбы – развлека-

тельные центры могут представлять интерактивные музеи, места проведения спортивных и культурных мероприятий. Их основная цель – разнообразить туристский продукт, увеличить количество туристов, желающих посетить усадебный кластер, вскрывать нетривиальные стороны усадебной культуры, развлекать и привлекать. Все они должны находиться в частных руках. Государство в лице управляющей компании должно обеспечить бизнесменам поддержку, информационное обеспечение и координацию усилий внутри зоны концентрации усадеб;

– *усадьбы локального значения*, утратившие свой потенциал или не имевшие его. Они становятся точками притяжения на уровне своих населенных пунктов: усадьбы-парки, усадьбы-музеефицированные руины и т. д. В процессе развития кластера они могут переходить на средний ярус и вовлекаться в процесс конкуренции. Подобные усадьбы могут находиться в муниципальной или частной собственности, они служат развитию самих сельских населенных пунктов и поддержанию жизни в них через повышение качества сельской среды.

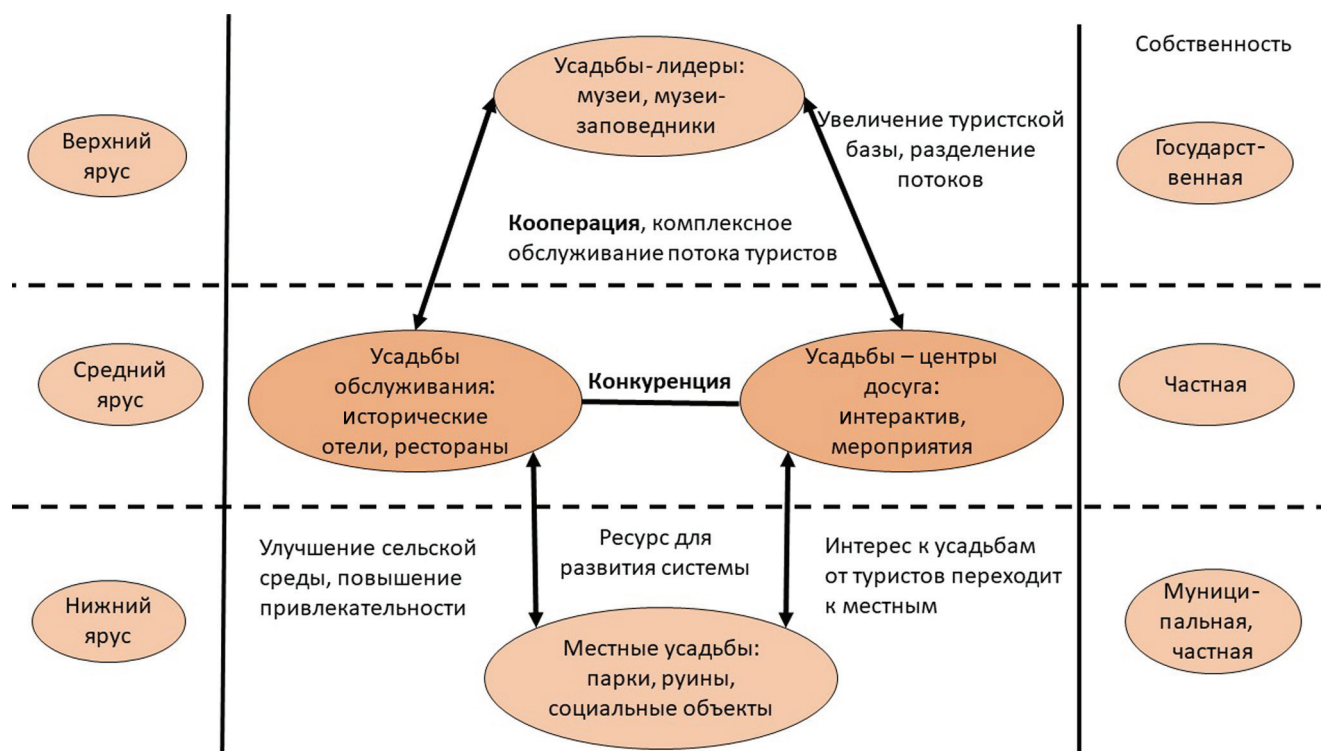


Рис. 1. Схема усадебного кластера

Fig. 1. Scheme of the estate cluster

Задача управляющей команды в усадебном кластере – сформировать стратегию развития, где для каждой усадьбы в зависимости от положения и потенциала будут определены возможные варианты использования, составлен бизнес-план, оказана поддержка в оформлении документов и прохож-

дении проверок. Конструктивный диалог между управленческой структурой и владельцами должен стать основой успешности кластера. В зоне ответственности управления кластера лежит раскрутка его бренда и централизованная работа с туристскими операторами.

Пример европейских стран (Испания, Италия, Германия) показывает, что использование и развитие общего бренда в сфере сельского туризма, защита общих интересов владельцев исторической недвижимости и связанного с этим бизнеса – уже устоявшаяся практика [Смирнова, Маркова, 2016; Kzysztotf, 2018]. Развитие площадных форм туризма, основанного на районировании и выделении относительно однородных туристских регионов распространено как в Европе, так и в Северной Америке [Зырянов, 2018].

В условиях России подобная практика усадебного туризма в сельской местности еще не сформировалась: требуется дополнительное стимулирование и поддержка локальных инициатив со стороны государства. Усадебные кластеры как институт могут быть полезны для организации туризма в сельской местности и этим способствовать сохранению культурного наследия.

Нами были определены следующие критерии отнесения усадебных комплексов к тому или иному иерархическому «ярусу»: верхний ярус – музей, культурный центр, место проведения праздников и фестивалей, это – аттракторы первого порядка; средний ярус – усадьба обслуживания, кафе, отель, развлекательный центр, нижний ярус – руина/парк локального значения (см. рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Историческая общность усадеб в зонах концентрации заставляет задуматься о том, что их можно презентовать туристу не по отдельности, а в целом, сильнее вовлекая посетителей (как туристов, так и местных жителей) в изучение и ощущение усадебной культуры. С учетом того, что именно в этих зонах происходит наиболее интенсивная деградация усадебных комплексов, вопрос о путях сохранения и развития этих территорий стоит наиболее остро.

На формирование Новоторжской зоны концентрации (окрестности г. Торжок, практически все усадьбы расположены на территории бывшего Новоторжского уезда) большое влияние оказал живший там архитектор Николай Александрович Львов – последователь стиля архитектора Палладио. Образ архитектора является очень важным элементом брендинга Новоторжского уезда, способствует привлечению туристов из Санкт-Петербурга и Москвы. Эта зона концентрации усадеб является крупнейшей в стране среди вне-агломерационных. В нее входит 17 усадеб, две из них являются уникальными памятниками архитектуры (Знаменское-Раек, Никольское) (рис. 2, табл.).



Рис. 2. Предлагаемая структура усадебного кластера имени архитектора Н.А. Львова. Источник: составлено О.Д. Крутовым

Fig. 2. The proposed structure of the architect N.A. Lviv estate cluster. Source: compiled by the author

Усадьбы кластера им. Н.А. Львова

№ п/п	Название	Район Тверской области	Время возникновения	Использование	Ярус кластера им. Львова	Предложения по основному объекту в усадебном комплексе
1	Знаменское-Раек	Торжокский	Кон. XVIII в.	Реконструк.	Верхний	Культ. центр
2	Василево (Львовых)	Торжокский	Кон. XVIII в.	Музей	Верхний	Музей
3	Никольское (Львова)	Торжокский	Кон. XVIII в.	Заброшена	Верхний	Музей
4	Прямухино (Бакуниных)	Кувшиновский	Кон. XVIII в.	Храм, заброшена	Верхний	Интерактивный музей
5	Берново (Вульфов)	Старицкий	Кон. XVIII в.	Музей	Верхний	Музей
6	Митино (Львовых)	Торжокский	Кон. XVIII в.	Заброшена	Средний	Событийный центр
7	Щербово (Кропоткиных)	Торжокский	Сер. XIX в.	Заброшена	Средний	Интерактивный музей
8	Грузины (Полторацких)	Торжокский	Сер. XVIII в.	Заброшена	Средний	Гостиница
9	Млевичи (Млевичей)	Торжокский	Сер. XVIII в.	Заброшена	Средний	Гостиница
10	Глухово (Ртищевых)	Торжокский	Кон. XVIII в.	Заброшена	Средний	Парк/гостиница
11	Ладьино (Кознаковых)	Торжокский	Сер. XIX в.	Заброшена	Средний	Событийный центр
12	Богатьково (Ртищевых)	Торжокский	Кон. XVIII в.	Заброшена	Средний	Ресторан
13	Красное (Полторацких)	Старицкий	Кон. XVIII в.	Храм, заброшена	Средний	Храм
14	Конопляно	Старицкий	Сер. XIX в.	Частная собственность	Средний	Событийный центр
15	Арпачево (Львовых)	Торжокский	Кон. XVIII в.	Заброшена	Нижний	Парк, объекты социальной инфраструктуры
16	Селихово	Торжокский	Нач. XIX в.	Заброшена	Нижний	Парк, объекты социальной инфраструктуры
17	Чевакино (Чевакиных)	Торжокский	Нач. XIX в.	Заброшена	Нижний	Парк, объекты социальной инфраструктуры

Примечание. Составлено авторами по данным полевых наблюдений и интернет-источников.

Ситуация с современным состоянием усадеб сложная: 15 из 17 находятся в заброшенном состоянии, некоторые из них недавно обрели собственников, но еще не восстановлены. Также функционируют два музея: Василево и Берново (музей Пушкина). Ни один из них не может стать драйвером роста всего усадебного кластера. Необходима серьезная работа над общим брендом территории, куда будет вписан Торжок и «ожерелье» дворянских усадеб вокруг него: Берново, Грузины, Млевичи, Митино. Для создания уникальной туристической зоны необходимо позиционирование территории как уникального центра усадебной культуры.

Зона концентрации организована центр-периферийно. В центре находится исторический город Торжок, который обладает большим культурным потенциалом и транзитным транспортно-географическим положением между двумя столицами и пригородным экономико-географическим положением относительно Твери. Это является хорошей основой для развития туризма. На данный момент в город вкладываются большие средства: восстанавливается путевой дворец и монастырь. В то же время усадьбы, расположенные за пределами города, в муниципальном районе, не получают должных возможностей для развития.

Усадьбы конца XVIII в. локализованы вдоль дорог на Старицу, Осташков и Тверь. Причиной подобного расположения стали аттрактивные ландшафты, хорошо подходящие для английских парков, расположенные в относительной близости от обеих столиц. В дальнейшем большое значение играл куммулятивный эффект: владельцы усадеб селились там, где уже жили их друзья.

Большая часть усадеб перспективного кластера находится вблизи дороги Торжок – Старица (еще один исторический город Тверской области, который мог бы быть интересен туристам), что является хорошим заделом для становления усадебного туризма. Основная цель кластера: использовать транзитный и туристический потенциал соседних городов (в особенности Торжка) и заявить о себе как об интересной локации в относительной близости от столиц. Дополнительный туристический поток пойдет на пользу как Торжку, так и окрестным усадьбам.

Если сравнивать усадьбы в окрестностях Торжка по культурному и архитектурному потенциалу, заметно, что на старицкой дороге они обладают меньшим потенциалом, но территориально ближе друг к другу. Наиболее значимыми усадьбами являются Знаменское-Раек, Прямухино (усадьба Бакунина), усадьбы, связанные с именем архитектора Н.А. Львова (Никольское, Митино).

Отдельно необходимо упомянуть усадьбу Василево, которая используется под музей деревянного зодчества. В нее из деревень Тверской области свозились памятники деревянного зодчества, однако процесс не был закончен, и музей на данный момент функционирует неэффективно.

Посещение знаковых усадебных комплексов, расположенных на разных дорогах, невозможно без посещения Торжка. Местные гостиницы и кафе будут конкурировать с создаваемыми в рамках усадебного кластера, что является источником риска для развития кластера. В то же время близость Торжка может привлечь большой поток туристов в сельскую местность, которая сейчас привлекает чаще

всего экотуристов, велотуристов, а самое главное может оживить жизнь сельской местности.

В перспективе можно предложить создание трех новых музеев: в усадьбе Знаменское-Раек как уникальном памятнике архитектуры Тверской области, а также интерактивного музея в усадьбе Прямухино (родина Бакунина), что даст стимул к развитию усадеб на Осташковском тракте и в Щербово. Особое значение играют усадьбы старицкой дороги. Каждой из них можно найти свою нишу в рамках общего туристического маршрута из Торжка в Старицу. Акцент может быть сделан на всеобъемлющее погружение в усадебную жизнь начала XIX в. Усадьба Грузины хорошо подходит для организации гостиницы, Богатьково – для кафе. Расположенные рядом с городами Митино и Коноплино хорошо подходят для проведения праздников.

ВЫВОДЫ

На основе особенностей размещения загородных усадеб была предложена концепция усадебного кластера. Усадебный кластер – способ организации зон концентрации усадеб, помогающий бизнесу определить наиболее рациональный способ использования усадеб, продвигающий общий бренд, организующий туристические маршруты, обладающий достаточными компетенциями для продвижения общего туристического продукта среди жителей городов.

Анализ территориальной структуры перспективного кластера показал, что многие усадьбы могут обрести новые функции и сохраниться благодаря организации и разделению обязанностей по обслуживанию туристического потока. Выделение трех ярусов (усадьбы-лидеры, усадьбы обслуживания, усадьбы локального значения) и предложение на основании существующего потенциала и географического положения функций дает возможность усадьбам стать экономическими центрами своих сельских населенных пунктов, удержать коренных жителей и привлечь новых как из городов, так и из соседних населенных пунктов.

Благодарности. Авторы благодарят за консультации в ходе написания статьи сотрудников факультета географии и геоэкологии Тверского государственного университета – Смирнову Александру Андреевну и Смирнова Илью Петровича.

Исследование проведено в рамках выполнения госзадания «Современная динамика и факторы социально-экономического развития регионов и городов России и стран Ближнего Зарубежья» (№ 121051100161-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Веденин Ю.А., Борсук О.А. Русская усадьба – феномен в ландшафтной мировой культуре // География для школьников. 2013. № 1. С. 23–30.
- Зырянов А.И. Дробное районирование и площадное развитие туризма. Вест. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. 2018. № 5. С. 44–51.

- Меркулов Е.В., Соколов Р.А. Экскурсионная составляющая полевой практики кафедры исторического регионоведения в 2008 г. (по материалам экскурсионных выездов в Полотняный завод и усадьбу Берново) // Петербургские исследования. 2010. № 2. С. 93–98.

- Пиксанов Н.К. Областные культурные гнезда. М.; Л.: Государственное книжное издательство, 1928. 148 с.
- Пономарева И.Ю., Танкиева Т.А. Дворянские усадьбы Тульской области как объекты туризма // Современные проблемы сервиса и туризма. 2015. Т. 9. № 3. С. 113–120.
- Смирнова О.О., Маркова Д.А. Институциональные основы формирования культурного ландшафта сельской местности на примере стран ЕС // Культура и цивилизация. 2016. Т. 6. № 5. С. 470–477.
- Ткаченко А.А., Смирнова А.А., Смирнов И.П. Опыт географической классификации сельских районов Тверской области // Крестьяноведение. 2021. Т. 6. № 3. С. 6–18.
- Топорина В.А., Голубева Е.И. Русская провинциальная дворянская усадьба как природное и культурное наследие. М.: Красанд, 2015. 254 с.
- Krzysztof S. Historical hotel management in Poland on the example of the Historical Heritage Hotels Foundation (Heritage Hotels Poland), *The malopolska school of economics in tarnow research papers collection*, 2018, no. 40(3), p. 37–48.
- Электронные ресурсы
- Летопись русской усадьбы. URL: <https://vadimrazumov.ru/> (дата обращения 25.11.2021).
- Портал открытых данных министерства культуры. URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata> (дата обращения 25.11.2021).

Поступила в редакцию 12.02.2022

После доработки 16.05.2022

Принята к публикации 27.06.2022

ESTATE CLUSTER AS A FORM OF RATIONAL USE OF THE CULTURAL HERITAGE (CASE STUDY OF THE TORZHOK DISTRICT, THE TVER REGION)

O.D. Krutov¹, M.S. Savoskul², A.I. Alekseev³

¹⁻³ *Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Economic and Social Geography of Russia*

¹ *Student; e-mail: bigoleg911@yandex.ru*

² *Associate Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: savoskul@yandex.ru*

³ *Professor, D.Sc. in Geography; e-mail: alival@mail.ru*

The present-day state, problems and shortcomings of the modern use of country estates in the areas of their concentration outside the large urban agglomerations are discussed using the example of suburban noble estates located near the town of Torzhok, the Tver region. Based on the results of the analysis of their state, an applied scheme for the formation of a tourist cluster which includes the estates of the former Novotorzhsky and Staritsky counties is suggested. Using the example of 17 estates, the authors present promising options for rationalizing the use and preservation of the estate heritage in the countryside of the Tver region. It is proposed to combine the considered estates into a single estate cluster named after architect Lvov, since the history of many estates in the area is associated with his name. The cluster could include three hierarchical and territorial “tiers”. The estates are attributed to one or another tier depending on the current state of their complex and their historical and architectural potential. On the one hand, such division within a single estate cluster makes it possible to form a common brand and facilitate the organization of connecting routes. On the other hand, the division of estate functions within a single cluster expands the possibilities of their use. The results of the analysis of the state of estates made it possible to consider the territorial organization of their complexes within the cluster. Besides, the authors focus on the problem of collapsing estates, which could become a resource for the economic and cultural development of rural areas, and offer specific solutions applicable to particular estates.

Keywords: country estate, cultural geography, recreational geography, countryside

Acknowledgements. The authors are grateful to A.A. Smirnova and B.P. Smirnov. from the Faculty of Geography and Geoecology, the Tver State University, for their consultations during preparing of the paper.

The study was carried out under the State task 121051100161-9 (Modern dynamics and factors of the socio-economic development of regions and towns of Russia and the near-abroad countries).

REFERENCES

- Merkulov E.V., Sokolov R.A. Ekskursionnaya sostavlyayushchaya polevoj praktiki kafedry istoricheskogo regionovedeniya v 2008 g. (po materialam ekskursionnyh vyezdov v Polotnyanyj Zavod i usad'bu Bernovo) [The excursion component of the field practice of the Department of Historical Regional Studies in 2008 (based on the materials of

- excursions to the Polotnyanyj Zavod and the Bernovo estate)], *Peterburgskie issledovaniya*, 2010, no. 2, p. 93–98. (In Russian)
- Piksanov N.K. *Oblastnye kul'turnye gnezda* [Regional cultural seats], Moscow, Leningrad, Gosudarstvennoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1928, 148 p. (In Russian)
- Ponomareva I.Yu., Tankieva T.A. Dvoryanskie usad'by Tul'skoj oblasti kak ob'ekty turizma [Noble estates of the Tula region as objects of tourism], *Sovremennye problemy servisa i turizma*, 2015, iss. 9, no. 3, p. 113–120. (In Russian)
- Krzysztof S. Historical hotel management in Poland on the example of the Historical Heritage Hotels Foundation (Heritage Hotels Poland), *The malopolska school of economics in tarnów research papers collection*, 2018, no. 40 (3), p. 37–48.
- Smirnova O.O., Markova D.A. Institucional'nye osnovy formirovaniya kul'turnogo landshafta sel'skoj mestnosti na primere stran ES [Institutional foundations of the formation of the cultural landscape of rural areas (case study of the EU countries)], *Kul'tura i civilizaciya*, 2016, iss. 6, no. 5, p. 470–477. (In Russian)
- Tkachenko A.A., Smirnova A.A., Smirnov I.P. Opyt geograficheskoy klassifikacii sel'skih rajonov Tverskoj oblasti [A geographical classification of rural areas in the Tver Region], *Krest'yanovedenie*, 2021, iss. 6, no. 3, p. 6–18, DOI: 10.22394/2500-1809-2021-6-3-6-18. (In Russian)
- Toporina V.A., Golubeva E.I. *Russkaya provincial'naya dvoryanskaya usad'ba kak prirodnoe i kul'turnoe nasledie* [Russian estate as a natural and cultural heritage], Moscow, Krasand Publ., 2015, 254 p. (In Russian)
- Vedenin Yu.A., Borsuk O.A. Russkaya usad'ba – fenomen v landshaftnoj mirovoj kul'ture [The Russian estate as a phenomenon in the landscape world culture], *Geografiya dlya shkol'nikov*, 2013, no. 1, p. 23–30. (In Russian)
- Zyrianov A.I. Drobnoe raionirovanie i ploschadnoe razvitiye turizma [Districting and areal development of tourism], *Vestn. Mosk. Un-ta, Ser. 5, Geogr.*, 2018, № 5, p. 44–51. (In Russian)
- Web sources*
- Letopis' russkoj usad'by [The chronicle of Russian estate], URL: <https://vadimrazumov.ru/> (access date 25.11.2021). (In Russian)
- Portal otkrytyh dannyh ministerstva kul'tury [Open data portal of the Ministry of Culture], URL: <https://opendata.mkrf.ru/opendata> (access date 25.11.2021). (In Russian)

Received 12.02.2022

Revised 16.05.2022

Accepted 27.06.2022

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ СТАТЕЙ К ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ 5. ГЕОГРАФИЯ»

Общие требования к статье

Журнал «Вестник Московского университета. Серия 5. География» публикует результаты оригинальных исследований в различных областях географической науки, теоретические, методические и обзорные статьи, представляющие интерес для мирового научного сообщества. Представленные к опубликованию материалы должны соответствовать формальным требованиям журнала, пройти процедуру слепого рецензирования и получить рекомендацию к публикации на заседании редколлегии журнала. Решение о публикации принимается на основе научной значимости и актуальности представленных материалов. Статьи, отклоненные редакционной коллегией, повторно не принимаются и не рассматриваются.

Объем статьи (текст, таблицы, список литературы, рисунки, перевод на английский) не должен превышать 1 а. л. (40 тыс. печатных знаков, включая пробелы, 5 рисунков), не более 50 тыс. знаков для обзорных статей. Объем кратких сообщений составляет 0,25 а. л. Рекомендуемый список литературы – до 30 наиболее актуальных работ по рассматриваемому вопросу. В обзорных статьях список литературы не должен превышать 60 источников. Для кратких сообщений список литературы может быть до 10 источников. Самоцитирований в списке литературы не должно быть более 10% от общего числа использованных источников.

Статья должна быть четко структурирована и включать рубрики: введение; материалы и методы исследований; результаты исследований и их обсуждение; выводы; список литературы.

Все материалы статьи компонуются **в единый сводный файл в формате Word** и размещаются в нем в следующей последовательности:

1. УДК;
2. Название статьи;
3. Инициалы и фамилия автора(ов);
4. Для каждого автора приводится полное название учреждения, в котором выполнялось исследование, подразделение (кафедра, лаборатория и т. п.), уч. степень, должность, *e-mail*;
5. Аннотация статьи;
6. Ключевые слова;
7. Текст статьи;
8. Благодарности, в том числе – финансирование;
9. Список литературы;
10. Таблицы;
11. Подписи;
12. Рисунки;
13. Перевод на английский язык пунктов 2–6, 8–9;
11. В пункте 4 просьба использовать в переводе официальное наименование организации на английском языке (а не собственный вариант перевода).

Подготовка текста

Текст набирается 12 кеглем через один интервал, поля слева, сверху и снизу – 2 см, справа – 1,5 см. Не допускается использование табулятора или пробелов для обозначения абзаца, ручных переносов в словах, переносов строк клавишей Enter в рамках одного предложения, разрывов страниц и разделов. В тексте статьи возможно использование полужирного шрифта и курсива для смысловых выделений, однако не должно использоваться подчеркивание. Десятичная часть чисел отделяется запятой.

Формулы набираются в редакторе формул в отдельную строку и имеют сквозную нумерацию по всей статье, выровненную по правому краю строки.

Таблицы набираются в Word, не допускается разделение ячеек косой линией. Ручные переносы не допускаются.

Рисунки представляются отдельными файлами, названными по их номерам (например: рис.1.tiff, рис.2.jpg), в графическом формате (eps, tif, jpg) разрешением не менее 300 dpi для полутоновых и 600 dpi для черно-белых изображений и графиков. Для графиков, выполненных в Excel, дополнительно прилагаются соответствующие файлы Excel. Картинки должны быть полностью готовы к изданию. Представление рисунков в виде схем Word или набранного текста с добавлением графических элементов, наложенных сверху, **не допускается**.

Ссылка на источник в тексте документа указывается в квадратных скобках. В тексте ссылки через запятую указывается фамилия автора и год издания. Если ссылок несколько – они отделяются друг от друга точкой с запятой. Ссылка на источник на иностранном языке указывается на языке оригинала. Список русскоязычной литературы оформляется в соответствии с ГОСТ 7.1–2003, 7.82–2001 и 7.0.5–2008. DOI (при наличии) указывается в конце ссылки. Ссылка на источник на английском языке оформляется единообразно и в русскоязычном, и в переведенном на английский язык списке литературы. **При наличии у русскоязычного издания, которое фигурирует в списке литературы, оригинальной или переводной англоязычной версии в ссылке должна быть указана именно она, а не русскоязычный вариант.**

Более подробные инструкции по подготовке статей для авторов можно найти на сайте журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Статьи, оформленные не по правилам, будут возвращаться автору на переработку.

Статьи принимаются на географическом факультете в редакции, через сайт журнала и по электронной почте.

Редакция: комната 2108а, тел. +7(495)9392923. Сайт журнала <https://vestnik5.geogr.msu.ru/jour/index>. Электронная почта: vestnik_geography@mail.ru.

Плата за публикацию не взимается

УЧРЕДИТЕЛИ:

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова;
географический факультет МГУ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

С.А. ДОБРОЛЮБОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН (главный редактор)
В.С. ТИКУНОВ, доктор географических наук, профессор (зам. главного редактора)
Е.А. ЕРЕМЕНКО, кандидат географических наук (ответственный секретарь)
А.И. АЛЕКСЕЕВ, доктор географических наук, профессор
С.И. БОЛЫСОВ, доктор географических наук, профессор
А.Н. ГЕННАДИЕВ, доктор географических наук, профессор
К.Н. ДЬЯКОНОВ, доктор географических наук, профессор, член-корреспондент РАН
С.С. ЗИЛИТИНКЕВИЧ, доктор географических наук, профессор (Метеорологический институт Финляндии)
О.Г. ЗОЛИНА, профессор (Университет Ж. Фурье, г. Гренобль, Франция)
В.Ю. ИВАНОВ, профессор (Мичиганский университет, США)
Н.С. КАСИМОВ, доктор географических наук, профессор, академик РАН
А.В. КИСЛОВ, доктор географических наук, профессор
В.А. КОЛОСОВ, доктор географических наук, профессор
К.П. КОЛТЕРМАНН, профессор
М. КОНЕЧНЫ, профессор (Университет г. Брно, Чешская Республика)
С.Б. КРООНЕНБЕРГ, профессор (Технологический университет г. Делфт, Нидерланды)
С.М. МАЛХАЗОВА, доктор географических наук, профессор
Г. МОУРИ, профессор (Университет г. Токио, Япония)
С.А. СОКРАТОВ, кандидат географических наук, PhD
П.Е. ТАРАСОВ, доктор наук, профессор (Берлинский Свободный университет, Германия)
Н.Л. ФРОЛОВА, доктор географических наук, профессор
В.Е. ШУВАЛОВ, кандидат географических наук, доцент
Т.А. ЯНИНА, доктор географических наук, профессор
В.В. ЯНКО-ХОМБАХ, доктор геолого-минералогических наук, профессор (Институт прикладных исследований Авалон, г. Виннипег, Канада)

EDITORIAL BOARD:

S.A. DOBROLUBOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor (Editor-in-chief)
V.S. TIKUNOV, doctor of science, professor (Deputy Editor-in-chief)
E.A. EREMENKO, candidate of science (Secretary-General)
A.I. ALEKSEEV, doctor of science, professor
S.I. BOLYSOV, doctor of science, professor
A.N. GENNADIYEV, doctor of science, professor
K.N. D'YAKONOV, doctor of science, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor
S.S. ZILITINKEVICH, doctor of science, professor (Finnish Meteorological Institute, Finland)
O.G. ZOLINA, professor (Fourier University, Grenoble, France)
V.YU. IVANOV, professor (Michigan University, USA)
N.S. KASIMOV, doctor of science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor
A.V. KISLOV, doctor of science, professor
V.A. KOLOSOV, doctor of science, professor
K.P. KOLTERMANN, professor
M. KONECNÝ, professor (Masaryk University, Faculty of Science, Czech Republic)
S.B. KROONENBERG, professor (Delft University of Technology, Department of Applied Earth Sciences, Netherlands)
S.M. MALKHAZOVA, doctor of science, professor
G. MOURI, professor (University of Tokyo, Japan)
S.A. SOKRATOV, candidate of science, PhD
P.E. TARASOV, professor (Free Berlin University, Germany)
N.L. FROLOVA, doctor of science, professor
V.E. SHUVALOV, candidate of science, associate professor
T.A. YANINA, doctor of science, professor
V.V. YANKO-KHOMBACH, doctor of science, professor (Avalon Institute of Applied Sciences, Winnipeg, Canada)

Номер подготовили члены редколлегии

С.И. БОЛЫСОВ, В.С. ТИКУНОВ

Редактор **Е.С. Повалишникова**

Адрес редколлегии:

119992, Москва, Ленинские горы, МГУ,
географический факультет, комн. 2108а. Тел. 7(495) 939-29-23

Журнал зарегистрирован в Министерстве печати и информации РФ.
Свидетельство о регистрации № 1552 от 14 февраля 1991 г.

Подписано в печать 00.00.2016. Формат 60×90/8.
Гарнитура Times New Roman. Бумага офсет. № 1. Офсетная печать. Усл. печ. л.
Уч.-изд. л. 00. Тираж экз. Изд. № 00000. Заказ №

Типография МГУ.

119991, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 15.