

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ – АЛТАЙСКОЕ КРАЕВОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ВОО «РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

ИЗВЕСТИЯ АЛТАЙСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

(ИЗВЕСТИЯ АО РГО)

Журнал
Декабрь 2020
Основан в 1961 году

ISSN 2410-1192
№ 4 (59)
Выходит 4 раза в год

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР, ПРЕДСЕДАТЕЛЬ СОВЕТА – Пузанов А.В., д.б.н., проф., г. Барнаул

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

Безматерных Д.М., д.б.н., доц., г. Барнаул

Коржнев В.Н., к.г.-м.н., доц., г. Бийск

ВЫПУСКАЮЩИЙ РЕДАКТОР – Архипова И.В., к.г.н., г. Барнаул

ЧЛЕНЫ СОВЕТА:

Андроханов В.А., д.б.н., проф., г. Новосибирск
Буслов М.М., д.г.-м.н., проф., г. Новосибирск
Бутвиловский В.В., д.г.н., г. Дрезден, Германия
Веснина Л.В., д.б.н., проф., г. Барнаул
Винокуров Ю.И., д.г.н., проф., г. Барнаул
Водичев Е.Г., д.и.н., проф., г. Новосибирск
Гармаев Е.Ж., д.г.н., чл. корр., г. Улан-Удэ
Гусев А.И., д.г.-м.н., проф., г. Бийск
Гутак Я.М., д.г.-м.н., проф., г. Новокузнецк
Двинских С.А., д.г.н., проф., г. Пермь
Дунец А.Н., д.г.н., проф., г. Барнаул
Егорина А.В., д.г.н., проф., Казахстан
Ельчиной О.А., д.с.-х.н., проф., г. Горно-Алтайск
Заика В.В., д.б.н., проф., г. Кызыл
Зиновьев А.Т., д.т.н., г. Барнаул
Золотов Д.В., к.б.н., г. Барнаул
Инишева Л.И., д.с.-х.н., чл.-корр., г. Томск
Кириллов В.В., к.б.н., доц., г. Барнаул
Кирста Ю.Б., д.б.н., проф., г. Барнаул
Комарова Л.А., д.б.н., проф., г. Бийск
Конторович А.Э., д.г.-м.н., акад., г. Новосибирск

Кочуров Б.И., д.г.н., проф., г. Москва
Куrolап С.А., д.г.н., проф., г. Воронеж
Лхагвасурэн Чойжинжав, проф., г. Ховд, Монголия
Мазуров М.П., д.г.-м.н., проф., г. Новосибирск
Оберт А.С., д.м.н., проф., г. Барнаул
Парначев В.П., д.г.-м.н., проф., г. Томск
Подобина В.М., д.г.-м.н., проф., г. Томск
Попов П.А., д.б.н., проф., г. Новосибирск
Ротанова И.Н., к.г.н., доц., г. Барнаул
Рудский В.В., д.г.н., проф., Московская обл.
Савичев О.Г., д.г.н., проф., г. Томск
Севастьянов В.В., д.г.н., проф., г. Томск
Сенников Н.В., д.г.-м.н., проф., г. Новосибирск
Сухова М.Г., д.г.н., проф., г. Горно-Алтайск
Сысо А.И., д.б.н., проф., г. Новосибирск
Ташев А.Н., к.б.н., проф., Болгария
Труевцева О.Н., д.и.н., проф., г. Барнаул
Чернышов А.И., д.г.-м.н., проф., г. Томск
Чибилев А.А., д.г.н., акад. РАН, г. Оренбург
Ядренкина Е.Н., д.б.н., проф., г. Новосибирск
Яныгина Л.В., д.б.н., доц., г. Барнаул

Технический редактор – Пестова Л.В., к.с.-х.н.

Адрес издателя и редакции: 656038 Барнаул, ул. Молодежная, 1
Тел: (385-2) 364091, (385-2) 666507, факс (385-2) 240396, bulletin@rgo-altay.ru, <http://rgo-journal.ru>

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ТУ22-00534. Подписной индекс в каталоге Роспечати 95004

© Известия Алтайского отделения Русского географического общества, 2020

г. Барнаул – 2020

FOUNDER AND PUBLISHER – ALTAY REGIONAL BRANCH
RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

BULLETIN OF THE ALTAY BRANCH OF THE RUSSIAN GEOGRAPHICAL SOCIETY

(BULLETIN AB RGS)

[IZVESTIYA ALTAYSKOGO OTDELENIYA RUSSKOGO GEOGRAFICHESKOGO OBSHCHESTVA
(IZVESTIYA AO RGO)]

Journal
December, 2020
Founded in 1961

ISSN 2410-1192
No 4 (59)
4 issues per year

EDITORIAL BOARD

EDITORS-IN-CHIEF – Prof. Alexandr V. Puzanov (Barnaul, Russia)

DEPUTY CHIEF EDITORS:

DrSc Dmitry M. Bezmaternyh (Barnaul, Russia)

PhD Viktor N. Korzhnev (Biysk, Russia)

MANAGING EDITOR – PhD Irina V. Arkhipova (Barnaul, Russia)

THE MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

Prof. V.A. Androkhonov (Novosibirsk, Russia)
Prof. M.M. Buslov (Novosibirsk, Russia)
DrSc V.V. Butvilovsky (Dresden, Germany)
Prof. A.I. Chernyshov (Tomsk, Russia)
Acad. RAS Prof. A.A. Chibilyov (Orenburg, Russia)
Prof. A.N. Dunets (Barnaul, Russia)
Prof. S.A. Dvinskikh (Perm, Russia)
Prof. A.V. Egorina (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)
Prof. O.A. Elchinina (Gorno-Altaysk, Russia)
Prof. E.Zh. Garmaev (Ulan-Ude, Russia)
Prof. A.I. Gusev (Biysk, Russia)
Prof. Ya.M. Gutak (Novokuznetsk, Russia)
Prof. L.I. Inisheva (Tomsk, Russia)
PhD V.V. Kirillov (Barnaul, Russia)
Prof. Yu.B. Kirlov (Barnaul, Russia)
Prof. L.A. Komarova (Biysk, Russia)
Acad. RAS Prof. A.E. Kontorovich (Novosibirsk, Russia)
Prof. B.I. Kochurov (Moscow, Russia)
Prof. S.A. Kurolap (Voronezh, Russia)
Prof. Lhagvasuren Chojinjav (Khovd, Mongolia)
Prof. M.P. Mazurov (Novosibirsk, Russia)

Prof. A.S. Obert (Barnaul, Russia)
Prof. V.P. Parnachev (Tomsk, Russia)
Prof. V.M. Podobina (Tomsk, Russia)
Prof. P.A. Popov (Novosibirsk, Russia)
PhD I.N. Rotanova (Barnaul, Russia)
Prof. V.V. Rudsky (Moscow region, Russia)
Prof. O.G. Savichev (Tomsk, Russia)
Prof. N.V. Sennikov (Novosibirsk, Russia)
Prof. V.V. Sevastyanov (Tomsk, Russia)
Prof. M.G. Sukhova (Gorno-Altaysk, Russia)
Prof. A.I. Syso (Novosibirsk, Russia)
Prof. A.N. Tashev (Bulgaria)
Prof. O.N. Truevtseva (Barnaul, Russia)
Prof. L.V. Vesnina (Barnaul, Russia)
Prof. Yu.I. Vinokurov (Barnaul, Russia)
Prof. E.G. Vodichev (Novosibirsk, Russia)
Prof. E.N. Yadrenkina (Novosibirsk, Russia)
DrSc L.V. Yanygina (Barnaul, Russia)
Prof. V.V. Zaika (Kyzyl, Russia)
DrSc A.T. Zinoviev (Barnaul, Russia)
PhD D.V. Zolotov (Barnaul, Russia)

Technical editor – PhD Lyubov V. Pestova

Address for correspondence: 1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038, Russia
Tel: +7(385-2) 364091, 666507, Fax: +7(385-2) 240396, bulletin@rgo-altay.ru, <http://rgo-journal.ru>

Certificate of mass media registration of Russian Federation ПИ No TY22-00534

Subscription index in «Rospechat» catalogue 95004

© Bulletin of the Altay branch of the Russian Geographical society, 2020

Barnaul – 2020

СОДЕРЖАНИЕ

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

РАЗДЕЛ 1. ГЕОГРАФИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

- Непомнящий В.В., Макеева Е.Г.* ОСОБЕННОСТИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АКВАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ.....5

РАЗДЕЛ 2. ГЕОЛОГИЯ

- Коржнев В.Н.* ВТОРОЙ ЭТАП КОЛОНИЗАЦИИ КОНТИНЕНТА ВЫСШИМИ РАСТЕНИЯМИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ13

РАЗДЕЛ 3. ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

- Атавин А.А., Овчинникова Т.Э., Пасечкина В.Ю.* МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВОЛНЫ ПАВОДКА НА УЧАСТКЕ ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ ОБИ21
- Зиновьев А.Т., Балдаков А.И., Марусин К.В.* ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА РЕКЕ КАТУНЬ У СЕЛА МАНЖЕРОК (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ).....30
- Марусин К.В., Дьяченко А.В., Коломейцев А.А., Вагнер А.А.* ВЕРИФИКАЦИЯ ОДНОГО ИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕК ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ВЕРХНЕЙ ОБИ45
- Поздняков Ш.Р., Иванова Е.В., Лапенков А.Е., Гузева А.В., Ревунова А.В.* СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА БАСКУНЧАК58
- Скрыльник Г.П.* ТИПИЧНЫЕ И АНОМАЛЬНЫЕ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАЗНОМАСШТАБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНТИНЕНТА И ОКЕАНА В РАМКАХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА.....68

РАЗДЕЛ 4. ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

- Зарубина Е.Ю., Феттер Г.В.* К ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ВЫСОКОГОРНЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА РЕКИ МУЛЬТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ).....74
- Шоль Л.В., Эйрих С.С., Ильина Е.Г.* ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИЙ И ПОТОКОВ РТУТИ, ПОСТУПАЮЩИХ ИЗ АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИЮ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА.....83

CONTENTS

SCIENTIFIC REPORTS

SECTION 1. GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

- Nepomnyashchiy V.V., Makeeva E.G.* FEATURES OF RECREATIONAL EFFECTS ON
AQUATIC NATURE COMPLEXES: METHODOLOGICAL ASPECTS5

SECTION 2. GEOLOGY

- Korzhnev V.N.* THE SECOND STAGE OF COLONIZATION CONTINENT HIGHER
PLANTS ON THE TERRITORY OF GORNY ALTAI.....13

SECTION 3. HYDROLOGY. CLIMATE

- Atavin A.A., Ovchinnikova T.E., Pasechkina V.Yu.* MATHEMATICAL MODELLING OF
THE FLOOD WAVE PROPAGATION IN THE SECTION OF UPPER AND MIDDLE
PART OF RIVER OB21
- Zinoviev A.T., Bulgakov A.I., Marusin K.V.* ASSESSMENT OF CURRENT HYDRO-
MORPHOLOGICAL SITUATION ON THE KATUN RIVER AT MANZHEROK
VILLAGE (REPUBLIC OF ALTAI).....30
- Marusin K.V., Dyachenko A.V., Kolomeytsev A.A., Wagner A.A.* VERIFICATION OF
THE METHOD FOR PREDICTING RIVER BANK EROSION BY THE FIELD DATA
COLLECTED IN THE OB RIVER UPPER REACH45
- Pozdnyakov Sh.R., Ivanova E.V., Lapenkov A.E., Guzeva A.V., Revunova A.V.* RECENT
HYDROLOGICAL CONDITION OF LAKE BASKUNCHAK58
- Skrylnik G.P.* TYPICAL AND ANOMALOUS MORPHOGENETIC EFFECTS OF
DIFFERENT-SCALE INTERACTION OF THE CONTINENT AND THE OCEAN
WITHIN THE CLIMATE BELTS OF THE FAR EAST68

SECTION 4. ECOLOGY. FLORA. FAUNA

- Zarubina E.Yu., Fetter G.V.* TO HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL
CHARACTERISTICS OF HIGH ALTITUDE LAKES IN THE RIVER MULTA BASIN
(GORNY ALTAI).....74
- Shol L.V., Eyrikh S.S., Ilyina E.G.* ASSESSMENT OF MERCURY CONCENTRATIONS
AND FLUXES FROM THE ATMOSPHERE ON THE TERRITORY OF THE YAMAL-
NENETS AUTONOMOUS DISTRICT83

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ ♦ SCIENTIFIC REPORTS

Раздел 1

ГЕОГРАФИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Section 1 GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

УДК [556:(379.846:303.094)]:005

ОСОБЕННОСТИ РЕКРЕАЦИОННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА АКВАЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

В.В. Непомнящий, Е.Г. Макеева

Государственный природный заповедник «Хакасский», Абакан

E-mail: n111viktor@yandex.ru, meg77@yandex.ru

Изложены методические подходы к вопросам рекреационного водопользования. Рассмотрены последствия организованной и неорганизованной рекреации, а также влияние маломерного флота на качество воды и рекреационную ценность аквальных комплексов. Проведено обобщение последствий любительского лова рыбы и массового туризма на водные экосистемы.

Ключевые слова: рекреация, рекреационное водопользование, туризм, водная рекреация, рекреационная нагрузка.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15901

Дата поступления 14.01.2020

Методологические основы рационального рекреационного водопользования заложены такими исследователями, как Т.А. Соловьева [1], Н.Н. Литвинов [2], С.М. Драчев и др. [3], М.Г. Рябышев [4], С.Н. Черкинский [5], В.К. Бойченко [6], А.Б. Авакян и др. [7]. Для экологической и хозяйственной практики важно учитывать комплексный характер вопросов рекреационного водопользования: оценку аттрактивности водных объектов; удовлетворение потребности населения на рекреацию и отдых; изучение вопросов антропогенного прессинга на аквальные комплексы и береговые экосистемы. Ниже дана краткая характеристика специфики и особенностей влияния рекреации и отдыха на аквальные комплексы.

Воздействие рекреации на качество воды и водные экосистемы в целом определяет поступление биогенных веществ, характер и мощность которых в

экстремальных случаях может обуславливать динамику дальнейшего развития экосистемы. Избыточное поступление биогенов в водную среду способствует развитию процесса эвтрофирования. По данным Т.А. Соловьевой [1] в течение 10-минутного купания человек вносит в воду свыше 3 млрд сапрофитных бактерий и от 100 тыс. до 20 млн кишечных палочек.

При исследовании влияния рекреации на качество воды различают два основных пути поступления загрязнений в водные объекты: прямой и косвенный. Прямой путь – это непосредственное загрязнение воды в результате сброса сточных вод с зон отдыха, смыва бактерий и вирусов с тела человека, утечки нефтепродуктов и поступления других химических веществ от судов с подвесными лодочными моторами (ПЛМ), внесение прикормок при любительском рыболовстве, накопление отходов на

льду и т.п. Косвенный путь – ухудшение качества воды вследствие количественных и качественных изменений поверхностного и подземного стока с территорий, используемых для отдыха, вторичное загрязнение водоема при взмучивании донных отложений и др. Изучение косвенных путей воздействия рекреации на водоем, особенно процессов, происходящих в пределах береговых зон, имеет не менее важное значение, чем исследование прямых путей поступления рекреационных загрязнений. В некоторых случаях косвенные пути поступления загрязнений в водные объекты с рекреационных территорий могут играть ведущую роль в загрязнении природных вод [7].

В большинстве случаев при массовом купании преобладает прямой путь поступления загрязнений в водоем. Вместе с тем в условиях массового купания происходит взмучивание донных отложений. В этом случае преобладает косвенный путь, характер воздействия которого можно определить путем имитации взмучивания донных отложений перед началом массового купания. Измерение рекреационных нагрузок на водоем осуществляется путем визуального подсчета отдыхающих (купающихся) и технических средств.

Нормированию в рекреационном водопользовании посвящено ограниченное количество работ отечественных исследователей [1, 8-9]. По мнению В.П. Чижовой [9] учету подлежат не только сами «поступления» от рекреационной деятельности, но и уже существующая концентрация этих элементов в водоеме. Допустимые нагрузки рассчитываются для каждого вида рекреации отдельно, а за итоговую принимается наименьшая из всей системы «водосбор-водоем». Если береговой комплекс оказывается менее устойчив к рекреационной нагрузке, чем водоем, то за допустимую принимаем нагрузку на береговой комплекс.

При изучении воздействия рекреации на лесные или иные ландшафты

важное значение имеет не только естественная устойчивость акватории к рекреационному воздействию, но и вид рекреации (пляжный отдых, катание на яхтах, лодках и гидроциклах, виндсерфинг и кайтсерфинг, сплав, рыбалка и т.д.). Наиболее проработанным вопросом рекреационных нагрузок на водоемы являются исследования влияния маломерного флота на аквальные комплексы. В работе Н.В. Туруниной и Ю.И. Никанорова [10] приводятся нагрузки моторных лодок на водоем по суммарной мощности ПЛМ, при которой будет обеспечено разбавление в воде продуктов выхлопа до безопасного уровня.

Значительный вклад в исследования проблем рекреационного водопользования внесли исследования А.Б. Авакяна и др. [7]. Авторы предлагают ввести понятия удельной рекреационной нагрузки (УРН) и допустимой рекреационной нагрузки (ДРН). Удельная рекреационная нагрузка на водоем – это количество вещества (химической, органической или биологической природы), поступающее в водный объект (прямыми и косвенными путями) от одного участника определенного вида рекреационного водопользования за единицу времени:

$$P = C_1 + C_2,$$

где P – общее количество вещества, поступающего в водный объект от одного участника рекреационного водопользования (мг/с, микробных клеток/с и т.д.); C_1 – поступление загрязняющего вещества прямыми путями; C_2 – поступление загрязняющего вещества косвенными путями.

Допустимая рекреационная нагрузка – это количество загрязняющих веществ, которое может принять водный объект от определенного числа участников данного вида рекреационного водопользования до уровня соответствующих нормативов:

$$NP = W (K_{ПД} - K_B) / K,$$

где N – число участников рекреационного водопользования, чел.; W – объем

стока за период рекреационного водопользования; $K_{ПД}$ – предельно допустимая концентрация вещества для воды водного объекта соответствующей категории, мг/л; K_B – содержание данного вещества в воде водного объекта, мг/л, K – поправочный коэффициент [7].

Использование водных объектов в рекреационных целях, в отличие от ландшафтов, достаточно детально регламентируется водным законодательством России. Водный Кодекс Российской Федерации определяет условия использования водных объектов для рекреационных целей: отдых, туризм, спорт (ст. 50) [11]. Конкретные правила использования водных объектов отнесены к компетенции органов местного самоуправления, за исключением мест традиционного проживания коренных

малочисленных народов (КМНС) Севера, Сибири и Дальнего Востока, там порядок определяют КМНС.

В соответствии с Постановлением Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2006 г. № 881 «О порядке утверждения нормативов допустимого воздействия на водные объекты» разработаны Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты [12]. Данный документ, достаточно детально регламентирует определение норм воздействия для разных видов использования, в том числе и рекреационного. Гигиенические и санитарные особенности использования водных объектов в рекреационных целях изложены в санитарных правилах и нормах [13] (табл.).

Таблица

Общие требования к составу и свойствам воды водных объектов в местах рекреационного водопользования (СанПин 2.1.5.980-00)

Показатели воды	Требования и нормы
Взвешенные вещества	при сбросе сточных вод, производстве работ на водном объекте и в прибрежной зоне содержание взвешенных веществ в контрольном створе (пункте) не должно увеличиваться по сравнению с естественными условиями более, чем на 0,75 мг/л
Плавающие примеси	на поверхности воды не должны обнаруживаться пленки нефтепродуктов, масел, жиров и скопления других примесей
Окраска	не должна обнаруживаться в столбике 10 см
Запахи	не должны быть интенсивностью более 2 баллов, обнаруживаемые непосредственно
Температура	летняя температура воды в результате сброса сточных вод не должна повышаться более чем на 3°C по сравнению со среднемесячной температурой самого жаркого месяца года за последние 10 лет
Водородный показатель pH	не должен выходить за пределы 6,5-8,5
Минерализация воды	не более 1000 мг/л, в т.ч. хлоридов – 350; сульфатов – 500 мг/л;
Растворенный кислород	не должен быть менее 4 мг/л в пробе, отобранной до 12 часов дня в любой период года
Биохимическое потребление кислорода (БПК ₅)	не должно превышать 4 мг O ₂ /л при температуре 20°C
Химическое потребление кислорода (ХПК)	не должно превышать 30 мг/л
Химические вещества	не должны содержаться в концентрациях, превышающих ПДК
Возбудители кишечных инфекций	должны отсутствовать
Жизнеспособные яйца гельминтов	должны отсутствовать яиц аскарид, власоглав, токсокар, фасциол, а также онкосферы тениид и жизнеспособные цисты патогенных кишечных простейших
Термотолерантные колиформные бактерии	не более 100 КОЕ/100 мл
Общие колиформные бактерии	не более 500 КОЕ/100 мл
Колифаги	не более 10 БОЕ/100 мл
Суммарная объемная активность радионуклидов при совместном присутствии	$\Sigma (A_i / Y_{Bi}) \leq 1$

Прибрежные территории в летний период испытывают наибольший рекреационный прессинг среди всех прочих рекреационных зон, отечественные пляжи являются традиционным местом массовой рекреации и туризма. Санитарно-эпидемиологические, природоохранные и иные требования к пляжам отражены в ГОСТе Р 55698-2013 [14]. Согласно данному документу, при строительстве пляжей регламентируется минимальная площадь береговой зоны на 1 чел./туриста: для морских пляжей – не менее 3 м; для речных, озерных и др. – не менее 5 м; для детских – не менее 4 м; для специализированных (для больных с нарушениями опорно-двигательного аппарата) 8-10 м. Площадь акватории в месте купания на проточном водоеме должна обеспечить не менее 5 м на одного купающегося, а на непроточном водоеме – не менее 10 м.

Использование водных объектов для любительского и спортивного рыболовства разрешается органами местного самоуправления по согласованию с федеральным органом исполнительной власти в области управления использования и охраны водного фонда, с федеральным органом исполнительной власти в области управления использования и охраны рыбных ресурсов и с федеральным органом исполнительной власти по охране, контролю и регулированию использования объектов животного мира и среды обитания.

В России, как и во всем мире, любительская рыбалка считается одним из самых любимых и распространенных видов отдыха. При этом любительское рыболовство может быть как организованным, так и самостоятельным. Оно отличается сезонностью и разнообразием орудием лова, может комбинировать нагрузку подвесных лодочных моторов с внесением подкормочных средств и фактическим выловом рыбы. По данным И.В. Ланцовой [15] за одну рыбалку вносится 100-400 г подкормки, что способствует эвтрофированию мелко-

водных участков. Рыболовство с лодки характеризуется поступлением загрязнений как в виде различных прикормок, так и в виде поступления продуктов дигуза. Рыболовство со льда является наиболее массовым видом промыслового туризма и характеризуется существенным рекреационным воздействием на аквальные комплексы и, в частности, на качество воды. Например, расчеты нагрузки загрязнения от любительского рыболовства по Ивановскому водохранилищу на основе физиологических показателей человека позволили определить, что загрязнение водохранилища за год составляет 5-7 т взвешенных веществ, 0,7-0,9 т аммонийного азота, 0,3 т минеральных соединений фосфора и около 1 т хлоридов. Кроме того, при применении подкормки для рыб в водоем вносится ещё около 70-80 т различных веществ, в основном – органических [15].

По мнению ряда авторов [16-17] при изучении влияния любительского рыболовства на состояние рыбных запасов наиболее сложный вопрос – учет количества рыбы, изымаемой рыбаками-любителями из определенного водоема. Одним из основных количественных показателей при оценке любительского вылова рыбы является численность рыболовов-любителей, присутствующих на изучаемом водоеме в течение определенного периода, иными словами – число рыбалок, проведенных на протяжении данного периода, видовой и количественный составы уловов.

Кроме прямого воздействия на запасы рыб, любительское рыболовство оказывает опосредованное влияние на состояние популяций тех или иных видов [18]. Например, значительный урон рыбам р. Лены наносится при любительском лове тугуна с применением бредня с разрешенным минимальным размером ячеи в 10 мм, в результате этого прилов сеголеток и годовиков окуня, ерша и плотвы доходит до 90 % [19] и составляет 1,2 млн. экз. Ежегодный вылов моло-

ди рыб нарушает популяционную структуру и является одной из основных причин уменьшения численности этих видов рыб, особенно вблизи крупных населенных пунктов, где наибольший пресс любительского рыболовства [20].

На протяжении последних десятилетий 3/4 мирового рекреационного потока устремляется к побережьям морей и океанов; растет популярность круизного туризма – в мире насчитывается около 150 морских круизных компаний. На берегах водоемов расположено около 60 % всех санаториев, свыше 80 % учреждений отдыха и 90 % рекреационных объектов для пригородного отдыха [21]. Организацией объединенных наций (ООН) в докладе о состоянии водных ресурсов 2019 г. проблема водопользования рассматривается шире. Так, эксперты ООН отмечают существенный рост нагрузки на все водные ресурсы мира. С 1980-х гг. общемировое использование водных ресурсов в среднем возрастает приблизительно на 1 % в год в результате совокупного воздействия таких факторов, как демографический рост, социально-экономическое развитие и меняющиеся модели потребления [22].

В последнее десятилетие существенно обострилась проблема пластикового загрязнения водоемов, причем как во внутренних водоемах нашей страны, так и Мирового океана. Посчитано, что от 1 до 5 трлн пластиковых пакетов потребляется во всем мире каждый год, или до 10 млн в минуту. Если их связать друг с другом, то можно обогнуть Землю семь раз, а общая площадь будет в два раза больше Франции [23].

Тысячи кубических метров мусора из пластиковых пакетов и бутылок дрейфуют в Мировом океане, попадая в желудки морских обитателей. В насто-

ящее время появляются доказательства того, что токсичные химические вещества из пластика, попадая в ткани животных, в конечном итоге поступают в организм человека. Ежегодный экономический ущерб, наносимый пластиковым мусором мировой морской экосистеме составляет порядка 13 млрд долларов [23].

Аттрактивность аквальных комплексов во многом определяется их эстетичным и санитарным состоянием. Тонны мусора в Мировом океане и на побережье существенно снижают их привлекательность. Теряя свои аттрактивные свойства, территория или акватория перестает быть тем ресурсом, который определяется как рекреационный. Таким образом, можно утверждать, что эстетическое загрязнение является не менее важным компонентом нагрузки, чем прямое поступление загрязняющих веществ.

При оценке рекреационного воздействия на аквальные комплексы в первую очередь необходимо учитывать следующие положения.

1. Различные виды рекреационного водопользования могут по-разному оказывать воздействие на акваторию.

2. Характер рекреационного водопользования (организованный или неорганизованный отдых) во многом определяет рекреационную емкость акватории; при организованном отдыхе емкость будет выше, чем при неорганизованном.

3. Устойчивость к антропогенному фактору различных аквальных комплексов не одинакова.

4. Количество вещества, поступающего в водный объект, должно соответствовать предельно допустимым концентрациям соответствующих категорий.

Список литературы

1. Соловьева Т.А. Купание как причина загрязнения воды // Гигиена и санитария. – 1953. – № 3. – С. 55-58.

2. Литвинов Н.Н. Итоги и перспективы гигиенического изучения водохранилищ СССР // Гигиена водохранилищ. – М.: Наука, 1961. – С. 8-9.
3. Драчев С.М., Буторин Н.В., Былинкина А.А. Факторы, определяющие качество воды в водохранилищах // Тр. Ин-та биологии внутренних вод. Вып. 26 (29). – М.: АН СССР, 1974. – С. 3-4.
4. Рябышев М.Г. Охрана водных ресурсов Москвы // Вод. ресурсы. – 1975. – № 5. – С. 15-32.
5. Черкинский С.Н. Санитарные условия спуска сточных вод в водоемы. – М.: Стройиздат, 1977. – 217 с.
6. Бойченко В.К. Гигиенические вопросы комплексного использования водохранилищ питьевого назначения (на примере Иваньковского водохранилища): автореф. дис... канд. мед. наук. – М., 1977. – 21 с.
7. Авакян А.Б., Бойченко В.К., Ланцова И.В., Салтанкин В.П., Яковлева В.Б. Рекреационное использование водохранилищ: проблемы и решения. – М.: Наука, 1990. – 152 с.
8. Ланцова И.В., Григорьева И.Л., Тихомиров О.А. Водохранилища как объекты рекреационного использования. – Тверь: Изд-во ТГУ, 2004. – 160 с.
9. Чижова В.П. Рекреационные ландшафты: устойчивость, нормирование, управление. – Смоленск: Ойкумена, 2011. – 176 с.
10. Турунина Н.В., Никаноров Ю.И. Отрицательное влияние любительского рыболовства и маломерного флота на рыбохозяйственные водоемы // Рыб. хоз-во. – 1982. – № 3. – С. 37-39.
11. Водный кодекс Российской Федерации [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/
12. Приказ МПР РФ от 12 декабря 2007 г. № 328 «Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты». – [Электронный ресурс]. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_74470.
13. СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод: Санитарные правила и нормы / Минздрав России. – Введ. 2001-01-01. – М., 2000. – 24 с.
14. ГОСТ Р 55698-2013. Туристские услуги. Услуги пляжей. Общие требования. – [Электронный ресурс]. – URL: <http://gostpdf.ru/cont/files/55698-2013/gost-55698-2013.11077.pdf>.
15. Ланцова И.В. Рекреационное водопользование как фактор формирования качества вод // Вода: химия и экология. – 2009. – № 2 (8). – С. 2-7.
16. Никаноров Ю.И. Методические указания по изучению влияния любительского рыболовства на состояние рыбных запасов внутренних водоемов. – Л.: Изд-во ГосНИОРХ, 1979. – С. 3-19.
17. Барабанов В.В. Оценка влияния любительского рыболовства на водные биологические ресурсы и разработка мер по его регулированию в условиях Волго-Каспийского бассейна (Астраханская область): автореф. дис... канд. биол. наук. – Новосибирск, 2017. – 24 с.
18. Никаноров Ю.И., Турунина Н.В. Влияние маломерного флота и рыболовов-любителей на качество воды в водоемах // Рыб. хоз-во. – 1977. – № 9. – С. 42-44.
19. Кириллов А.Ф. Промысловые рыбы Якутии. – М.: Научный мир, 2002. – 194 с.
20. Кириллов А.Ф., Волжанинов В.П., Иванов Е.В. Влияние любительского рыболовства на численность промысловых видов в водоемах Якутии // Вопр. рыболовства. – 2009. – Т. 10. – № 4 (40). – С. 764-773.
21. Лазицкая Н.Ф. Общественно-географическое обоснование развития рекреационного водопользования в г. Севастополь: автореф. дис... канд. геогр. наук. – Симферополь, 2014. – 21 с.

22. Всемирный доклад Организации Объединенных Наций о состоянии водных ресурсов, 2019 г. Рабочее резюме. – UNEP, 2019. – 12 с. – [Электронный ресурс]. – URL: <https://gcedclearinghouse.org/sites/default/files/resources/190083rus.pdf>

23. Single-use Plastics: A Roadmap for Sustainability. – UNEP. – 2018. – [Электронный ресурс]. – URL: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/single-UsePlastic_sustainability.pdf?isAllowed=y&sequence=1.

Referens

1. Solovyeva T.A. Kupaniye kak prichina zagryazneniya vody // Gigiyena i sanitariya. – 1953. – № 3. – S. 55-58.

2. Litvinov N.N. Itogi i perspektivy gigiyenicheskogo izucheniya vodokhranilishch SSSR // Gigiyena vodokhranilishch. – M.: Nauka, 1961. – S. 8-9.

3. Drachev S.M., Butorin N.V., Bylinkina A.A. Faktory, opredelyayushchiye kachestvo vody v vodokhranilishchakh // Tr. In-ta biologii vnutrennikh vod. Vyp. 26 (29). – M.: AN SSSR, 1974. – S. 3-4.

4. Ryabyshev M.G. Okhrana vodnykh resursov Moskvy // Vod. resursy. – 1975. – № 5. – S. 15-32.

5. Cherkinsky S.N. Sanitarnye usloviya spuska stochnykh vod v vodoyemy. – M.: Stroyizdat, 1977. – 217 s.

6. Boychenko V.K. Gigiyenicheskiye voprosy kompleksnogo ispolzovaniya vodokhranilishch pityevogo naznacheniya (na primere Ivankovskogo vodokhranilishcha): avtoref. dis. ... kand. med. nauk. – M., 1977. – 21 s.

7. Avakyan A.B., Boychenko V.K., Lantsova I.V., Saltankin V.P., Yakovleva V.B. Rekreatsionnoye ispolzovaniye vodokhranilishch: problemy i resheniya. – M.: Nauka, 1990. – 152 s.

8. Lantsova I.V., Grigoryeva I.L., Tikhomirov O.A. Vodokhranilishcha kak obyekty rekreatsionnogo ispolzovaniya. – Tver: Izd-vo TGU, 2004. – 160 s.

9. Chizhova V.P. Rekreatsionnye landshafty: ustoychivost, normirovaniye, upravleniye. – Smolensk: Oykumena, 2011. – 176 s.

10. Turunina N.V., Nikanorov Yu.I. Otritsatelnoye vliyaniye lyubitelskogo rybolovstva i malomernogo flota na rybokhozyaystvennyye vodoyemy // Ryb. khoz-vo. – 1982. – № 3. – S. 37-39.

11. Vodny kodeks Rossyskoy Federatsii. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/

12. Prikaz MPR RF ot 12 dekabrya 2007 g. № 328 «Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazany po razrabotke normativov dopustimogo vozdeystviya na vodnye obyekty». – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_74470.

13. SanPiN 2.1.5.980-00. Gigiyenicheskiye trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod: Sanitarnye pravila i normy / Minzdrav Rossii. – Vved. 2001-01-01. – M., 2000. – 24 s.

14. GOST R 55698-2013. Turistskiye uslugi. Uslugi plyazhey. Obshchiye trebovaniya. – URL: <http://gostpdf.ru/cont/files/55698-2013/gost-55698-2013.11077.pdf>.

15. Lantsova I.V. Rekreatsionnoye vodopolzovaniye kak faktor formirovaniya kachestva vod // Voda: khimiya i ekologiya. – 2009. – № 2 (8). – S. 2-7.

16. Nikanorov Yu.I. Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu vliyaniya lyubitelskogo rybolovstva na sostoyaniye rybnykh zapasov vnutrennikh vodoyemov. – L.: Izd-vo GosNI-ORKh, 1979. – S. 3-19.

17. Barabanov V.V. Otsenka vliyaniya lyubitelskogo rybolovstva na vodnye biologicheskiye resursy i razrabotka mer po ego regulirovaniyu v usloviyakh Volgo-Kaspyskogo basseyna (Astrakhanskaya oblast): avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. – Novosibirsk, 2017. – 24 s.

18. Nikanorov Yu.I., Turunina N.V. Vliyaniye malomernogo flota i rybolovov-lyubiteley na kachestvo vody v vodoyemakh // Ryb. khoz-vo. – 1977. – № 9. – S. 42-44.
19. Kirillov A.F. Promyslovye ryby Yakutii. – M.: Nauchny mir, 2002. – 194 s.
20. Kirillov A.F., Volzhaninov V.P., Ivanov Ye.V. Vliyaniye lyubitelskogo rybolovstva na chislennost promyslovykh vidov v vodoyemakh Yakutii // Vopr. rybolovstva. – 2009. – T. 10. – № 4 (40). – S. 764-773.
21. Lazitskaya N.F. Obshchestvenno-geograficheskoye obosnovaniye razvitiya rekreatsionnogo vodopolzovaniya v g. Sevastopol: avtoref. dis... kand. geogr. nauk. – Simferopol, 2014. – 21 s.
22. Vsemirny doklad Organizatsii Obyedinennykh Natsy o sostoyanii vodnykh resursov, 2019 g. Rabocheye rezyume. – UNEP, 2019. – 12 s. – [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://gcedclearinghouse.org/sites/default/files/resources/190083rus.pdf>
23. Single-use Plastics: A Roadmap for Sustainability. – UNEP. – 2018. – URL: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/25496/singleUsePlastic_sustainability.pdf?isAllowed=y&sequence=1.

FEATURES OF RECREATIONAL EFFECTS ON AQUATIC NATURE COMPLEXES: METHODOICAL ASPECTS

V.V. Nepomnyashchiy, E.G. Makeeva

State Nature Reserve «Khakassky», Abakan, E-mail: n111viktor@yandex.ru, meg77@yandex.ru

Methodical approaches to issues of recreational water use are described. The consequences of organized and unorganized recreation, as well as the effect of a small fleet on water quality and the recreational value of aquatic nature complexes, are considered. The effects of amateur fishing and mass tourism on aquatic ecosystems are summarized.

Keywords: Recreation, recreational water use, tourism, water recreation, recreational load.

Received January 1, 2020

Раздел 2

ГЕОЛОГИЯ

Section 2

GEOLOGY

УДК 551.732.2 (571.151)

ВТОРОЙ ЭТАП КОЛОНИЗАЦИИ КОНТИНЕНТА ВЫСШИМИ РАСТЕНИЯМИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРНОГО АЛТАЯ

В.Н. Коржнев

Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукина, Бийск

E-mail: viktorkorzhnev@mail.ru

*Компоненты среднедевонской протоптеридиевой флоры появились в нижнем эмсе, на 18 млн лет раньше по сравнению с тем, как это считалось прежде. Намечается последовательность их появления: нижнеэмское время – *Protolepidodendron scharyanum* (Krejčí) Kr. et Weyl., *Gliptophyton granulare* Krisht., *Aphylopteris gracilis* S. Step. *Hostimella mabachensis* Kr. et Weyl.; верхнеэмское время – *Cephalopteris* (?) *praecox* Hoeg., *Aneurophyton germanicum* Kr. et Weyl., *Hostimella hostimensis* Pot. et Bern. Роды всех перечисленных растений А.Р. Ананьевым были ошибочно помещены в живецкий комплекс флоры.*

Ключевые слова: Горный Алтай, эмс, компоненты среднедевонской протоптеридиевой флоры.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15902

Дата поступления 16.11.2019

Проблема развития биосферы актуальна на протяжении длительного времени и в значительной степени решается палеонтологическими методами. Частный вопрос этого направления исследований – развитие растительного царства, которое шло в течение миллиардов лет и таит много загадок. Рассмотрим небольшой фрагмент, посвященный эмскому времени нижнего девона, в течение которого происходило формирование протоптеридиевой флоры. Вопрос этот тем более актуален, поскольку до сих пор не ясно, почему ее среднедевонские элементы появились в нижнем эмсе на территории Горного Алтая и других районов западной части Алтае-Саянской складчатой области.

Статья написана на основании личных наблюдений. Основной метод исследования – литолого-стратиграфическое изучение геологических разрезов, сопровождавшееся палеонтологически-

ми сборами ископаемых растений и фауны. Также использована опубликованная литература и фондовые материалы. В основу статьи положена схема эмских отложений Сарасинского грабена [1], где интерес представляет басаргинская свита с богатым комплексом нижнедевонских растений (басаргинский фитокомплекс).

Результаты исследования и их обсуждение

Проблема времени в геологии, по академику Б.С. Соколову, тесно связана с биологической эволюцией, занимая видное место в науках о Земле. Сценарий развития растительного царства на Земле до сих пор требует внимательного изучения. Д.К. Бенкс и Д.Б. Ричардсон для девона установили региональные и планетарные палинологические зоны. Зона *Psilophyton*: верхняя часть пражского яруса – эмс. Именно флору

этой зоны имеют ввиду, когда говорят о раннедевонской флоре, иногда называемой псилофитовой. В ее составе установлено около 30 родов, относящихся к протоптеридофитам, первым плауновидным (*Drepanophycus*, *Protolapidodendron*, *Barragwanathia*), в т.ч. лигульным (*Leclercqia*), баринофитовым (*Barinophyton*, *Protobarinophyton*). Протоптеридофиты представлены тримерофитами (*Psilophyton*, *Trimerophyton*, *Pertica*). К риниевым относятся *Cooksonia* и, может быть, некоторые *Taeniocrada*, а к зоостерофитовым – *Zosterophyllum*, *Gosslingia*, *Renalia*, *Rebuchia*, *Sawdonia* и *Crenaticaulis*. Местонахождения зоны известны в Сибири, Казахстане, Донбассе, Западной Европе, Северной Америке, КНР, Австралии [2].

Все или почти все известные раннедевонские растения или были однолетними, или имели однолетние воздушные побеги. Поэтому их распространение могло не зависеть от климатической зональности, к тому же не очень резкой.

Первый этап колонизация суши высшими растениями начался в позднем силуре на Гондване. На Сибирском континенте высшие растения появились только в раннедевонское время, о чем свидетельствует находка уксунайского местонахождения растительности в томь-чумышских слоях Салаира, содержащих *Pachytheca* sp., *Cooksonia petroni* Lang., *Ucsunajphyton ananiev* S. Step., *Juliphyton glazkini* S. Step. [3]. Позднее в нижнедевонских отложениях этого уровня в Горном Алтае в левобережье р. Камышенка на южных склонах г. Колпак собраны и определены растения *Cooksonia caledonica* [4]. В конце позднего силура на Гондване появляются псилофиты, которые расселяются по прибрежным частям всех континентов и достигают расцвета в нижнем девоне. Второй этап колонизации суши высшими растениями связан со сменой псилофитовой флоры протоптеридиевой.

Под протоптеридивой (гиениевой) флорой вместе с А.Р. Ананьевым [5] подразумеваем растения, которые согласно Р. Крейзелю [6] отличаются от

псилофитов появлением мелко- и крупнолистных видов растений, а также простые древнейшие формы членисто-стебельных, таких как *Hyenia* и *Calamiphyton*, объединяемыми под названиями *Protoarticulata*. Название протоптеридиевый тип флоры происходит от папоротникоподобных растений, объединенных порядком *Protopteridiales*, появившихся в нижнем девоне и широко распространенных в среднем, верхнем девоне и карбоне, которые имели наименьшее сходство с папоротниками, а род *Protopteridium* сохранял еще отчетливые черты псилофитов. Ни у одного растения данного порядка не развивалась настоящая листовая пластинка, а у представителей семейства *Protopteridiales* конечные перышкообразные элементы побега лишь имитировали своим обликом настоящие листья и, в отличие от них, не имели проводящей системы [7]. К протоптеридиевому типу флоры принадлежат характерные для среднего девона: мелколистное растение, напоминающее плауновые – *Protolapidodendron scharyanum*; близкие к плауновидным растениям *Barrandeina* и *Duisbergia*; а также растения *Pseudosporochnus* Kreici, *Blasaria sibirica*, *Cephalopteris* (?) *praecox*, *Svalbardia polymorpha*, *Gliptophyton granulare*, *Broqgeria laxa* Ananiev, *Tomiphyton premaeverm* Zal. и др. [8-9]. Появление компонентов среднедевонской флоры протоптеридиевого типа фиксировались в разрезах нижнего девона западной части Алтае-Саянской области [3, 5, 10] в частности в Горном Алтае в басаргинском фитокомплексе.

В последние годы биостратиграфическая шкала девона Горного Алтая, Рудного Алтая и Салаира надежно увязана с Международной стратиграфической шкалой [11], что позволило уточнить возраст басаргинского фитокомплекса и определить время появления компонентов среднедевонской флоры протоптеридиевого типа в интервале от верхней части конодонтовой зоны *kibiculus* и конодонтовой зоны *excavatus* [12-14].

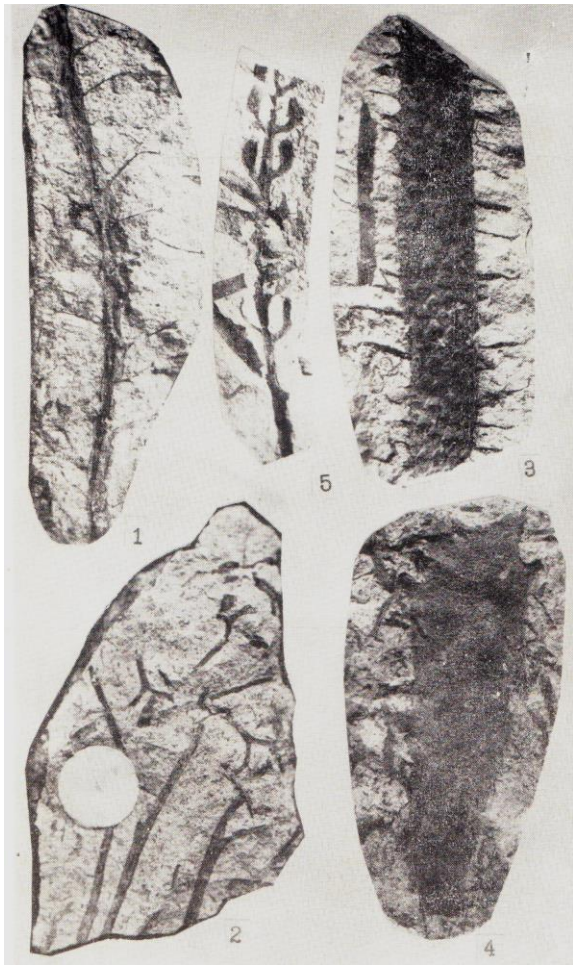


Рис. 1. Отпечатки девонских растений из басаргинского местонахождения (коллекция Томского университета) [15]:

1 – *Protolepidodendron scharianum* (Krejci) Potonie et Bernard. Тонкая ось с типичными для данного вида филлоидами, дихотомизирующими на кончиках, х 3, № 6750-13;

2 – *Psilophyton princeps* (Dawson) Hueber. Дихотомизирующие тонкие гладкие оси, заканчиваются мелкими слегка поникающими парными спорангиями, х 1,7, № У-6530-2;

3 – *Drepanophycus gaspianus* (Dawson) Krauzel et Weyland. Отпечаток стеблей хорошо сохранили на поверхности основания листьев, х 2, № У-6750-29;

4 – *Minusia antiqua* Tschirkowa. Ремневидная ось с грубыми зубцами по краям, х 1,2, № А-73-3;

5 – *Zosterophyllum dispersum* sp. nov. Голотин. Базальная часть рыхлого спорангиеносного колоска с двусторонним двурядным расположением спорангиев, х 1,5, № Н-2973-15.

По стратиграфическому положению, по фауне брахиопод, табулят и ругоз басаргинский фитокомплекс занимает интервал верхней части салаиркинского – беловского горизонтов Салаира. Отло-

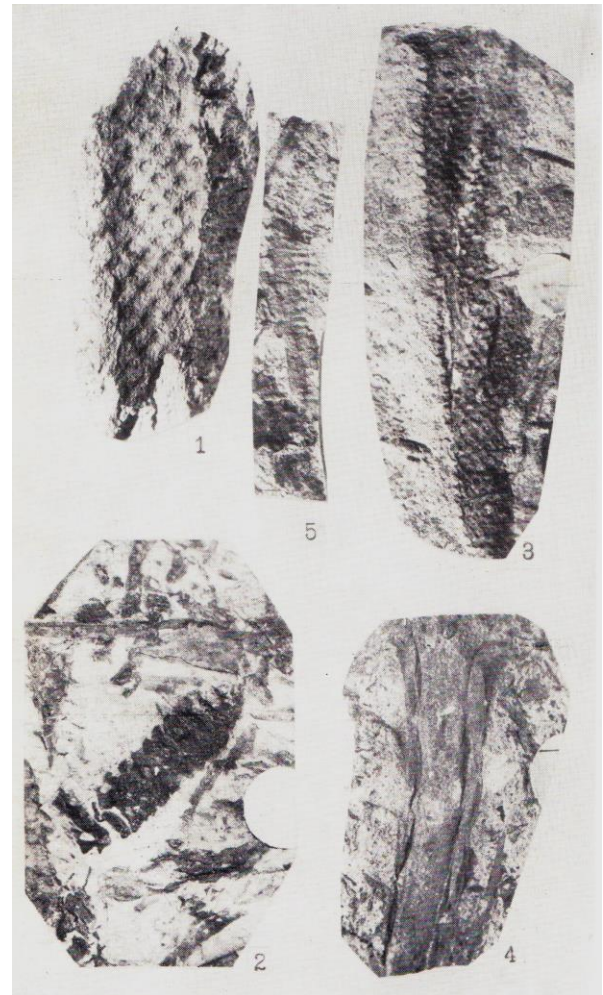


Рис. 2. Отпечатки девонских растений из басаргинского местонахождения (коллекция Томского университета) [15]:

1, 3 – *Drepanophycus gaspianus* (Dn.) Kr. et W. Отпечатки осей с характерной скульптурой поверхности (1 – х 1,8, № А-7.3-5; 3 – х 1,2, № 6750-34);

2 – *Protobarinophyton obrutschevi* Ananiev. Обугленный спорангиеносный колосок, видимый с вентральной стороны, х 1,4, № У-6750-21;

4 – *Jenisseiphyton rudnevae* (Peresvetov) Ananiev. Ось с отчетливо обособляющимися центральной и периферическими частями, х 2, № У-6750-38;

5 – *Gliptophyton granulare* Krysht. Отпечаток гофрированной оси, х 2,5, № У-6750-19.

жения этого возрастного интервала известны во многих районах Горного Алтая и представлены осадочными и вулканогенно-осадочными свитами.

Коллекция ископаемых растений из стратотипа басаргинской свиты, хранящаяся в палеонтологическом музее Томского государственного университета

(рис. 1-4), изучена Т.В. Захаровой [15]. Анализ басаргинского фитокомплекса показывает, что в нем наряду с типичными девонскими космополитами *Psilophyton arcunatus* Halle, *P. Goldschmidtii* Halle, *Psilofitites rectissimus* Hoeg, *Zosterophyllum* cf. *myretonianum* Penhallow, *Sciadophyton laxa* Dawson, *Rebuchia mucronata* (Mägdefrau) и эндемичными сибирскими *Protobarinophyton obrutschevi* Ananiev (рис. 2.2), *Jenisseiphyton rudnevae* (Peresvetov) Ananiev (рис. 2.4), *Matarakia inopinata* Tschirkova, *Minusia antiqua* Tschirkova, которые до сих пор не были встречены выше нижнего девона, присутствуют: *Drepanophycus gaspianus* Dawson et Weland (рис. 1.3, 2.1, 2.3), жившие в нижнем и среднем девоне; остатки *Protolpidodendron scharyanum* (Krejčí) Kr. et W. (рис. 1.1) – архипопулярного среднедевонского вида и *Gliptophyton granulare* Krisht. (рис. 2.5), известного только из среднего (точнее из живетского яруса) девона.

Далеко неполный список ископаемых растений эмского века на территории Горного Алтая составлен с учетом работ [1, 5, 7, 13]. По мере дальнейшего изучения девонских разрезов он может быть расширен.

1. Компоненты среднедевонской протоптеридиевой флоры насчитывают 8 видов, принадлежащим шести родам: *Protolpidodendron scharyanum* (Krejčí) Kr. et Weyl. (басаргинская, калгутинская, курумтешская свиты); *Gliptophyton granulare* Krisht. (басаргинская, каракудюрская, нырнинская, онгудайская свиты); *Cephalopteris* (?) *praesox* Hoeg (онгудайская свита), *Aneurophyton germanicum* Kr. et Weyl., (нырнинская свита), *Hostimella hostimensis* Pot. et Bern. (курумтешская, кумирская свиты), *Hostimella tabachensis* Kr. et Weyl. (каракудюрская свита), *Hostimella* sp. (онгудайская, рудниковская, нырнинская свиты), *Aphylopteris* sp. (рудниковская, нырнинская свиты), *A. gracilis* S. Step. (кубойская свита).

2. Растения, жившие в эмсе-живете: *Drepanophycus gaspianus* Dawson et We-

land., *D. spinaeformis* Goeppert., *D.(?) orepini* Stockm., *D. chachlovii* Ananiev., *Drepanophycus* sp., *Psilophyton salairicum* Ananiev et Step., *Margophyton goldschmidtii* (Halle) Zakharova, *Taenioocrada* cf. *decheniana* (Goepp.) Kr. et Weyl.

3. Растения верхнего уровня нижнедевонской псилофитовой флоры: *Psilophyton arcunatus* Halle, *P. goldschmidtii* Halle, *P. princeps* (Dawson) Huber, *P. burnotense* (Gilk) Kr. et Weyl., *P. aro-uatus* (Halle), *P. salairicum* Anan. et S. Step., *Psilofitites rectissimus* Hoeg., *Zosterophyllum* cf. *myretonianum* Penhallow, *Z. dispersum* sp. nov., *Z. artesianum* Danze-Coregein, *Sciadophyton laxa* Dawson, *Pseudouralia sibirica* Petros., *Asteroxylon elberfeldense* Kr. et Weyl., *Haplostigma irregularis* (Schwarz) Sew., *Pseudouralia sibirica* Petros., *Cooksonia* sp., *Dichophyton* sp., *Psygmophyllum* sp., *Aneurophyton* sp., *Rhabdophyton* sp., *Pachythemum* sp., *Taeniocrada decheniana* (Goepp.) Kr. et Weyl., *Matarakia inopinata* Tschirkova, *Barrandeinopsis beljakovi* Krysht., *Rebuchia mucronata* (Mägdefrau), *R. ovata* (Dort) Hueber, *Chakassiophyton krasnovii* Ananiev, *Caudophyton aquatilis* S. Step., *Uralia camdjalensis* Petros., *Pseudouralia sibirica* Petros., *Lepidodendropsis* sp., *Prototaxites* sp., *Thursophyton* sp.

4. Эндемичные сибирские виды псилофитовой флоры: *Protobarinophyton obrutschevi* Ananiev, *Jenisseiphyton rudnevae* (Peresvetov) Ananiev, *Matarakia inopinata* Tschirkova, *Minusia antiqua* Tschirkova, которые до сих пор не были встречены выше нижнего девона.

5. Нижнедевонские растения неопределенного систематического положения: *Protopteridium* sp., *Rellimia* (*Protolpidodendron*) *tschumischense* (Ananiev. et S. Step.), *Blasaria minor* Petros., *Pseudosporochnus chlupaci* Obr., *Jenisseiphyton* cf. *lebedevi* Anan., *Taeniocrada asiatica* Petros., *Enigmophyton* cf. *superbum* Hoeg., *Saxonia kaluginii* Ananiev.



Рис. 3. Отпечатки девонских растений из басаргинского местонахождения (коллекция Томского университета) [15]

1 – *Margophyton goldschmidtii* (Halle) Zakharova. Латерально разветвленный побег, несущий следы от тонких шиш, x 1,2, № V-6530-4;
2 – *Serrulacaulis* sp. Отпечаток зубчатой оси, x 2, № V-6750-41;

3 – *Rebuchia ovata* (Dorf) Hueber. Отпечатки группы спорангиеносных колосков в различных проекциях (а и б – вид с вентральной стороны, с – вид сбоку), x 2,3, № V-6750-13;

4 – *Drepanophycus gaspianus* (Dn.) Kz. et W. Слепок поверхности стебля с выпуклыми листовыми основаниями, x 2,5, № A-73-5;

5 – *Protobarinophyton obrutschevi* Ananiev. Вид спорангиеносного колоска сбоку, x 3, № V-6750-23.

Видовое разнообразие родов протоптеридиенных, псилофитовых и других растений в порядке убывания; *Psilophyton* (8 видов), *Drepanophycus* (5 видов), *Zosterophyllum* (3 вида).

Выводы

1. Компоненты среднедевонской протоптеридиевой флоры появились на



Рис. 4. Отпечатки девонских растений из басаргинского местонахождения (коллекция Томского университета) [15]

1 – *Matharakia inopinata* Tschirkowa. Отпечаток оси, на которой хорошо сохранилась скульптура, № A-73-7;

2 – *Barrandeinopsis beljakovii* Kryshtof. Отпечатки крупных почти параллельно ориентированных осей с грубой продольной морщинистостью, x 1,2, № V-6750-5;

3-6 – *Zosterophyllum dispersum* sp. nov. Фрагменты рыхлых спорангиеносных колосков (3 – x 3, 4 – x 3, № H-2973-21; 5 – x 3,5, № V-6750-6; 6 – x 1,6, № H-2973-15a).

18 млн. лет раньше по сравнению с тем, как это считалось раньше [5]. Они насчитывают 8 видов, принадлежащих шести родам: *Protolepidodendron scharyanum* (Krejčí) Kr. et Weyl. *Gliptophyton granulare* Krisht., *Cephalopteris* (?) *praecox* Hoeg., *Aneurophyton germanicum* Kr. et Weyl., *Hostimella hostimensis* Pot. et Bern., *Hostimella mabachensis* Kr.

et Weyl., *Hostimella* sp., *Aphylopteris* sp., *A. gracilis* S. Step.

2. Намечается последовательность появления компонентов среднедевонской протоптеридиевой флоры по региональной биостратиграфической шкале: салаиркинское время – *Protolepidodendron scharyanum* (Krejčí) Kr. et Weyl., *Gliptophyton granulare* Krisht., *Aphylopteris gracilis* S. Step., *Hostimella mnbachensis* Kr. et Weyl., шандинское время – *Cephalopteris* (?) *praecox* Ноег., *Aneurophyton germanicum* Kr. et Weyl., *Hostimella hostimensis* Pot. et Bern. По мере дальнейшего изучения эта схема может уточняться. Рода всех перечисленных растений А.Р. Ананьевым [5]

помещены в живетский комплекс флоры.

3. Предполагается, что наиболее благоприятные условия для появления среднедевонских компонентов протоптеридиевой флоры были районы западной части Алтае-Саянской области и в частности территория Горного Алтая [14]. Их появление можно связать с крупными разломами на границе Сибирского континента и Палеоазиатского океана. Эти разломы контролировали области проявления вулканизма островодужного и окраинно-континентального рифтогенного типов, они обусловили поступление газово-жидких химических соединений, вызывающих мутацию растений [1].

Список литературы

1. Коржнев В.Н. Эмс – время появления компонентов среднедевонской протоптеридиевой флоры на Сибирском континенте // Изв. АКО РГО. – 2017. – № 4 (46). – С. 14-44.
2. Мейен С.В. Основы палеоботаники: справ. – М.: Изд-во «Недра», 1987. – 403 с.
3. Степанов С.А. Фитостратиграфия опорных разрезов девона окраин Кузбасса // Тр. СНИИГГиМС. Вып. 211. – Новосибирск, 1975. – 149 с.
4. Гутак Я.М., Антонова В.А. Толоконникова З.А. Алтае-Саянская складчатая область – колонизация суши, первый этап // Эволюция жизни на Земле: матер. IV Междунар. симп., 10-12 ноября – 2010 г. – Томск: ТМБЛ-Пресс, 2010. – С. 463-465.
5. Ананьев А.Р. Важнейшие местонахождения девонских флор Саяно-Алтайской горной области. – Томск: Изд-во ТГУ, 1959. – 91 с.
6. Krausel R. Versunkene Floren. Eine Einführung Paläobotanik. – Frankfurt am Main, 1950. – P. 34.
7. Ананьев А.Р., Радченко Г.П. Порядок Protopteridiales. Протоптеридиевые. Основы палеонтологии. Водоросли, мохообразные, псилофитовые, плауновидные членистостебельные, Папоротники. – М.: АН СССР, 1963. – С. 543-550.
8. Сенкевич М.А. Описание флоры девона Казахстана. // Материалы по геологии и полезным ископаемым Казахстана. – М.: Госгеолтехиздат, 1961. С.98-120.
9. Ананьев А.Р., Коржнев В.Н. Басаргинская свита в Горном Алтае и ее аналоги в пределах Сибирского континента OLD RED SANDSTONE // Материалы по геологии Сибири. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1983. – С. 16-29.
10. Лепехина В.Г., Петросян Н.М., Радченко Г.П. Важнейшие девонские растения Алтае-Саянской горной области // Тр. ВСЕГЕИ. Нов. сер. Т. 70. – Л.: ВСЕГЕИ, 1962. – С. 153-160.
11. Елкин Е.А., Бахарев Н.К., Изох Н.Г. и др. Девонские отложения Салаира, Рудного и Горного Алтая // Путеводитель полевой экскурсии Междунар. конф. «Девонские наземные и морские обстановки от континента к шельфу». – Новосибирск: ИГИГ ОИГГМ СМО РАН, 2005. – 82 с.
12. Коржнев В.Н. Басаргинский фитокомплекс нижнего девона Горного Алтая // Эволюция жизни на Земле: матер. IV Междунар. симп., 10-12 ноября 2010 г. – Томск: ТМЛ Пресс, 2010. – С. 474-477.

13. Коржнев В.Н. О смене псилофитовой флоры пропапоротниковой в эмсе в Горном Алтае // Вест. Томского государственного ун-та. – 2011. – № 353. – С. 205-211.
14. Коржнев В.Н. Палеогеография появления компонентов флоры протоптеридиевого типа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – Т. 22. – № 5. – С. 22-35.
15. Краснов В.И., Ратанов Л.С., Асташкина В.Ф., Миронова Н.В. Некоторые проблемы теории и практики региональной стратиграфии на примере изучения девонских образований Алтае-Саянской области // Тр. СНИИГГиМС. Вып. 216. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1975. – С. 25-44.
16. Захарова Т.В. Стратиграфия и флора девонских отложений Басаргинского грабена (Горный Алтай) // Материалы по геологии Сибири. – Томск, ТГУ, 1983. – С. 98-109.

References

1. Korzhnev V.N. Emsian – the time of appearance of the Protopteridae flora elements mudle Devonianon the Siberian continent // Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society. – 2017. – 46 (4). – P. 14-44.
2. Meyen S.V. Osnovy paleobotaniki: sprav. – M.: Izd-vo «Nedra», 1987. – 403 s.
3. Stepanov S.A. Fitostratigrafiya opornykh razrezov devona okrain Kuzbassa // Tr. SNIIGGiMS. Vyp. 211. – Novosibirsk, 1975. – 149 s.
4. Gutak Ya.M., Antonova V.A. Tolokonnikova Z.A. Altaye-Sayanskaya skladchataya obdlast – kolonizatsiya sushi, pervy etap // Evolyutsiya zhizni na Zemle: mater. IV Mezhdunar. simp., 10-12 noyabrya – 2010 g. – Tomsk: TMBL-Press, 2010. – S. 463-465.
5. Ananyev A.R. Vazhneyshiye mestonakhozhdeniya devonskikh flor Sayano-Altayskoy gornoy oblasti. – Tomsk: Izd-vo TGU, 1959. – 91 s.
6. Krausel R. Versunkene Floren. Eine Finführung Paläobotanik. – Frankfurt am Main, 1950. – R. 34.
7. Ananyev A.R., Radchenko G.P. Poryadok Protopteridiales. Protopteridiyevye. Osnovy paleontologii. Vodorosli, mokhoobraznye, psilofitovye, plaunovidnye chlenistostebelnye, Paporotniki. – M.: AN SSSR, 1963. – S. 543-550.
8. Senkevich M.A. Opisaniye flory devona Kazakhstana. // Materialy po geologii i poleznym iskopayemym Kazakhstana. – M.: Gosgeoltekhizdat, 1961. S.98-120.
9. Ananyev A.R., Korzhnev V.N. Basarginskaya svita v Gornom Altaye i eye analogi v predelakh Sibirskogo kontinenta OLD RED SANDSTONE // Materialy po geologii Sibiri. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 1983. – S. 16-29.
10. Lepekhina V.G., Petrosyan N.M., Radchenko G.P. Vazhneyshiye devonskiye ras-teniya Altaye-Sayanskoy gornoy oblasti // Tr. VSEGEI. Nov. ser. T. 70. – L.: VSEGEI, 1962. – S. 153-160.
11. Yelkin Ye.A., Bakharev N.K., Izokh N.G. i dr. Devonskiye otlozheniya Salaira, Rudnogo i Gornogo Altaya // Putevoditel polevoy ekskursii Mezhdunar. konf. «Devonskiye nazemnye i morskiye obstanovki ot kontinenta k shelfu». – Novosibirsk: IGIG OIGGM SMO RAN, 2005. – 82 s.
12. Korzhnev V.N. Basarginsky fitokompleks nizhnego devona Gornogo Altaya // Evolyutsiya zhizni na Zemle: mater. IV Mezhdunar. simp., 10-12 noyabrya 2010 g. – Tomsk: TML Press, 2010. – S. 474-477.
13. Korzhnev V.N. O smene psilofitovoy flory propaporotnikovoy v emse v Gornom Altaye // Vest. Tomskogo gosudarstvennogo un-ta. – 2011. – № 353. – S. 205-211.
14. Korzhnev V.N. The Appearance of the Elements of the Protopteridis Floras: Paleogeographic Constraints // MAIK Nauka/Interperiodica: Stratigraphy and Geological Correlation. – 2014. – Vol. 22. – № 5. – P. 465-478.

15. Krasnov V.I., Ratanov L.S., Astashkina V.F., Mironova N.V. Nekotorye problemy teorii i praktiki regionalnoy stratigrafii na primere izucheniya devonskikh obrazovany Altaye-Sayanskoy oblasti // Tr. SNIIGGiMS. Vyp. 216. – Novosibirsk: SNIIGGiMS, 1975. – S. 25-44.

16. Zakharova T.V. Stratigrafiya i flora devonskikh otlozheny Basarginskogo grabena (Gorny Altay) // Materialy po geologii Sibiri. – Tomsk, TGU, 1983. – S. 98-109.

THE SECOND STAGE OF COLONIZATION CONTINENT HIGHER PLANTS ON THE TERRITORY OF GORNY ALTAI

V.N. Korzhnev

The Shukshin Altai State Humane-Pedagogical University, Biisk, E-mail: viktorkorzhnev@mail.ru

*Components protopteridae middle Devonian flora appeared in the lower EMS, 18 million years earlier than the previously thought. The sequence of their appearance is planned: lower EMS time – *Protolepidodendron scharyanum* (Krejčí) Kr. et Weyl., *Gliptophyton granulare* Krisht., *Aphylopteris gracilis* S. Step., *Hostimella mabachensis* Kr. et Weyl.; upper EMS time – *Cephalopteris* (?) *praecox* Hoeg., *Aneurophyton germanicum* Kr. et Weyl., *Hostimella hostimensis* Pot. et Bern. The genera of all the listed plants by A.R. Ananyev were mistakenly placed in the zhivet complex of flora.*

Key words: Mountain Altai, EMC components protopteridae middle Devonian flora.

Received November 16, 2019

УДК 532.595.2

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОХОЖДЕНИЯ ВОЛНЫ ПАВОДКА НА УЧАСТКЕ ВЕРХНЕЙ И СРЕДНЕЙ ОБИ

А.А. Атавин, Т.Э. Овчинникова, В.Ю. Пасечкина

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул

E-mail: atavin@iwep.nsc.ru, teohome@academ.org, pase4kina21@yandex.ru

Рассматривается пример численного моделирования прохождения волны паводка на участке верхней и средней Оби ниже плотины Новосибирской ГЭС. Расчеты выполнены с использованием численной модели распространения волн половодий и паводков в системе русел STREAM, разработанной в ИВЭП СО РАН. Протяженность участка составляет 1210 км. Учитываются расходы нескольких притоков. Модель демонстрирует устойчивую работу в условиях крупного открытого речного русла. С использованием модельной области для разветвленного русла выполнена оценка погрешности разностного метода, используемого в модели, по правилу Рунге.

Ключевые слова: система русел, паводок, распространение волны, оценка погрешности метода.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15903

Дата поступления 14.11.2020

1. Уравнения модели

Для моделирования распространения волн паводков в системе открытых русел разработана численная модель STREAM, позволяющая описывать течения в системе русел [1-2]. Система русел представляется в виде ориентированного графа типа «дерево» [3, 5], т. е. множество вершин, соединенных между собой отрезками, длины которых равны длинам соответствующих участков русла, и для которых указана начальная и конечная вершины (левый и правый конец).

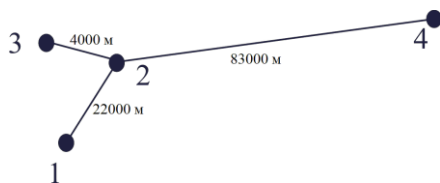


Рис. 1. Схема простого разветвленного русла

В данной модели рассматриваются графы, в которых из каждой вершины (кроме конечной) будет выходить ровно один отрезок, а входить может несколько. Простейший пример такого графа представлен на рисунке 1. Метод нумерации вершин и участков русла подробно описан в [1].

Участки русла описываются одномерными уравнениями Сен-Венана. Пусть x – расстояние вдоль оси русла (по тальвегу); t – время; $z(x, t)$ – ордината свободной поверхности воды в абсолютной системе отсчета (например, в Балтийской); $z_b(x)$ – отметка дна в этой же системе; $h(x, t) = z(x, t) - z_b(x)$ – глубина потока; $b(x, \xi)$ – ширина русла на расстоянии ξ от дна; $B = b(x, z)$ – ширина русла на свободной поверхности в сечении x ; $Q(x, t)$ – расход воды через

поперечное сечение русла. В этих обозначениях уравнения имеют вид [6–8]:

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_*, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} + g\omega \frac{\partial z}{\partial x} = q_* v_* - g\omega \frac{Q|Q|}{K^2}. \quad (2)$$

Здесь $\omega(x, z) = \int_0^h b(x, \xi) d\xi$ – площадь по-

перечного сечения; $v = Q/\omega$ – средняя скорость течения; $q_*(x, t, h)$ – расход путевого притока на единицу длины русла; v_* – проекция скорости путевого притока на ось OX (обычно считают $v_* = 0$); $K = C\omega R^{1/2}$ – модуль расхода; C – коэффициент Шези (в настоящей работе используется формула Маннинга $C = R^{1/6}/\kappa$, κ – коэффициент шероховатости); R – гидравлический радиус (отношение $\omega(x, z)$ к смоченному периметру $\chi(x, z)$) [8].

Для получения замкнутой системы на разветвленном русле добавляются условия сопряжения участков в вершинах графа. Может существовать несколько начальных вершин, в которые не входит ни один отрезок («висячие вершины»). В конечную вершину отрезки только входят. Для p -ой вершины будем обозначать через γ_+^p множество номеров отрезков, входящих в эту вершину, а через γ^p множество номеров всех примыкающих к ней отрезков.

При описании условий на концах отрезков будем использовать следующие обозначения: m – номер отрезка (нижний индекс); p – номер вершины (верхний индекс); Q_m^p, z_m^p – расход и уровень на конце m -го отрезка, примыкающего к p -ой вершине; $Q^p(t), z^p(t)$ – расход сосредоточенного притока в вершину p и уровень в этой вершине. В вершинах ставятся следующие условия сопряжения.

Баланс расходов:

$$\sum_{m \in \gamma^p} \eta_m^p Q_m^p + Q^p = \Omega^p \frac{dz^p}{dt}, \quad (3)$$

где $\eta_m^p = -1$ для левого конца отрезка и $\eta_m^p = 1$ для правого конца отрезка; $\Omega^p(z^p)$ – площадь сосредоточенной емкости в p -ой вершине (при отсутствии емкости $= 0$).

Связь между параметрами в вершине:

$$g^p(z^p, Q^p, t) = 0. \quad (4)$$

Например, $Q^p = 0$ – приток отсутствует; $Q^p = Q(t)$ – приток есть функция времени; $Q^p = -Q(z^p)$ – отток из вершины.

Условия примыкания:

$$f^p(z_m^p, Q_m^p, t) = 0, \quad m \in \gamma^p. \quad (5)$$

Одним из часто используемых вариантов условия является *простой подход к вершине*:

$$z_m^p = z^p. \quad (6)$$

В качестве начальных условий должны быть заданы

$$z_m(x, t_0), Q_m(x, t_0), \forall m; z^p(t_0), \forall p. \quad (7)$$

Система уравнений (1)–(2) приводится к характеристической форме, которая в векторной записи имеет вид [1, 9]:

$$\bar{S} \frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{\Lambda} \bar{S} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} = \bar{F}, \quad (8)$$

где

$$\bar{u} = \begin{bmatrix} z \\ Q \end{bmatrix}, \quad \bar{S} = \begin{bmatrix} -B \cdot (v - c) & 1 \\ -B \cdot (v + c) & 1 \end{bmatrix},$$

$$\bar{\Lambda} = \begin{bmatrix} v + c & 0 \\ 0 & v - c \end{bmatrix}, \quad c = \sqrt{\frac{g\omega}{B}}$$

$$\bar{F} = \begin{bmatrix} v^2 \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=\text{const}} - B \frac{dz_b}{dx} - g\omega \frac{Q|Q|}{K^2} + q_* \cdot (v_* - v + c) \\ v^2 \left(\frac{\partial \omega}{\partial x} \right)_{h=\text{const}} - B \frac{dz_b}{dx} - g\omega \frac{Q|Q|}{K^2} + q_* \cdot (v_* - v - c) \end{bmatrix} \equiv \begin{bmatrix} F_1(u) \\ F_2(u) \end{bmatrix}.$$

Уравнения (7) вместе с условиями сопряжения (3)–(5) образуют замкнутую систему, которая после дискретизации дает систему линейных алгебраических уравнений. Дискретизация задачи реализуется следующим образом [1]. Шаг

по времени τ_k задается одинаковым для всех отрезков, но может меняться в продолжение расчета; k – номер шага. Для m -го отрезка задается количество шагов по x N_m и строится равномерная сетка узлов с шагом $hx_m = L_m/N_m$. Рассматриваются сеточные вектор-функции на отрезке

$$\bar{\Phi}_{mn}^k = \bar{\Phi}(t^k, x_n), \quad t^k = t_0 + \sum_{j=1}^k \tau_j, \quad x_n = n \cdot hx_m,$$

$$\bar{\Phi} = \bar{u}, \bar{F}, \bar{S}, \bar{\Lambda}, \quad n = 0, 1, \dots, N_m$$

Далее строится система разностных уравнений. Во внутренних точках отрезков она выглядит следующим образом:

$$\bar{S}_{mn}^k \cdot \frac{\bar{u}_{mn}^{k+1} - \bar{u}_{mn}^k}{\tau_k} + (\bar{\Lambda} \bar{S})_{mn}^k \cdot \frac{\bar{u}_{mn+1}^{k+1} - \bar{u}_{mn-1}^{k+1}}{2hx_m} =$$

$$= \bar{F}_{mn}^k + \frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{u}} \cdot (\bar{u}_{mn}^{k+1} - \bar{u}_{mn}^k)$$

$$m = 1, \dots, M, \quad n = 1, \dots, N_m - 1.$$

Выражение (9) можно привести к виду:

$$\bar{A}_{mn} \cdot (\bar{u}_{mn+1}^{k+1} - \bar{u}_{mn-1}^{k+1}) + \bar{C}_{mn} \cdot \bar{u}_{mn}^{k+1} = \bar{D}_{mn}, \quad (10)$$

где

$$\bar{A}_{mn} = \frac{\tau_k}{2hx_m} (\bar{\Lambda} \bar{S})_{mn}^k;$$

$$\bar{C}_{mn} = \bar{S}_{mn}^k - \tau_k \left(\frac{\partial \bar{F}}{\partial \bar{u}} \right)_{mn}^k;$$

$$\bar{D}_{mn} = \tau_k \bar{F}_{mn}^k + \bar{C}_{mn} \bar{u}_{mn}^k,$$

Для получения сквозной схемы расчета по всем участкам в вершинах линеаризуются условия сопряжения и включаются в численный алгоритм [1]. При решении системы используется неявный метод Института гидродинамики (метод прогонки для трехдиагональных матриц) [5].

2. Численная оценка скорости сходимости и погрешности метода

Схема (8) при отсутствии конвективного члена имеет второй порядок точности по пространственной переменной, но наличие линеаризованной функции F , как правило, понижает по-

рядок. Также на порядке сходимости может сказаться реализация условий сопряжения в вершинах графа. В этом случае можно получить приближенную численную оценку локального порядка точности, используя формулу Рунге [10-12]. Для этого используются решения задачи на последовательности вложенных сеток с достаточно малыми шагами $hx_1 = h$, $hx_2 = h/2$, $hx_3 = h/4$. В нашей задаче оценка выполнялась для функции $Q(x, t)$, поскольку она определяется из уравнения (2), содержащего конвективный член. Выберем момент времени T , на который будет определяться порядок сходимости. Обозначим через Q_{hx_i} решение, полученное на момент T на сетке с шагом hx_i . Тогда согласно формуле Рунге порядок сходимости определяется соотношением

$$r(T, Q, x) = \log_2 \left(\frac{|\delta Q_1(T, x)|}{|\delta Q_2(T, x)|} \right), \quad (11)$$

$$\delta Q_i = Q_{hx_i} - Q_{hx_{i+1}}$$

Задача (1)–(2) была просчитана в модельной области с простой схемой, приведенный на рисунке 1. Геометрические и гидрологические параметры расчетной области на участках 1 и 2 основаны на данных по участку р. Обь от плотины Новосибирской ГЭС до с. Дубровино [13]. Приток (участок 3) моделировался в виде канала с постоянной прямоугольной геометрией сечения. В качестве краевых условий в вершинах 1, 3 задавался постоянный расход $Q_1(t) = 2370 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_3(t) \cong 0.5Q_1(t)$. В вершине 4 задавалась кривая связи $Q(z)$ [13]. Условия расчета были следующие:

$$\tau = 1 \text{ ч}; \quad h = 0.5 \text{ км}; \quad T = 72 \text{ ч}. \quad (12).$$

Расчеты показали, что на большей части модельной области локальный порядок сходимости близок к 2 (рис. 2). Исключение составляет участок вблизи вершины 1, где наблюдаются колебания значения, которое остается, однако, больше 1.7. Это связано с влиянием реализации краевого условия в начальных

вершинах. На основе полученного результата можно получить зависимость величины погрешности от шага сетки, используя правило Рунге [9-10]. Погрешность определяется выражением

$$Err = \max_j \frac{|Q_{hx_i}(x_j) - Q_{hx_{i+1}}(x_j)|}{2^p - 1}, \quad (13)$$

где p – порядок аппроксимации. Принимая $p = 2$, получаем зависимость ошибки от шага сетки (рис. 3).

Как видно из графика, погрешность быстро убывает с уменьшением пространственного шага, причем скорость убывания постепенно уменьшается по мере приближения к точному решению.

3. Использование модели в условиях реального русла. Результаты численных экспериментов

В качестве расчетной области использовался участок верхней и средней Оби (протяженностью 1210 км) от пло-

тины Новосибирской ГЭС (створ НБ) до створа в с. Александровское (концевая вершина графа, рис. 4). Модель русла включает 13 створов (табл. 1), в т.ч. точки впадения шести наиболее крупных притоков. Таким образом, граф состоит из 12 отрезков. Притоки рассматривались как сосредоточенные источники с заданными расходами ввиду отсутствия подробной информации.

Использовались следующие условия сопряжения. Для всех вершин – баланс расходов (4). Для вершины 1 задан расход $Q^p = Q(t)$ (поскольку вершина является начальной, достаточно одного условия). Для вершин с притоками заданы условия $Q^p = Q(t)$ и условие простого подхода (6); таким образом, расход притока реализуется через баланс расходов в узле.

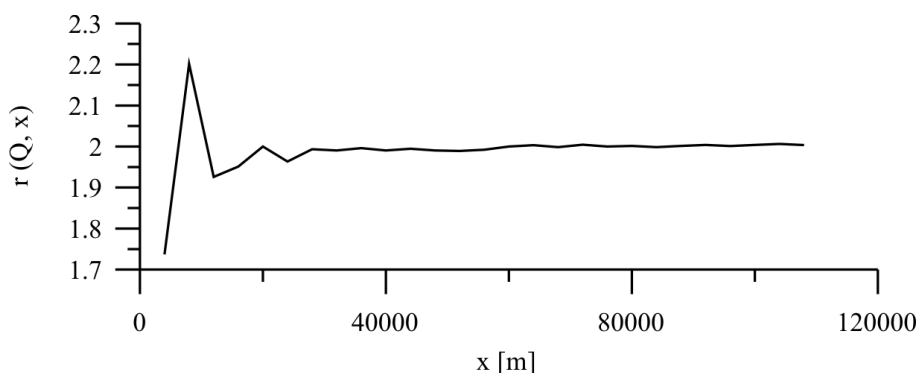


Рис. 2. Распределение локального порядка сходимости при $T = 72$ ч.

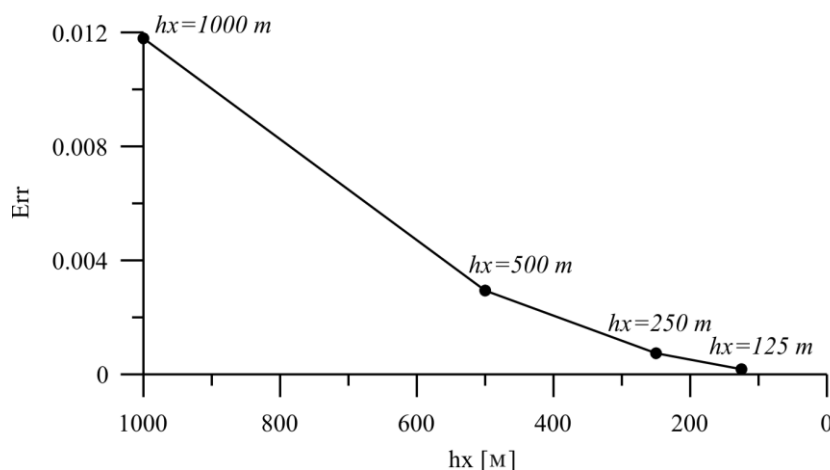


Рис. 3. Погрешность Err (13), m^3/c :
 hx – величина пространственного шага сетки, м.

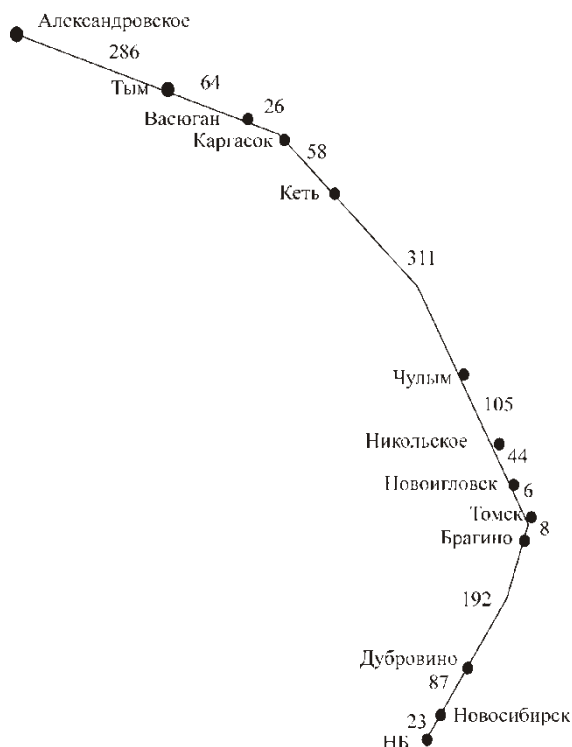


Рис. 4. Схема участка р. Обь
с указанием расстояний между створами, км

Для внутренних вершин без притоков ставятся условия $Q^p = 0$ и условие простого подхода (6). Для конечной вершины 13 используется условие $Q^p = -Q(z^p)$, где $Q(z^p)$ кривая связи для конечной вершины. Кривые расходов часто используются при расчетах неустановившихся течений в руслах [2]. Для выполнения расчетов мы построили кривую связи, используя данные гидрологического ежегодника по нескольким годам (рис. 5).

Расчеты были выполнены для среднего по водности 2014 г. Расчетный период составлял четыре месяца (май-август). При сборе гидрологических данных для численного моделирования использовались интернет-ресурсы АИС ГВМО. Начальные условия также задавались с использованием данных АИС ГВМО.

Морфометрическая информация по створам 1-3 построена с использованием лоцманской карты. Для створов 4, 6, 7, 10, 13 геометрия построена по экспедиционным данным.

Таблица 1

Расстояние между створами
и плотинной ГЭС (НБ), км

Створы	Расстояние
1. НБ	0
2. Новосибирск (приток Иня)	23
3. Дубровино	110
4. Брагино	302
5. Томь (приток)	310
6. Новоигловск	316
7. Никольское	360
8. Чулым (приток)	465
9. Кеть (приток)	776
10. Каргасок	834
11. Васюган (приток)	860
12. Тым (приток)	924
13. Александровское	1210

В вершинах впадения притоков морфометрическая информация получена интерполяцией по ближайшим створам с заданными данными измерений (из-за сложности получения натуральных данных в таких пунктах). На рисунке 6 приведены графики распределения расчетных значений расходов и уровней вдоль русла. Скачки расхода соответствуют местам впадения притоков.

На рисунке 7-8 показана динамика уровней и расходов в с. Дубровино (вершина 3) и с. Александровское (концевая вершина 13), полученная по натурным наблюдениям и в результате расчетов на конец расчетного периода.

Сравнение данных в с. Дубровино показывает достаточно хорошее согласование. Количественно расчетные данные сильнее отклоняются от данных наблюдений в середине расчетного периода. На этом участке нет значительных притоков. В расчетах учитывается только р. Иня, но, по-видимому, необходимы более точные данные о расходах путевых притоков.

Данные поста наблюдения в с. Александровское показывают более значительные расхождения с результатами расчетов. Основной причиной этого является недостаток информации по притокам.

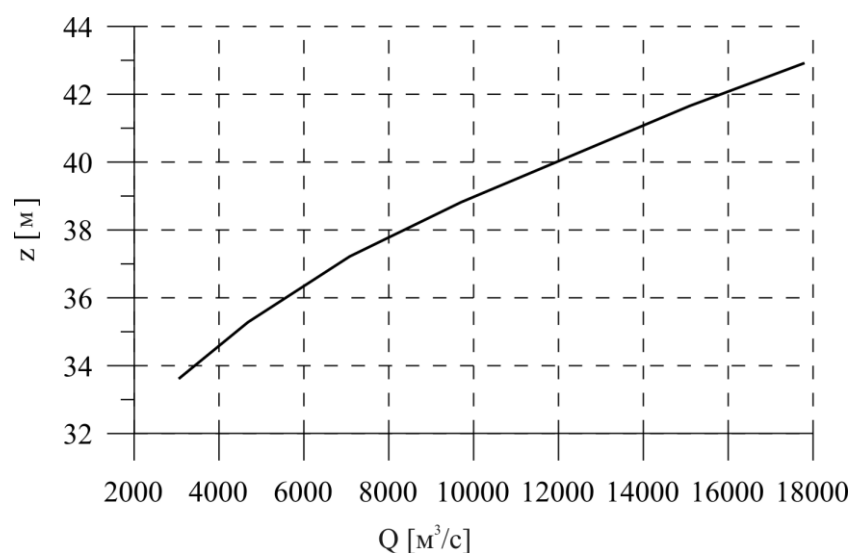


Рис. 5. Кривая связи $Q(z)$:
пост наблюдения – с. Александровское.

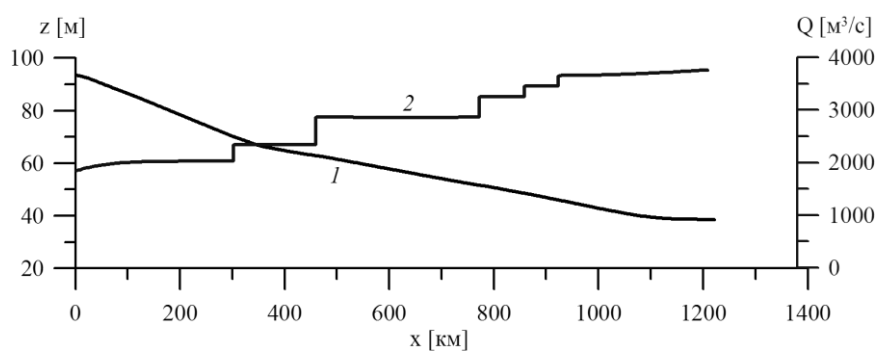


Рис. 6. Распределение расхода и уровня по длине
на конец расчетного периода по данным 2014 г.:
1 – уровень; 2 – расход.

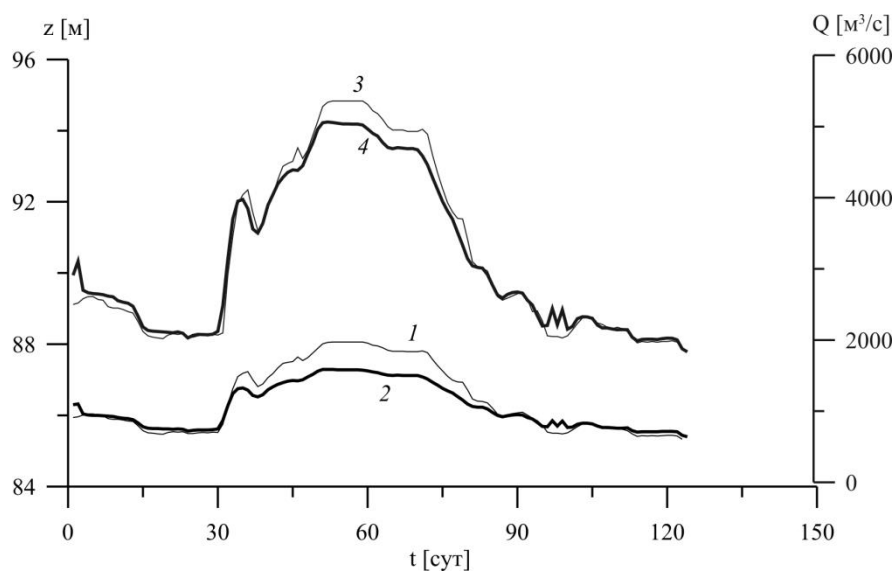


Рис. 7. Динамика уровней и расходов в с. Дубровино:
1 – уровень, наблюдения; 2 – уровень, результаты расчетов; 3 – расход, наблюдения;
4 – расход, результаты расчетов.

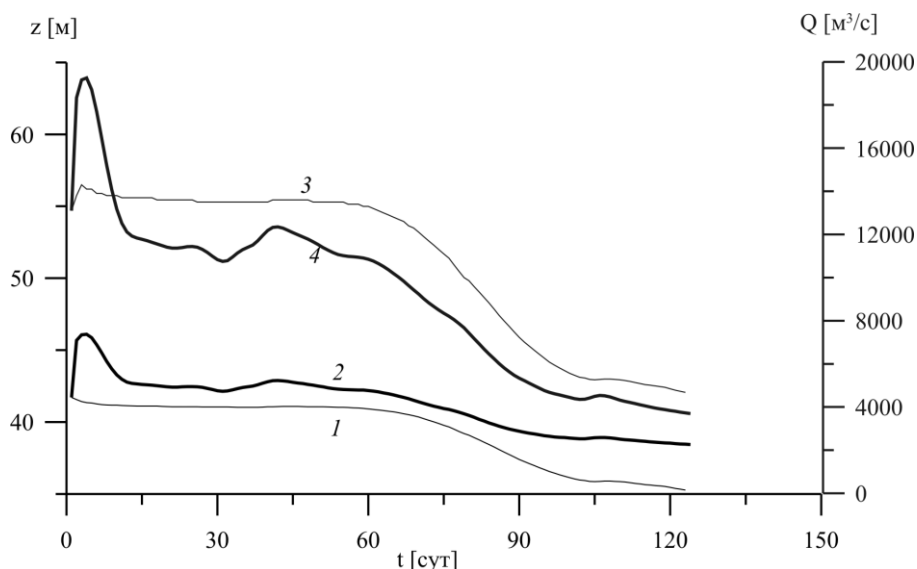


Рис. 8. Динамика уровней и расходов в с. Александровское:

1 – уровень, наблюдения; 2 – уровень, результаты расчетов; 3 – расход, наблюдения; 4 – расход, результаты расчетов.

Скачок расходов и уровней в начале периода связан с заданием начальных условий в вершинах 11 и 12, для которых не было требуемых данных наблюдений (морфометрическая и гидрологическая информация). В этих вершинах данные получены линейной интерполяцией данных вершин 10, 13, что не является корректным.

4. Заключение

Сопоставление результатов расчета с натурными данными демонстрирует приемлемую степень согласования и подтверждает возможность использования предлагаемой постановки задачи и методики расчета распространения паводков на всем протяжении р. Обь от створа НГЭС до устья. Программа

устойчиво работает в условиях реального русла и продолжительного периода времени. Расхождения между расчетными и наблюдаемыми данными можно объяснить тем, что при выполнении численных экспериментов информация по притокам была недостаточной (не учитываются мелкие притоки ввиду отсутствия данных). Для более точной работы модели нужна дополнительная информация о расходах путевых притоков или удельном расходе на единицу длины русла, а также уточнение кривой связи для конечной вершины. Оценка точности метода модели по методу Рунге показала, что на большей части модельной области локальный порядок сходимости близок к 2.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (номер государственной регистрации проекта – АААА-А17-117041210241-4).

Список литературы

1. Атавин А.А. Расчет неустановившегося течения воды в разветвленных системах речных русел или каналов // Динамика сплошных сред. – 1975. – Вып. 22. – С. 25-36.
2. Атавин А.А., Гладышев М.Т., Шугрин С.М. О разрывных течениях в открытых руслах // Динамика сплошной среды. – Новосибирск, 1975. – Вып. 22. – С. 37-64.
3. Харари Ф. Теория графов. – М.: Мир, 1978. – 300 с.
4. Понтрягин Л.С. Основы комбинаторной топологии. – М.: Наука. 1986. – 118 с.
5. Воеводин А.Ф., Шугрин С.М. Методы решения одномерных эволюционных систем. – Новосибирск: Наука, 1993. – 368 с.

6. Васильев О.Ф., Годунов С.К., Притвиц Н.А., Темноева Т.А., Шугрин С.М., Фрязина И.Л. Численный метод расчета распространения длинных волн в открытых руслах и приложение его к задаче о паводке // ДАН СССР. – 1963. – Т. 151. – № 3. – С. 525-527.
7. Атавин А.А., Васильев О.Ф. Нестационарные задачи гидравлики открытых русел и судоходных сооружений // Механика сплошных сред. – София, 1968. – С. 75-82.
8. Грушевский М.С. Неустановившееся движение воды в реках и каналах. – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 288 с.
9. Рождественский Б.Л., Яненко Н.Н. Системы квазилинейных уравнений и их приложения к газовой динамике. – М.: Наука, 1968. – 687 с.
10. Березин И.С., Жидков Н.П. Методы вычислений. – М.: Наука, 1966.
11. Бочаров О.Б., Осокин А.Е. Численное исследование автомодельных задач неизо-термической двухфазной фильтрации // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2002. – Е. 5. – № 1(9). – С. 8-19.
12. Остапенко В.В., Ковыркина О.А. О сходимости разностных схем сквозного счета // ДАН. – 2010. – Т 433. – № 5. – С. 599-603.
13. Атавин А.А., Овчинникова Т.Э., Пасечкина В.Ю. Численная модель прохождения волн паводков в системе разветвленных русел // Изв. АО РГО. – 2019. – № 4 (55). – С. 51-56.

References

1. Atavin A.A. Raschet neustanovivshegosya techeniya vody v razvetvlennykh sistemakh rechnykh rusel ili kanalov // Dinamika sploshnykh sred. – 1975. – Vyp. 22. – S. 25-36.
2. Atavin A.A., Gladyshev M.T., Shugrin S.M. O razryvnykh techeniyakh v otkrytykh ruslakh // Dinamika sploshnoy sredy. – Novosibirsk, 1975. – Vyp. 22. – S. 37-64.
3. Kharari F. Teoriya grafov. – M.: Mir, 1978. – 300 s.
4. Pontryagin L.S. Osnovy kombinatornoy topologii. – M.: Nauka. 1986. – 118 s.
5. Voyevodin A.F., Shugrin S.M. Metody resheniya odnomernykh evolyutsionnykh sistem. – Novosibirsk: Nauka, 1993. – 368 s.
6. Vasilyev O.F., Godunov S.K., Pritvits N.A., Temnoyeva T.A., Shugrin S.M., Fryazina I.L. Chislenny metod rascheta rasprostraneniya dlinnykh voln v otkrytykh ruslakh i prilozheniye ego k zadache o pavodke // DAN SSSR. – 1963. – Т. 151. – № 3. – S. 525-527.
7. Atavin A.A., Vasilyev O.F. Nestatsionarnye zadachi gidravliki otkrytykh rusel i sудоходных сооружений // Mekhanika sploshnykh sred. – Sofiya: Izd. BAN, 1968. – S. 75-82.
8. Grushevsky M.S. Neustanovivsheyesya dvizheniye vody v rekakh i kanalakhs. – L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 288 s.
9. Rozhdestvensky B.L., Yanenko N.N. Sistemy kvazilineynykh uravneny i ikh prilozheniya k gazovoy dinamike. – M.: Nauka, 1968. – 687 s.
10. Berezin I.S., Zhidkov N.P. Metody vychisleny. – M.: Nauka, 1966.
11. Bocharov O.B., Osokin A.E. Chislennoye issledovaniye avtomodelnykh zadach neizotermicheskoy dvukhfaznoy filtratsii // Sibirsky zhurnal industrialnoy matematiki. – 2002. – Ye. 5. – № 1(9). – S. 8-19.
12. Ostapenko V.V., Kovyorkina O.A. O skhodimosti raznostnykh skhem skvoznogo scheta // DAN. – 2010. – Т 433. – № 5. – S. 599-603.
13. Atavin A.A., Ovchinnikova T.E., Pasechkina V.Yu. Numerical model of the flood wave propagation in the system of branched channels // Bulletin of the Altay Branch of the Russian Geographical Society. – 2019. – 55 (4). – P. 51-56.

MATHEMATICAL MODELLING OF THE FLOOD WAVE PROPAGATION IN THE SECTION OF UPPER AND MIDDLE PART OF RIVER OB

A.A. Atavin, T.E. Ovchinnikova, V.Yu. Pasechkina

Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul

E-mail: atavin@iwep.nsc.ru, teohome@academ.org, pase4kina21@yandex.ru

An example of numerical simulation of the flood wave propagation in the section of upper and middle part of river Ob below the dam of Novosibirsk power station. The calculations are carried out using of numerical model of the flood wave propagation in the system of branched channels STREAM developed in IWEP SB RAS. The length of the section is 1210 km. The number of river tributary are taken into account. The model demonstrates stable operation in a large open river channel. The error of the difference method of solution was estimated according to the rule by Runge was fulfilled using a model region of branched river channel.

Keywords: branched river channel, flood, wave propagation, the method error estimation.

Received November 25, 2020

УДК 556.537

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ГИДРОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ НА РЕКЕ КАТУНЬ У СЕЛА МАНЖЕРОК (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

А.Т. Зиновьев, А.И. Балдаков, К.В. Марусин

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: zinoviev@iwer.ru

После экстремальных осадков, выпавших в Горном Алтае в 2014 г. и спровоцировавших исключительные по водности паводки практически на всех водотоках территории Республики Алтай, в т.ч. и на реке Катунь, резко возросли темпы и масштабы размывов правого берега р. Катунь на участке стока у с. Манжерок. В результате этого берег в настоящее время подступил практически к жилой инфраструктуре населенного пункта. Дальнейшее отступление берега может привести к катастрофическим последствиям (обрушению жилых домов, расположенных вдоль берега р. Катунь) не только для жителей села, но и для инфраструктуры федерального значения (размыву автодороги «Чуйский тракт», повреждению линий воздушных сетей и кабельной связи). В работе рассматривается сложившаяся гидроморфологическая ситуация на данном участке стока р. Катунь и обсуждаются причины и возможные меры противодействия негативному ходу руслового процесса в районе с. Манжерок.

Ключевые слова: р. Катунь, с. Манжерок, русловые процессы, размыв берега.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15904

Дата поступления 2.12.2020

Селитебная территория с. Манжерок располагается в тесной межгорной долине реки Катунь в месте, где водоток и его долина образуют крутую подковообразную излучину. Река здесь огибает почти смыкающиеся местные среднегорные поднятия: с левого борта долины – выклинивающуюся на восток гору Острую в составе Бело-Каменского массива Семинского хребта, с правого борта – северо-западные отроги Синюхинского хребта, входящего в систему горного Мажиганского массива хребта Иолго. При этом река Катунь в этом месте для прохождения вперед и вниз к выходу из гор приходится совершать двойной зигзагообразный поворот, последовательно обходя сначала горный массив горы Острая, а затем – аналогичный массив горы Черепан, образуя соответственно сначала острую Манжерокскую излучину, потом более пологую Черепанскую излучину. Характерной особенностью данных изгибов реки

является наличие в русле Катунь множества хаотично разбросанных по акватории небольших островов, выступающих со дна русла водотока в виде каменных останцов, что свидетельствует об их одинаковом происхождении (генезисе) в далеком геологическом прошлом [1].

Практически в вершине Манжерокской излучины, на незатопляемой части дна речной долины, находится с. Манжерок, селитебная инфраструктура которого простирается почти на два километра по правому берегу Катунь до подножья горы Черепан. В последние годы после прохождения максимальных по стоку половодий и паводков (2001, 2010, 2014) ситуация со стабильностью берега у с. Манжерок резко изменилась в негативную сторону. Особенно катастрофическим был выдающийся по водности паводок 2014 г. [2-3], когда левый берег Катунь напротив села подвергся сильнейшему размыву. В этот

паводок в русле вдоль правого берега на участке разворота водного потока образовалось мощное вихревое противотечение (майдан), которое вымыло на дне гигантскую вытянутую вдоль правого берега плесовую яму глубиной до 18-20 м; при этом ранее низкий пологий берег превратился в обрывистый яр высотой до 3-5 м. Негативное развитие русловых процессов на реке Катунь у с. Манжерок интенсивно продолжается и в настоящее время.

В статье излагаются результаты выполненной экспертной научно-технической оценки генетических причин и особенностей современного развития негативных русловых процессов реки Катунь на участке расположения территории с. Манжерок, угрожающих катастрофическими размывами ее правого берега с перспективой массового обрушения жилой инфраструктуры населенного пункта.

Гидрография района села Манжерок

Гидрографическая сеть территории с. Манжерок, располагающегося в правобережной части долины р. Катунь, включает в себя непосредственно саму реку (главный водный объект), оз. Манжерокское, р. Едрала и руч. Манжерокский (притоки Катунь – два малых водотока, формирующиеся на западных склонах Синюхинского хребта), а также руч. Озерной, вытекающий из озера. Все эти водные объекты представляют собой единый неразрывный природный водно-балансовый комплекс, прямо или косвенно влияющий в настоящее время на селитебную территорию с. Манжерок (рис. 1). Дадим краткое описание вышеперечисленных водных объектов [4-5].

Катунь – левая составляющая Оби, берет начало из ледников Геблера и Катунского на южном склоне горы Белухи, входящей в состав Катунского хребта, на высоте 3440 м над уровнем моря; сливается с рекой Бия в 22-х км на запад от г. Бийска, образуя крупнейший магистральный водоток Евразийского материка – реку Обь. Большую часть своего стока (566 км) Катунь про-

текает по территории Республики Алтай, среди горных вершин и хребтов Алтайской горной системы, и лишь на последних 122-х километрах течет по предгорной равнине в пределах Алтайского края. Общая длина Катунь равняется 688 км, площадь водосборного бассейна – 60900 км², суммарное падение воды в реке составляет 3240 м, при среднем уклоне водотока 4,70 ‰. Почти на всем своем протяжении Катунь – горная река, и только на последних 76 км нижнего течения (после впадения р. Иша) она течет по открытой предгорной равнине, приобретая характерные для равнинного водотока черты.

В среднем течении стока (ниже впадения р. Чуи) Катунь вплоть до с. Майма протекает в северном направлении, незначительно отклоняясь при этом к западу. После Ининской впадины (357-380 км) Катунь пересекает Айгулакский хребет, затем протекает между Семинским и Куминским хребтами, ориентируясь вдоль Катунского антиклинория. Сразу после Ининской впадины Катунь в узком отвесном и глубоком ущелье прорезает интрузии девонского периода, представленные гранитами и кварцевыми диоритами, которые ниже по течению водотока сменяются глинистыми сланцами, порфиритами и яшмовидными породами. В районе от с. Чемал и до с. Манжерок коренные кристаллические породы слагают берега и дно русла Катунь, причем берега водотока почти полностью лишены аллювиального покрова.

На всем протяжении субмеридионального участка стока Катунь (до с. Манжерок) долина реки преимущественно имеет вид ущелья, местами переходящего в ящикообразные формации; здесь даже в местных, локально террасированных расширениях, русло врежется в коренные породы, формируя теснины, подобные «Ининской горловине», вложенные в плоское дно долины на глубину до 10-25 м.

Залесенность горной части водосбора Катунь в целом сравнительно невелика – лесами здесь занято всего около

35 % площади бассейна. Хвойные леса (лиственница, сосна, кедр, ель, пихта) располагаются в области среднегорья водосбора и на выположенных склонах разной экспозиции низкогорных вершин; в основном в среднем течении реки, в т.ч. и в районе с. Манжерок.

Начиная от с. Майма р. Катунь почти одновременно выходит из горных теснин; долина водотока постепенно расширяется и выравнивается, русло разветвляется, а его дно расплывается – река вступает в пределы Предалтайской аллювиальной равнины Алтайского края и приобретает вид классического равнинного водотока с интенсивными русловыми деформациями и мощным подрусловым стоком.

При выходе водотока в предгорья водосбора, на отрезке стока от с. Ман-

жерок и до впадения р. Иша (56-й км), Катунь течет в полугорном умеренно извилистом русле со скалистыми незаплачиваемыми островами, которое на последних 80-ти км нижнего течения сменяется руслом равнинного типа.

На протяжении всего последнего участка русло у Катунь сложноразветвленное, многорукавное, пойменно-островное, нестабильное во времени и в пространстве. Ширина пояса разветвления достигает 1,0-1,5 км, а на нижнем отрезке – 2,0-2,5 км. Для него характерны интенсивные размывы берегов (до нескольких десятков метров в год), представленных широкими аллювиальными (песчаными или песчано-галечными) террасами, часто образующими почти вертикальные уступы к руслам реки.

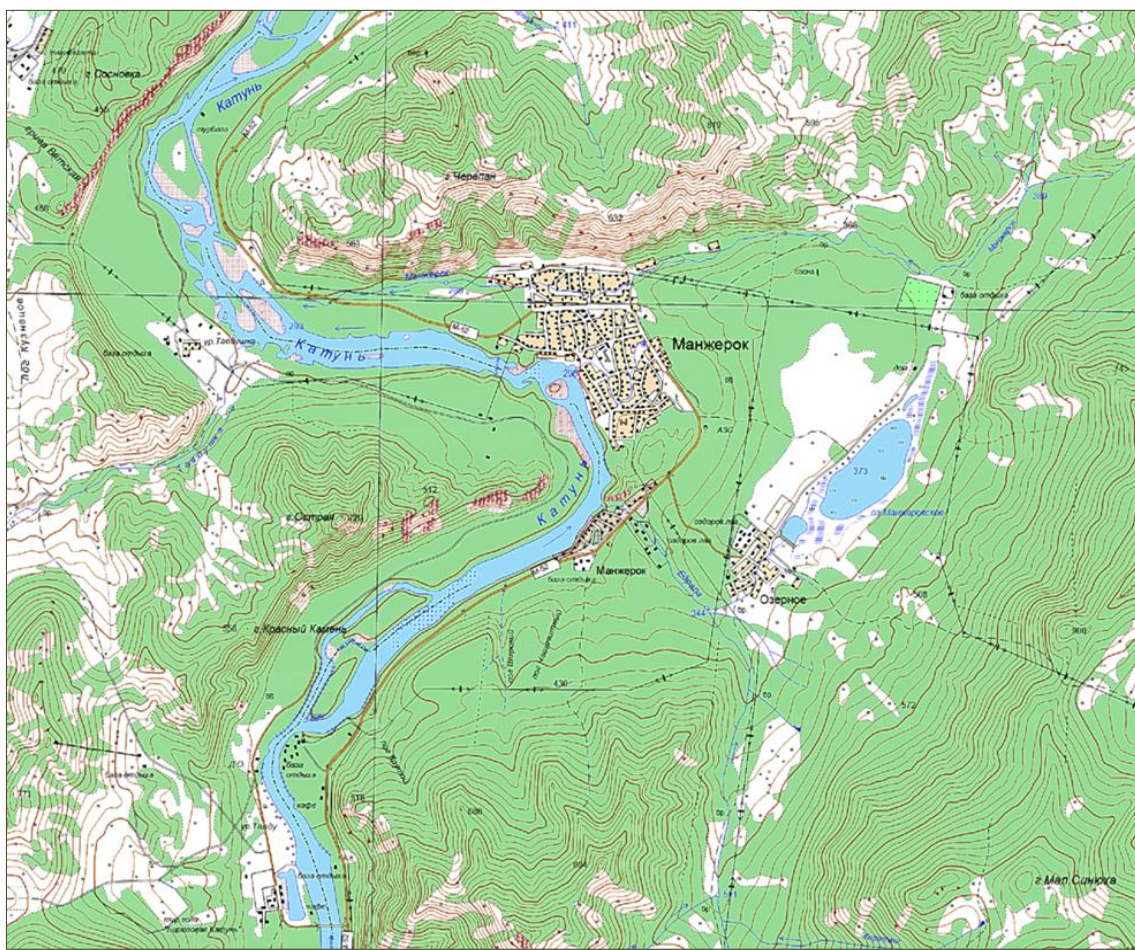


Рис. 1. Ситуационно-гидрографическая схема долины р. Катунь в пределах с. Манжерок

Едрала – малая река III-го порядка, берет начало путем слияния нескольких небольших ключей и родников западных склонов горы Малая Синюха, на высоте 916-918 м над у.м., впадает справа в реку Катунь у пос. Заимка, на 140-м км от ее устья. Общая длина водотока равняется 7,4 км, площадь водосборного бассейна – 15,0 км². Едрала на всем своем протяжении протекает по территории Майминского района Республики Алтай в северо-западном направлении, по крутым склонам Синюхинского хребта. Общее падение реки составляет 622 м, средний уклон русла – 97,3 ‰.

Едрала – малая река (практически ручей в меженный период), ее речная сеть на водосборе сравнительно хорошо развита, о чем свидетельствует коэффициент густоты сети, величина которого колеблется от 0,5 до 1,0 км на км². Представлена сеть в основном небольшими ручьями или микроручьями родникового происхождения протяженностью менее 5 км, преимущественно с постоянным стоком: Караташ, Калинов и другие – безымянные. Всего в реку Едрала впадает 8 родниковых ручьев и ключей, самым крупным из которых является ручей Озерный, вытекающий из озера Манжерок.

Водосбор р. Едрала низкогорный, располагается в северо-восточной части горной системы Алтая, на правом берегу среднего течения реки Катунь, между сравнительно небольшим Синюхинским горным хребтом – на юго-востоке и долиной р. Катунь – на западе. Хребет Синюхинский, протянувшийся вдоль Катунь с юго-запада на северо-восток на 16 км, является местным водоразделом между водосборными бассейнами рек Катунь и Майма; состоит из нескольких сглаженных залесенных горных вершин, главными из которых являются две соседние наиболее высокие горы: Синюха (1218 м) и Малая Синюха (1197 м), соединенные между собой вытянутой седловиной. Хребет имеет крутые, сравнительно ровные слаборасчле-

ненные склоны, покрытые густым таежным лесом: сосна, пихта, береза.

Едрала в верхнем течении представляет собой небольшой ручей с постоянным стоком, стремительно текущий в узком каменистом сильно наклоненном русле. В нижнем течении река протекает в плохо разработанном, распластанном, каменисто-галечном, местами разветвленном русле, располагающемся на дне узкой глубоко врезанной долины с крутыми слаборасчлененными склонами. Ширина русла р. Едрала колеблется от 4 до 10 м, отдельных рукавов и проток – 2,5-3,0 м. Уклоны водной поверхности повсеместно значительны и меняются на отдельных участках от 40 до 120 ‰, поэтому течение воды быстрое, бурное, микроводопадное, со скоростями от 1,5 до 2,5 м/с. Ширина долины водотока поверху достигает 50-60 м, а в местах слияния с притоками увеличивается до 60-80 м. При этом сама долина и берега водотока практически полностью покрыты густым горно-таежным лесом (сосна, береза, осина, пихта, различные виды кустарника).

Манжерокский ручей – небольшой горный водоток, стекающий с крутых склонов межгорной седловины, соединяющей Черепановский кряж с Синюхинским хребтом. Черепановский кряж – это конечный небольшой скальный останец, протянувшийся на 10 км с юго-запада на северо-восток, отчлененный в геологическом прошлом водами р. Катунь от одного из северо-восточных отрогов Семинского хребта (наивысшая точка – гора Черепан, 776 м). Манжерокский ручей, образующийся на высоте 389 м над у.м. от слияния трех малых ручьев родникового происхождения, сначала протекает в узкой крутосклонной межгорной, преимущественно залесенной долине, в слабовыраженном плохо разработанном каменистом русле. Через 1,8 км он выходит из гор и резко поворачивает в правую сторону на запад, где протекая вдоль подошвы южного склона Черепановского кряжа, через 6,4 км впадает с правого берега в

р. Катунь. Длина ручья равняется 8,2 км, площадь водосбора – 10,4 км², общее падение воды в ручье составляет 98 м при среднем уклоне русла, меняющимся от 81-82 ‰ (верхняя горная часть водосбора) до 3,5-4,0 ‰ (после выхода из горной местности в долину р. Катунь).

Водосбор ручья в горной части образован нижними склонами местных вершин (справа – Черепанского кряжа, слева – массива горы Б. Синюхи), имеет сильную крутизну склонов и самой долины, почти полностью покрыт густым таежным лесом (сосна, пихта, береза, осина, тополь), а по дну, где течет ручей – многоярусным кустарником (акация, рябина, боярышник, смородина, ветла, багульник).

Русло Манжерокского ручья в горной части водосбора представляет собой каменистую распластанную промоину, расположенную на дне узкой извилистой с высокими склонами, каньонообразной долины, повсеместно заросшими древесно-кустарниковой растительностью. Промоина-русло неровная, сильно закарчевана валежником, сложена валунами и галькой, имеет низкие, местами отвесные берега. Глубины воды в русле незначительные, но течение воды стремительное.

После выхода из горных склонов долины Катунь ручей приобретает характерные черты равнинного водотока и протекает по территории, полностью покрытой лесом и кустарником в узком, извилистом русле овражного типа, с крутыми, неровными, местами обрывистыми деформирующимися берегами. Ширина русла ручья колеблется от 3-5 до 8-10 м, врез в земную поверхность составляет 1-3 м.

При подходе к правому берегу русла р. Катунь руч. Манжерокский проходит тремя широкими (30-50 м) и глубоко врезанными, сильноизвилистыми рукавами по северо-западной части территории с. Манжерок, рассекая ее на неравные части и привнося значительные неудобства существованию и развитию

инфраструктуры населенного пункта, затрудняя коммуникации.

В прошлом (середина 1930-х гг.) руч. Манжерокский впадал в оз. Манжерокское, превращая его, таким образом, в проточный водоем и осуществляя постоянную водную подпитку и регулируемый водообмен чаши котловины водоема. Выход воды из озера осуществлялся по руч. Озерному через водопропускное сооружение (шлюз) плотины, расположенной у пос. Озерного.

Озеро Манжерокское – один из многочисленных малых водоемов Горного Алтая и один из наиболее интересных водных объектов подобного рода в регионе (Республика Алтай). Озеро располагается на древней высокоподнятой террасе правобережной части долины среднего течения р. Катунь, в Северо-Восточной провинции Алтайской горной страны на участке стока водотока у с. Манжерок. В прошлом оз. Манжерокское было составной частью единой гидрографической сети р. Едрала, в которую впадал руч. Озерный. А в оз. Манжерокское впадал руч. Манжерокский, стекавший с крутых склонов межгорной седловины, соединяющей Черепановский кряж с Синюхинским хребтом. В настоящее время руч. Манжерокский отделен от оз. Манжерокское, а руч. Озерный при выходе из водоема перекрыт грунтовой плотиной. И хотя плотина имеет водопропускное сооружение шандорного типа, но оно давно наглухо закрыто и находится в нерабочем состоянии.

Материалы и методы исследования

Все результаты и выводы, изложенные ниже, основываются на данных краткого рекогносцировочного гидрологического обследования проблемного участка, проведенного 22 июня 2020 г., а также на материалах космической съемки, которые удалось найти в общедоступных источниках. Результаты визуальных наблюдений сложившейся ситуации 2020 г., а также свидетельства местных жителей и опрос представите-

лей администрации показали, что возникшее в паводок 2014 г. вихревое противотечение вдоль правого берега у с. Манжерок, превратилось в стабильное потоковое русловое образование, сохраняющееся до настоящего времени и в меженные периоды стока р. Катунь (рис. 2).

Наблюдаемый в настоящее время размыв правого берега угрожает не только разрушением жилой инфраструктуры самого населенного пункта, но и целостности проходящей здесь в правобережной части долины Катунь (400-500 м северо-западнее) федеральной международной автотрассе «Чуйский тракт». Из-за негативного развития русловых процессов на р. Катунь у с. Манжерок местной администрации в авральном порядке пришлось самостоятельно производить отсыпку (дамбирование) размываемого правого берега реки, поскольку процесс стал реально угрожать существующей жилой застройке населенного пункта.

Сложившаяся неблагоприятная ситуация, связанная с негативными деформационными процессами р. Катунь на участке стока у с. Манжерок, усугубляется двумя дополнительными обстоятельствами. Во-первых, наличием в русле Катунь на выходе из поворота Манжерокской излучины скалистого руслового сужения с выступающими на поверхность скальными островными останцами, практически отводящими водный поток водотока к правому берегу реки. В результате чего перед данными останцами образовались две каменистые песчано-галечные отмели, обнажающиеся в меженные периоды стока (рис. 4). Во-вторых, выходом на участок размыва правого берега стока руч. Манжерокского, причем тремя рукавами, что простую отсыпку береговой дамбы или сооружение каких-либо других гидротехнических устройств делает здесь по существу бесполезной без решения вопроса о регуляции стока воды этого водотока (рис. 5).



Рис. 2. Вихревое противотечение (майдан), образовавшееся в паводок 2014 г. по правому берегу русла р. Катунь на участке стока в пределах с. Манжерок, июнь 2020 г.

Последнее обстоятельство чрезвычайно усложняет поиск вариантов по оптимизации проектных решений, направленных на инженерную защиту от размывов и обустройству правого берега Катунь на участке стока реки у с. Манжерок. А удаление из русла Ка-

туни каменистых островных выступов не только представляет собой сложнейшую инженерно-техническую операцию, но и лишает населенный пункт одной из своих основных местных достопримечательностей, привлекающих туристов со всей России в этот район.



Рис. 3. Внешний вид отсыпки размываемого правого берега р. Катунь в с. Манжерок, июнь 2020 г.



Рис. 4. Скальные островные останцы и каменистая отмель в русле р. Катунь

Результаты и их обсуждение

Анализ космоснимков после наводнения, произошедшего на территории Республики Алтай в 2014 г., наглядно подтверждает то, что при резко возросших темпах и масштабах размыва правого берега р. Катунь в районе с. Манжерок дальнейшее отступление берега может привести к обрушению жилых домов, расположенных вдоль берега реки Катунь (рис. 5).

Непосредственной причиной интенсивного размыва правого берега реки на территории села является обширное и мощное скопление наносов у ее левого берега (рис. 6а). Это скопление отклоняет основную часть речного потока вправо, при этом сокращая ширину русла и, соответственно, увеличивая скорость течения, и, кроме того, оно затрудняет течение вдоль левого берега.

Указанные эффекты хорошо проявляются на рисунке 7, где сопоставлена русловая ситуация 2007 и 2017 гг. Подчеркнем, что приведенные на этом рисунке космические снимки, датированные началом июля, сделаны в практически идентичных условиях по уровню воды (рис. 7а и 7б).

Сложившуюся на рассматриваемом участке русловую ситуацию, по нашему мнению, следует рассматривать как весьма негативную и даже опасную не только в текущем состоянии, но и в перспективном отношении. Поскольку она способствует развитию процесса меандрирования русла, т.е. дальнейшему росту его изгиба, образовавшегося в результате отложения наносов (рис. 8).

На данный момент отношение длины изгиба русла (l) к его шагу (L) составляет 1,29 (см. рис. 8). Укажем, что «значение $l/L = 1,10 - 1,15$ можно считать пороговым для возникновения процесса меандрирования и перехода от прямолинейного русла к извилистому» [6, с. 27]. При значениях $l/L > 1,15$ начинается развитие излучины. Особо подчеркнем, что показанные на рисунке 8 последовательные положения русла при меандрировании не следует рассматривать в качестве результатов прогнозирования. Они даны лишь для иллюстрации общей направленности процесса развития излучины. Пока совершенно невозможно предсказать, как далеко и как быстро пойдет этот процесс.



Рис. 5. Один из рукавов ручья Манжерокский (правый приток р. Катунь)



Рис. 6. Река Катунь на территории с. Манжерок на космических снимках:
 а – в условиях межени; б – в половодье.
 Отметки уровня воды – по ближайшему гидрологическому посту Чемал (62 км выше по течению).

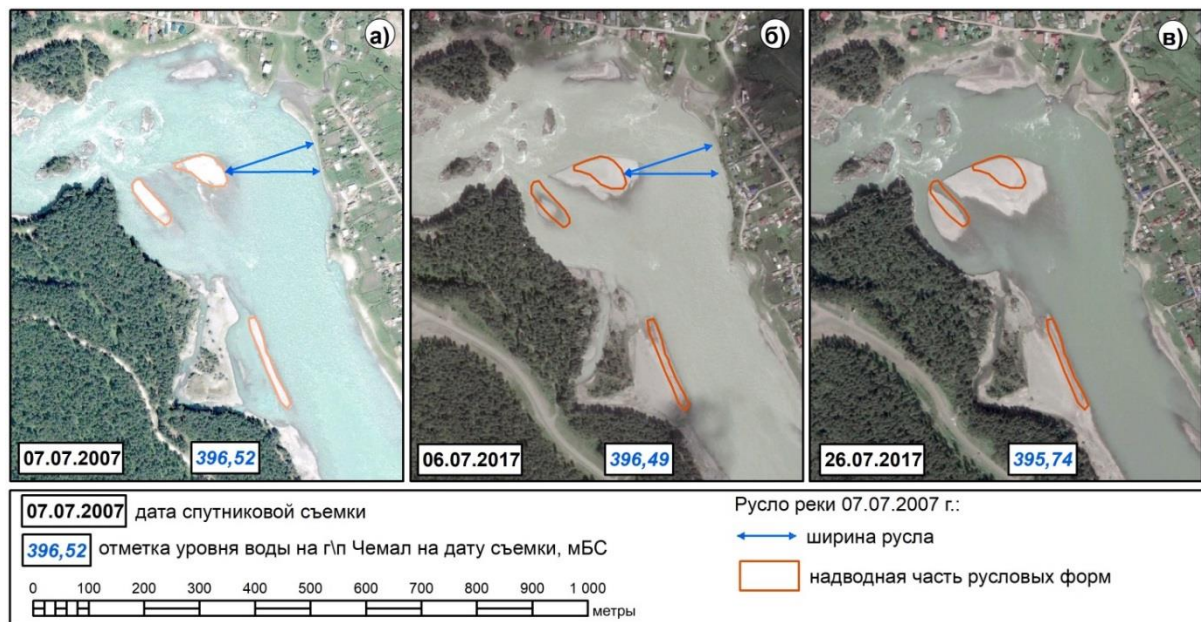


Рис. 7. Река Катунь на территории с. Манжерок на космических снимках 2007 и 2017 гг.

Следует отметить, что скопление наносов у левого берега реки на рассматриваемом участке существовало и ранее (рис. 9). Более того, такое скопле-

ние обусловлено особенностями строения долины реки и ее русла – изгибом русла вокруг г. Острая, наличием в нем порогов.

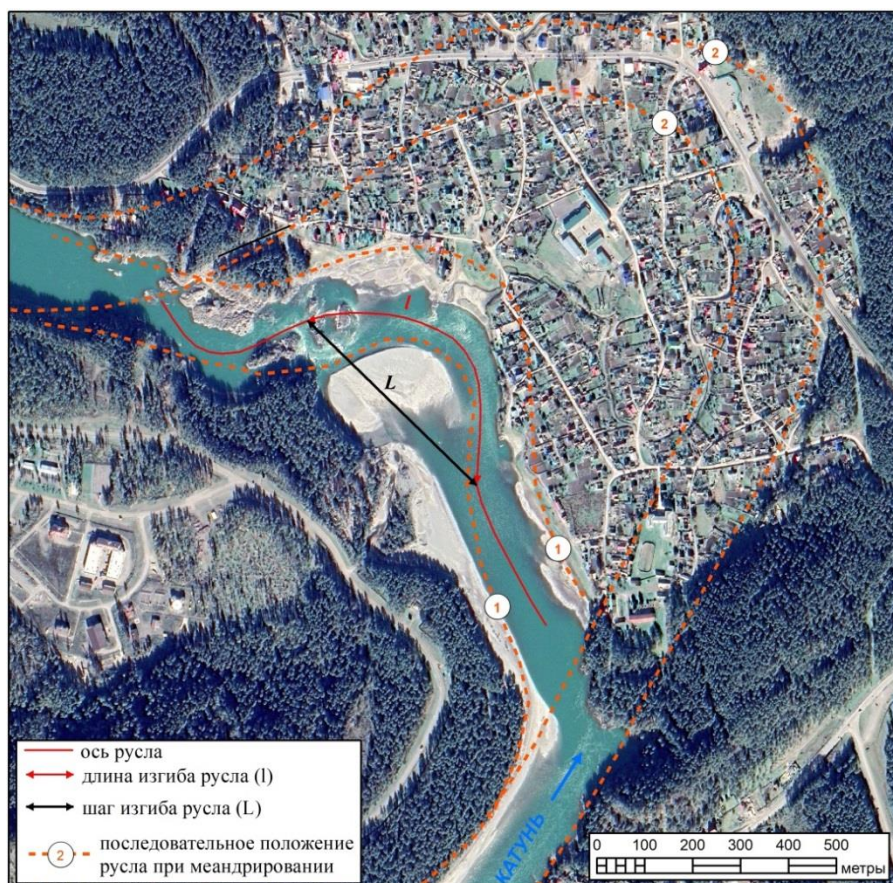


Рис. 8. Геометрические параметры русла р. Катунь на территории с. Манжерок и общая направленность возможного процесса меандрирования русла

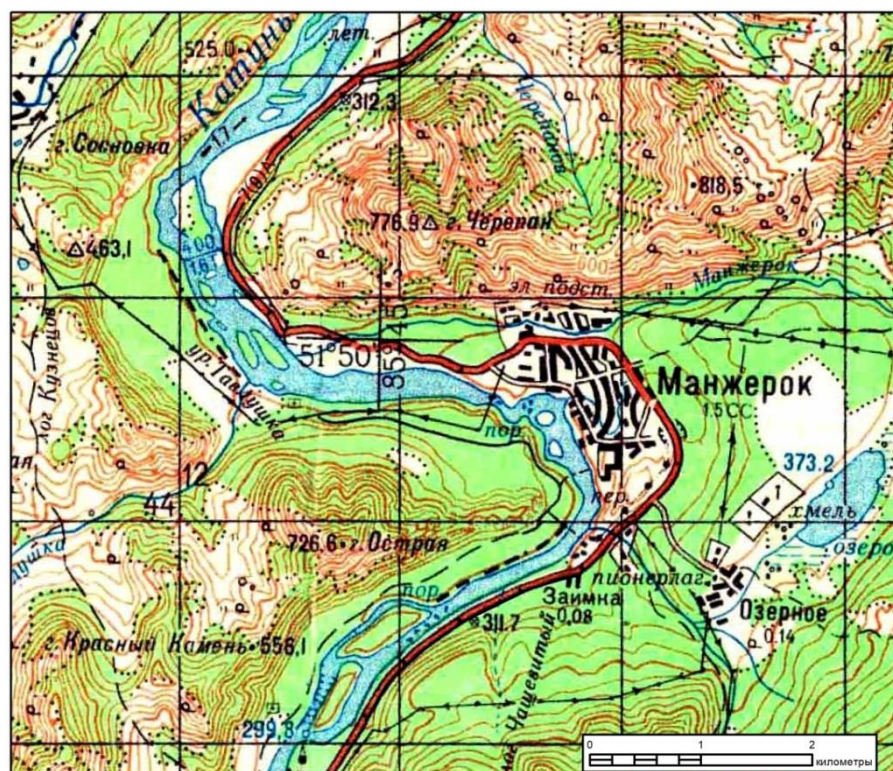


Рис. 9. Долина р. Катунь у с. Манжерок
(фрагмент топографической карты м-б 1:100000, состояние местности на 1981 г., издание 1985 г.)

Также в недавней истории реки случались половодья и более мощные, чем в 2014 г. – 1936, 1958, 1969, 1970 гг. Однако при этом проблем с размывом правого берега не возникало, по крайней мере, они не были зафиксированы документально. Это значит, что река справлялась с пропуском через рассматриваемый участок объемов наносов, поступающих сверху в ходе половодья. По свидетельству местных жителей ситуация с размывом правого берега начала меняться в худшую сторону с начала 2000-х гг. Вероятно, накопление наносов у левого берега на участке (вместо пропуска их вниз по течению) и, соответственно, размыв правого берега, происходили постепенно. Последнее экстремальное половодье (2014) лишь

обозначило эти взаимосвязанные процессы более рельефно.

Ответить на вопрос о том, в чем причина столь существенной перестройки хода руслового процесса, пока не представляется возможным. Вероятно, она связана с изменениями в русловой ситуации на вышележащих участках реки. Однако ответ на данный вопрос обязательно должен быть найден, поскольку это необходимо для прогнозирования ситуации на перспективу и для разработки инженерных мероприятий по предотвращению негативного хода руслового процесса.

В принципе, мероприятия по противодействию негативному ходу руслового процесса на рассматриваемом участке могут идти по двум направлениям (рис. 10).

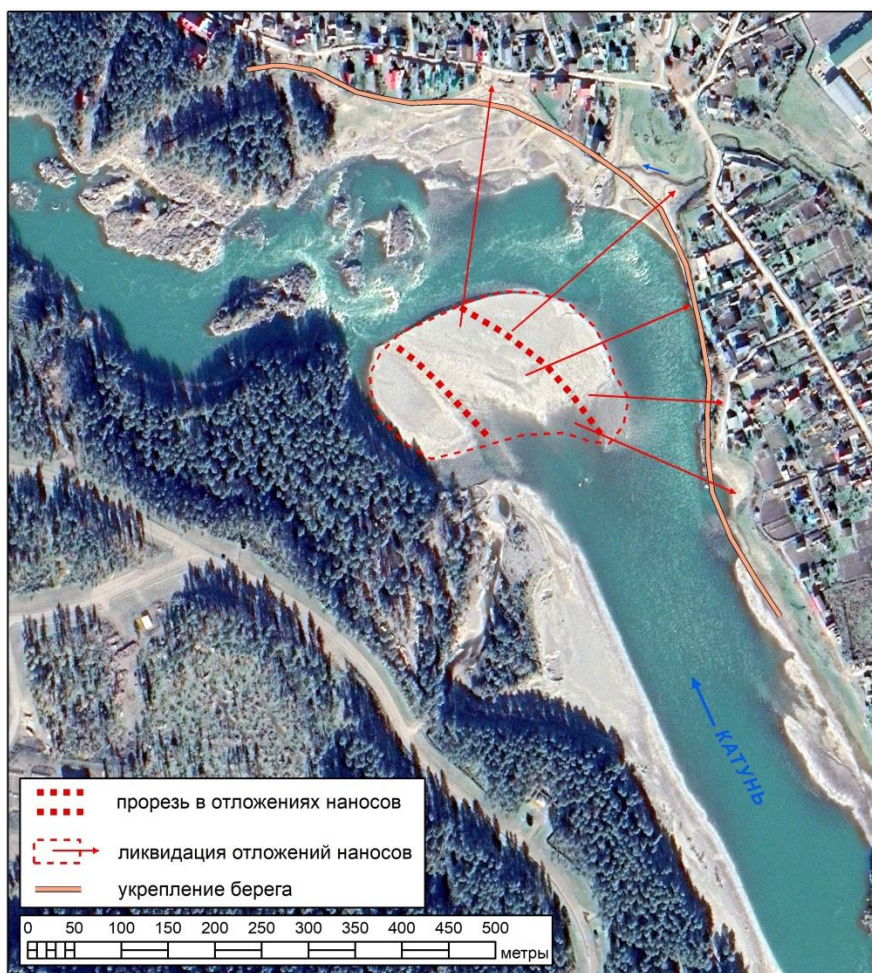


Рис. 10. Схема мероприятий по противодействию негативному ходу руслового процесса на территории с. Манжерок

Расчистка русла – спрямление зарождающейся излучины путем частичной (разработка прорези) или полной (на площади около 3 га) ликвидации отложения наносов у левого берега реки. При этом изымаемый из русла материал может быть использован для восстановления размывших участков берега и засыпки донных ложбин, образованных речным потоком у подножия берегового склона.

Берегоукрепление – эта работа уже выполняется силами местных властей в меру их возможностей. Однако для надежного блокирования процесса роста изгиба русла вглубь суши необходимо возведение достаточно прочного берегозащитного сооружения, например, каменно-набросного банкета из горной массы на протяжении около 1000 м, спроектированного с учетом стока руч. Манжерокский.

При рассмотрении варианта берегоукрепления следует учесть следующие обстоятельства. На рассматриваемом участке территории домовладений с жилыми и хозяйственными постройками подступают к бровке берега практически вплотную. Следовательно, придется выдвигать сооружение непосредственно в русло реки. Это требует, в свою очередь, повышения прочности сооружения (класса капитальности), усложняет работы технически и повышает их стоимость. Кроме того, после строительства сооружения рекреационные возможности приурезовой полосы будут, по-видимому, утрачены.

Мероприятия по расчистке русла, по нашему мнению, более просты технически и требуют меньших затрат. Однако критически важно правильно определить места и объемы выемки материала из русла. Кроме того, как уже говорилось выше, отложение наносов у левого берега предопределено самой природой. Вопрос в том, как быстро и в каких местах они будут снова откладываться после проведения расчистки. В этой связи еще раз подчеркнем необходимость вы-

явления первопричины изменения русловой ситуации. Однако даже если эту причину удастся выявить, вполне вероятно, что не будет возможности, даже принципиальной, ее устранить. Таким образом, спустя некоторое время необходимо будет вновь выполнять расчистку.

Разумеется, возможна и комбинация обоих основных подходов. Например, при строительстве берегозащитного сооружения у правого берега непосредственно в русле реки следует произвести частичную выемку наносов у ее левого берега, чтобы сохранить геометрические размеры поперечного сечения русла.

Из сказанного выше следует, что разработка мер по противодействию негативному ходу руслового процесса р. Катунь на территории с. Манжерок является весьма сложной задачей, требующей серьезной предпроектной проработки, включающей научные изыскания. Цели такой научно-исследовательской работы должны заключаться в следующем: установлении причин, обусловивших негативное развитие руслового процесса; прогнозе его развития на среднесрочную перспективу (15-20 лет); разработке с учетом результатов НИР системы инженерных мероприятий.

Выводы

Процессы любых русловых деформаций поверхностных водотоков всегда обуславливаются значительными (критическими) изменениями гидроморфологической ситуации, возникающими в русле реки на участках, располагающихся выше или ниже по течению водного потока от рассматриваемого (исследуемого) участка. Связано это, в первую очередь, с тем, что на исследуемом участке меняется скоростное поле водного потока, т.е. направления и скорости течения его отдельных струй и водоворотов, причем не только в периоды максимальной водности реки (половодья, паводки), но и в периоды ее ми-

нимальной водности при открытом русле (летне-осенняя межень). Поэтому, как правило, подобные процессы сопровождаются переформатированием рельефа дна русла (отложениями наносов или, наоборот, размывами некоторых критических локаций), а также – интенсивными размывами и разрушениями берегов русла, кардинально изменяющими их плановое и высотное положение.

Нечто подобное происходит и в реке Катунь на участке ее стока у с. Манжерок. Что-то в рельефе дна русла и в плановом положении береговых линий реки критически сильно изменилось на участках выше или ниже по течению водотока, что и стало причиной (своеобразным спусковым детонатором) инициации процессов, направленных на размыв правого берега Катунь у с. Манжерок.

Для того, чтобы обоснованно определиться с оптимальными инженерными решениями, направленными на реализацию технических мероприятий, предотвращающих (замедляющих, минимизирующих) данное негативное развитие деформационных процессов р. Катунь у с. Манжерок, требуется установить причины, вызывающие их развитие и устойчивую трансформацию, а уже потом обосновывать мероприятия гидротехнического или гидроморфологического характера.

В настоящее время иницирующие причины, возбуждавшие этот процесс (размыв правого берега), практически неизвестны. Поэтому речь может идти только о вероятностных (возможных) технологических решениях и технических мероприятиях. А точнее – об их оптимизированном комплексном варианте, потому что причин, по-видимому, несколько, и со всеми надо разбираться отдельно.

Если на участке берегового размыва у с. Манжерок рельеф дна в русле Катунь изменился таким образом, что стал направлять часть водного потока в сто-

рону правого берега, то необходимо выполнить определенную расчистку русла реки; причем характер расчистки, места изъятия грунта и мощность изымаемых отложений, а также места их предполагаемой утилизации (использования) определяются только в результате дополнительных изысканий.

Поскольку в настоящее время вдоль правого размываемого берега в русле р. Катунь образовалось мощное стабильное вихревое противотечение (вытянутая вдоль берега воронка), то ее требуется ликвидировать. Вероятная причина этой воронки косвенно обусловлена неблагоприятным рельефом дна русла, однако прямое воздействие вызывается находящейся ниже по течению каменной грядой, поднимающейся со дна русла и частично перекрывшей сток водного потока (его живое сечение). Ее каменные останцы выступают из воды в меженные периоды стока водотока. Поэтому необходимо засыпать плесовую яму этой воронки (каменными монолитами), а также возможно убрать из русла Катунь каменные останцовые островки или в целом всю гряду из русла тем или иным способом.

Уже случившийся размыв правого берега р. Катунь у с. Манжерок требует не только восстановления прежней гидроморфологической ситуации, но и мероприятий гидротехнического характера, которые вообще не позволяют этому вновь повториться здесь. Наиболее простой и доступный вариант – отсыпка мощной защитной дамбы, высота которой должна превышать наивысшие уровни воды максимального паводочного стока, формирующегося раз в 100-200 лет.

Поскольку на участок берега с этой предполагаемой дамбой выходит сток воды руч. Манжерокского, то придется решать вопрос с его какой-то регуляцией. Конечно, есть вариант пропуска стока ручья через толщу тела защитной дамбы (по низу), но он с точки зрения эксплуатации сооружения крайне неже-

лателен и вот почему. По этому ручью не только в паводки и половодья, но и в межень с водосбора несет много мусора и древесного материала (карчеход), который будет постоянно забивать пропускное отверстие стока воды через дамбу и, в конечном итоге, подтоплять скапливающейся водой прилегающую жилую инфраструктуру населенного пункта.

Практически такая же ситуация будет наблюдаться с другой стороны дамбы, т.е. со стороны речного водного потока, который тоже в паводки несет много карча и мусора. Кроме того, здесь наверняка будут наблюдаться явления подпора стока ручья со стороны р. Катунь, причем на длительный срок.

В качестве оптимального варианта по ручью можно рассмотреть глобальное решение о перенаправлении стока руч. Манжерокского в оз. Манжерок-

ское, что позволит восстановить озеро до прежнего природного состояния. Причем водоем будет регулярно подпитываться свежей водой, сток которой можно будет пропускать через ныне существующий технический водоем и дальше по руч. Озерному в р. Едрала, впадающую в Катунь.

И, наконец, есть вариант вообще перепустить часть (или весь) стока р. Катунь у с. Манжерок по другому направлению, частично отодвинув его от населенного пункта в левую береговую зону, что кардинально решит вопрос о размывах правого берега, занятого селитебной застройкой. Для этого надо будет расчистить ныне существующее русло Катунь вдоль левого берега водотока, срыть находящийся там выступающий мыс, и тогда часть (или вся) воды будет обходить выступающие со дна каменные острова с другой стороны.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (номер государственной регистрации проекта – АААА-А17-117041210241-4).

Список литературы

1. Новиков И.С. Морфотектоника Алтая. – Новосибирск: Изд-во СО РАН филиал «Гео», 2004. – 313 с.
2. Люцигер А.Ю. Аномальный паводок 2014 года на Алтае // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии: тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием. – Барнаул: ИВЭП СО РАН, 2014. – С. 118-129.
3. Зиновьев А.Т., Кошелев К.Б., Дьяченко А.В., Колomeйцев А.А Экстремальный дождевой паводок 2014 г. в бассейне Верхней Оби: причины, прогноз и натурные наблюдения // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2015. – № 6. – С. 93-104.
4. Комлев А.М., Титова Ю.В. Формирование стока в бассейне р. Катунь. – Новосибирск: Изд-во Наука, 1966. – 155 с.
5. Русанов Г.Г., Важов С.В. Нерешенные проблемы озер Манжерокское и Ая. – Бийск: АГГПУ им. В.М. Шукшина, 2017. – 168 с.
6. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. - М.: КРАСАНД, 2011. – 906 с.

References

1. Novikov I.S. Morfotektonika Altaya. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN filial «Geo», 2004. – 313 s.
2. Lyutsiger A.Yu. Anomalny pavodok 2014 goda na Altaye // Vodnye i ekologicheskiye problemy Sibiri i Tsentralnoy Azii: tr. Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiyem. – Barnaul: IVEP SO RAN, 2014. – S. 118-129.
3. Zinovyev A.T., Koshelev K.B., Dyachenko A.V., Kolomeytsev A.A Ekstremalny dozhdevoy pavodok 2014 g. v basseynе Verkhney Obi: prichiny, prognoz i naturnye na-

blyudeniya // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye. – 2015. – № 6. – С. 93-104.

4. Komlev A.M., Titova Yu.V. Formirovaniye stoka v basseynе r. Katun. – Novosibirsk: Izd-vo Nauka, 1966. – 155 s.

5. Rusanov G.G., Vazhov S.V. Nereshennyye problemy ozer Manzherokskoye i Aya. – Bysk: AGGPU im. V.M. Shukshina, 2017. – 168 s.

6. Chalov R.S. Ruslovedeniye: teoriya, geografiya, praktika. T. 2: Morfodinamika rechnykh rusel. – M.: KRASAND, 2011. – 906 s.

ASSESSMENT OF CURRENT HYDRO-MORPHOLOGICAL SITUATION ON THE KATUN RIVER AT MANZHEROK VILLAGE (REPUBLIC OF ALTAI)

A.T. Zinoviev, A.I. Bulgakov, K.V. Marusin

Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: zinoviev@iwep.ru

Extreme rainfalls in the Altai Mountains (2014) responsible for exceptional by water content floods throughout the Republic of Altai (including the Katun River) sharply increased the rate and scale of eroding the right bank of the Katun River nearby Mazherok village. As a result, the coast is almost approaching the residential infrastructure of the settlement. Its further retreat can lead to catastrophic consequences not only for village residents (collapse of residential buildings located at the Katun bank), but also for the infrastructure of federal significance (erosion of the road «Chuysky Tract», damage to overhead networks and cable communication lines). The paper considers the current hydromorphological situation on this river section and discusses the causes and possible countermeasures to negative river channel processes occurring at Manzherok village.

Key words: Katun river, Manzherok village, river channel processes, coast erosion.

Received December 2, 2020

ВЕРИФИКАЦИЯ ОДНОГО ИЗ МЕТОДОВ ПРОГНОЗА РАЗМЫВА БЕРЕГОВ РЕК ПО ДАННЫМ НАТУРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ВЕРХНЕЙ ОБИ

К.В. Марусин, А.В. Дьяченко, А.А. Коломейцев, А.А. Вагнер
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: kat@iwep.ru

Метод прогноза размыва берегов рек, представленный в «Рекомендациях по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства», верифицируется по данным десятилетних регулярных наблюдений на участке р. Обь в 50-ти километрах ниже г. Барнаула. Показано, что данный метод существенно занижает значение средней скорости отступления бровки берега. Результат верификации ставит под сомнение заявленный универсальный характер метода. Вопрос о его применимости требует дополнительного изучения.

Ключевые слова: прогноз размыва берегов рек, отступление бровки берега, меандрирование, натурные наблюдения, Обь, Барнаул.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15905

Дата поступления 25.11.2020

В нормативно-методической литературе, используемой при проектировании различных объектов и мероприятий в руслах рек и в их прибрежной зоне, можно выделить два основных подхода к прогнозированию размыва берегов. Первый подход предполагает типизацию рассматриваемого участка русла, т.е. отнесение его к одному из известных типов руслового процесса (в терминологии [1]) или типов русла (в терминологии [2]). Затем, используя общие закономерности развития русла, характерные для данного типа, прогноз делается путем экстраполяции имеющихся ретроспективных данных о его конфигурации и рельефе [3-4]. При реализации этого подхода основной проблемой является наличие ретроспективных данных в достаточном для надежного прогноза количестве. На участках рек, где имеет место интенсивное судоходство, русло находится под постоянным контролем органов, обеспечивающих функционирование водного пути. В остальных же случаях регулярные и подробные данные об эволюции русла, как правило, отсутствуют. Ценным источ-

ником информации о развитии русла являются крупномасштабные топографические карты разных лет, но доступ к ним крайне ограничен. Данные же космической съемки стали поступать в широкий оборот лишь сравнительно недавно. Кроме того, в силу бесконечного разнообразия проявлений руслового процесса не всегда удастся с достаточной определенностью отнести рассматриваемый участок русла к одному из известных типов.

Поэтому весьма притягательным для инженеров-практиков является иной, чисто детерминистический подход, представленный в [5]. Он заключается в использовании расчетных формул для определения величины отступления бровки берега за нужный период (или средней скорости ее отступления) в зависимости от морфологии поперечного сечения русла, параметров грунта, слагающего размываемый береговой склон, и характеристик гидрологического режима реки. Предложенные расчетные формулы *«отличаются простотой, не требуют большого объема полевых изысканий, а также данных об измене-*

нии берега за предшествующий период» [5, стр. 3]. Как указывают авторы, метод «применим на меандрирующих реках, имеющих половодье, при условии сложения берега аллювиальными породами и расположении его в непосредственной близости к основному меженному руслу реки» [5, стр. 3]. Никаких других условий, ограничивающих его применимость, не приводится. В данной статье метод прогноза размыва берегов рек, предложенный в [5], верифицируется по данным десятилетних регулярных наблюдений на участке реки Обь, расположенном у с. Барсуково, в 50-ти км ниже г. Барнаула, между устьями рек Касмала и Чумыш (рис. 1).

Все приводимые далее отметки высот уреза воды и рельефа русла даны в условной системе (усл.), ноль которой совпадает с нулем гидрологического поста Барнаул Росгидромета.

Метод прогноза размыва берега

В [5] величина отступления бровки размываемого берега реки (X , м) в выбранном расчетном створе за половодье одного конкретного года определяется следующей формулой:

$$X = k_1 k_2 k_3 \frac{\rho_w (H_{cp} + h_1)}{\rho (H + h_1)} (B - 2B_1) \quad (1)$$

где – k_1 коэффициент асимметрии русла; k_2 – коэффициент размываемости берега; k_3 – коэффициент увлажнения грунтов берега; ρ_w, ρ – соответственно, плотность воды и грунта, слагающего береговой склон, т/м³; H_{cp} – средняя глубина русла, м; h_1 – высота пика половодья, м; H – наибольшая глубина, м; h – высота берега, м; B – ширина русла, м; B_1 – ширина части русла от линии наибольших глубин потока до размываемого берега, м.

Входящие в формулу (1) коэффициенты определяются следующим образом:

$$k_1 = [B_1 / (B - B_1)]^2 \quad (2)$$

$$k_3 = h_1 / h \quad (3)$$

$$k_2 = \frac{1}{2h} [(h_1 - h_0) + (t_1/t)[h_0 - h_2]] \quad (4)$$

где h_0, h_2 – высота уровня воды, соответственно, при вскрытии ледяного покрова и по окончании половодья, м; t_1 – продолжительность подъема половодья от вскрытия реки до наступления пика половодья, сутки; t – продолжительность периода от вскрытия реки до окончания половодья, сутки.

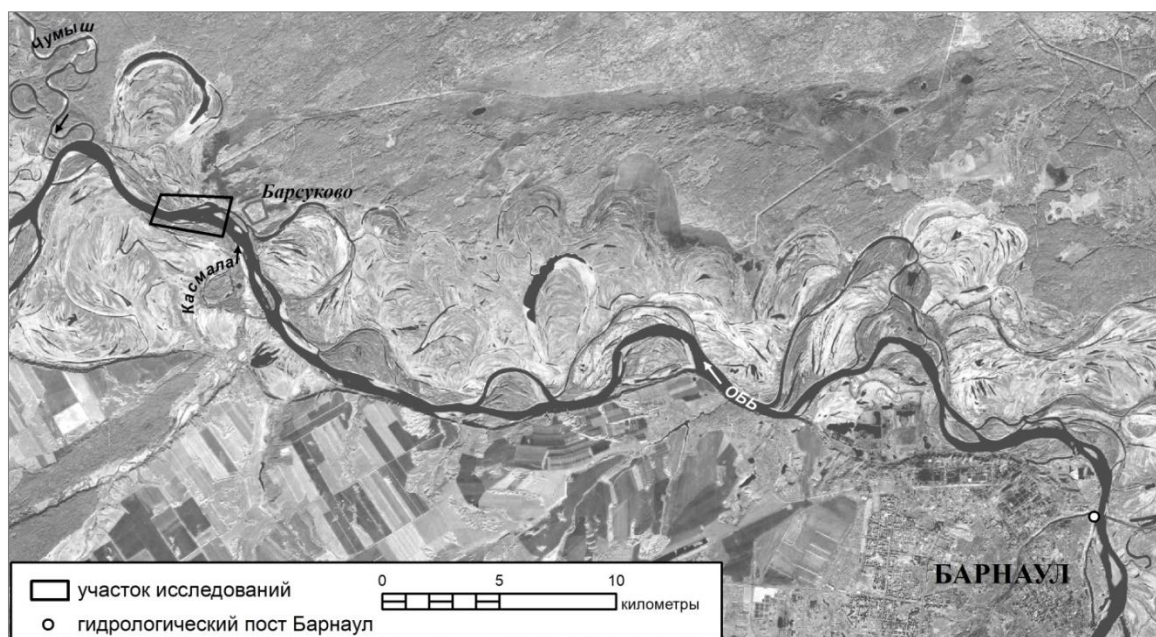


Рис. 1. Местоположение участка натурных наблюдений за размывом берегов на р. Обь. Снимок спутника LandSat, дата съемки – 10 октября 2019 г.

При определении величины отступления бровки берега по формуле (1) за уровень отсчета входящих в нее параметров принят уровень воды 50 %-й обеспеченности в расчетном створе. Схема поперечного профиля русла с указанием этих параметров приведена на рисунке 2.

В силу значительной изменчивости гидрологического режима реки от года к году, формула (1) носит методический, оценочный характер, что признается и самими авторами. Она лишь демонстрирует общий подход к решению задачи.

С практической точки зрения для прогноза на среднесрочную перспективу (20 – 25 лет) важно иметь оценку средней многолетней скорости отступления бровки берега ($X_{\text{ср}}$, м/год). Для этого в [5] рекомендуется использовать следующую формулу:

$$X_{\text{ср}} = mq \frac{\rho_w (H_{\text{ср}} + h_1)}{\rho (H + h)} B \quad (5)$$

Фактически, формула (5) есть та же самая формула (1), в которой значения характерных высот и продолжительностей половодья (h_0 , h_1 , h_2 , t , t_1) относятся к средним многолетним величинам. Входящие в нее параметры m и q представляют собой произведения вида:

$$m = k_1 \left(1 - 2 \frac{B_1}{B}\right), \quad q = k_2 k_3 \quad (6)$$

Натурные наблюдения

Начиная с 2010 г. ежегодно на участке р. Обь, расположенном у с. Барсуково (протяженность – 2,8 км),

выполняется комплекс наблюдений за ходом руслового процесса. Сугубо практическая цель этого комплекса – обеспечение безопасности правобережной опоры высоковольтной линии электропередачи (ЛЭП) (рис. 3).

У с. Барсуково река Обь, текущая на северо-запад, поворачивает на запад, а затем возвращается на прежнее направление, образуя локальный изгиб русла. Участок натурных наблюдений охватывает вершину и нижнее крыло этого изгиба. Значительная часть русла на участке занята областью относительно малых глубин – Барсуковским перекатом. Эта область простирается в виде гряды от правого берега к левому под острым углом к направлению течения. Вдоль правого берега, начиная от подножия склона переката, пролегает относительно узкая и глубокая плёсовая ложбина, которая постепенно расширяется вниз по течению. Соответственно, линия речного фарватера переходит от левого берега через седловину (перевал) переката к правому берегу, следует по правобережной ложбине и затем вновь возвращается к левому берегу. Пойма реки в рассматриваемом районе – двухсторонняя, широкая. Берега, в основном, крутые, местами обрывистые, возвышающиеся над меженным урезом воды на 3-4 м. На левом берегу в пределах участка прибрежная полоса покрыта плотными зарослями деревьев и кустарников. На правом берегу древесно-кустарниковые массивы более редкие, чередуются с обширными луговыми полянами.



Рис. 2. Схема поперечного профиля русла с указанием параметров, входящих в формулу (1)

Ежегодный комплекс работ на участке включает в себя рекогносцировочное обследование берегов, русловых форм и прилегающей территории пойменного массива, промеры глубин, трассировку пространственного положения бровки берегов и уреза воды навигационным GPS-приемником, а

также наблюдения за отступанием бровки правого берега реки в опорных створах (рис. 3б). Кроме того, в ходе работ выполняются измерения отметки уровня воды на временном посту свайного типа, расположенном на линии опорного створа № 1. Пост имеет привязку к Балтийской системе высот.

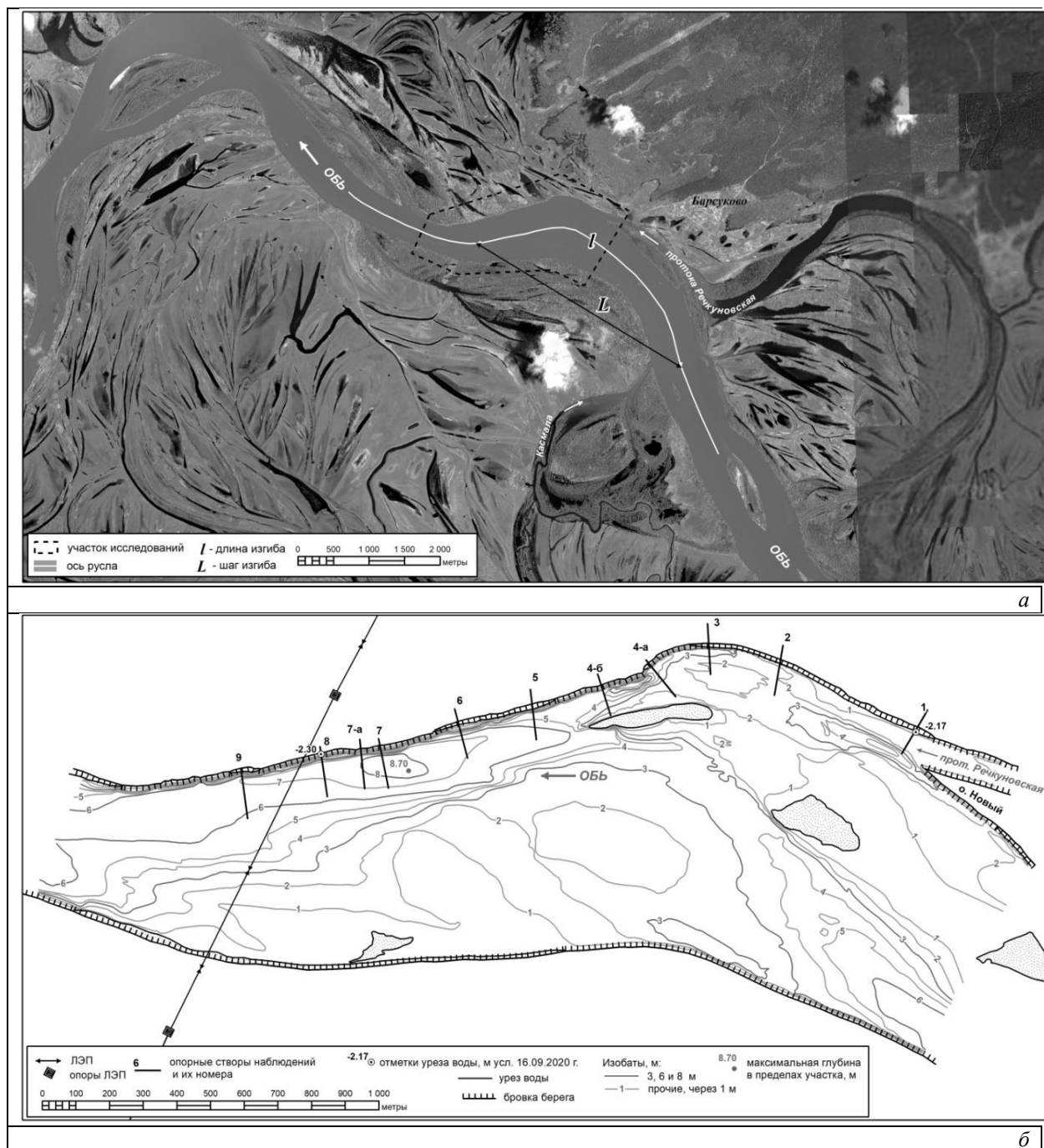


Рис. 3. Участок натурных наблюдений на р. Обь у с. Барсуково:
а – общий вид участка - коллаж спутниковых снимков из коллекции Google Digital Globe, дата съемки – 03 июня 2013 г.; б – рельеф русла на участке по состоянию на сентябрь 2020 г.

Весь комплекс наблюдений проводился в течение двух дней, в один и тот же период времени (вторая декада сентября), т.е. в гидрологических условиях осенней межени. Поскольку в осенне-зимний период в силу относительной малости расходов воды русловые перестроения практически не происходят, результаты наблюдений отражают состояние русла на конец каждого года.

Помимо основного осеннего комплекса наблюдений ежегодно в период половодья (конец мая – начало июня) проводится предварительное рекогносцировочное обследование участка, в ходе которого также выполняются измерения уровня воды на временном посту.

По данным наблюдений правый берег от устья протоки Речкуновская до поворота береговой линии ниже створа перехода ЛЭП размывается и непрерывно отступает вглубь суши, причем интенсивность размыва нарастает вниз по течению. Левый берег на участке испытывает заметный размыв лишь в его верхней части – выше локального изгиба береговой линии. Остальной сегмент берега размывается весьма слабо. В центральной и нижней части сегмента бровку левого берега можно считать практически стабильной.

Подробное описание и анализ эволюции русла в целом на рассматриваемом участке выходят за рамки данной статьи. Здесь лишь отметим, что в зависимости от водности конкретного года и притока наносов с вышележащего участка реки нижний склон переката смещается то вниз, то вверх по течению. Например, в 2010 г. линия фарватера подходила к правому берегу между опорными створами № 6 и № 7 (см. рис. 3б), в 2011 и 2015 гг. точка подхода располагалась ниже створа перехода ЛЭП – в окрестности створа № 9, а в 2020 г. седловина переката заняла крайнее верхнее (по течению) положение за все время наблюдений. В ходе этих перемещений склона переката существенно изменяется конфигурация левобе-

режной отмели, правобережной ложбины и других элементов рельефа русла. Так площадь надводной части островка, расположенного у правого берега между створами № 3 и № 5 (см. рис. 3б), при одинаковой отметке уровня воды в 2014 г. составляла 39,4 га, а в 2019 г. – 7,5 га. Правобережная ложбина то заполняется наносами, то вновь промывается, однако как показывают наблюдения, глубины в ней постепенно уменьшаются. Можно сказать, что в нижней половине участка в окрестности створа перехода ЛЭП происходит медленное обмеление русла и его расширение.

К настоящему времени на участке развернуто 11 створов для наблюдения за отступанием бровки правого берега. Большинство из них было организовано в сентябре 2010 г. Створы № 4-а и № 4-б были устроены в 2011 г. взамен разрушенного первоначального створа № 4, а створ № 7-а – в 2012 г. Каждый створ закреплен на местности системой реперов. Два репера (основных) задают измерительную линию створа, перпендикулярную линии берега, остальные реперы (вспомогательные) служат для восстановления этой линии в случае утраты одного из основных реперов (рис. 4а).

Методика наблюдений достаточно проста. Две вешки устанавливаются на основных реперах опорного створа, определяющих его направление (рис. 4б), а затем в створе этих двух вешек мерной лентой (фибергласовой рулеткой длиной 50 м) измеряется расстояние по приблизительно горизонтальной линии от ближнего к берегу репера (базового) до бровки с точностью до 1 см (рис. 4в).

Разность значений текущего и прошлогоднего измерений дает величину отступления бровки берега в створе за год. При этом значения отступления, лежащие в пределах от 0,01 до 0,2 м (а также отрицательные), рассматриваются как нулевые, поскольку они находятся в пределах погрешности измерений. Эта

погрешность обусловлена, в основном, двумя факторами. Во-первых, негоризонтальностью линии измерения расстояний, поскольку это условие проверяется «на глаз». Во-вторых, неопределенностью в идентификации положения самой бровки берега. Не всегда на бровке имеется резкий перелом уклона поверхности суши, кроме того это место может быть закрыто травой или кустарником, а также завалено обломками деревьев. Тем не менее, как показывает опыт, сколько-нибудь значимые явления разрушения берега регистрируются данным методом вполне удовлетворительно. Результаты наблюдений за отступанием бровки берега в опорных створах представлены в таблице 1.

Верификация метода прогноза размыва берега



Рис. 4. Иллюстрации к методике наблюдений за отступанием бровки берега:
а – схема опорного створа № 2; б – вешки на основных реперах створа № 4-а, вид в сторону реки;
в – измерение расстояния от базового репера до бровки берега на створе № 3.

Таблица 1

Отступление бровки берега по линиям опорных створов за год, м

Створ	Год										Среднее, м/год	Сумма, м
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
1	0,00	0,00	0,63	0,00	0,99	0,00	1,65	0,74	0,00	0,00	0,40	4,01
2	1,70	2,70	2,04	0,00	1,23	1,20	0,36	0,85	1,15	0,00	1,12	11,23
3	2,43	1,10	3,39	3,30	2,35	3,25	1,97	5,37	0,73	0,72	2,46	24,61
4-а	—	0,00	2,63	0,00	0,00	2,40	0,00	3,90	4,24	4,86	2,00	18,03
4-б	—	0,00	0,95	0,95	1,10	0,50	1,35	0,67	0,95	2,20	0,96	8,67
5	0,00	0,00	1,55	3,45	1,50	1,45	1,22	1,93	0,00	0,00	1,11	11,10
6	0,00	0,45	0,64	1,63	1,13	1,33	1,57	1,10	0,00	0,96	0,88	8,81
7	1,02	2,10	2,50	5,78	0,70	5,55	0,00	1,58	0,50	0,70	2,04	20,43
7-а	—	—	1,03	3,33	1,24	3,90	1,75	1,91	6,80	0,00	2,50	19,96
8	0,00	4,85	4,05	9,35	2,04	7,40	2,16	6,89	6,09	1,39	4,42	44,22
9	3,24	0,00	13,47	0,00	5,35	8,60	5,13	3,64	6,33	1,22	4,70	46,98

Примечание: створы № 4-а и 4-б развернуты в 2011 г., створ № 7-а – в 2012 г.

Минимальное значение степени развитости (I/L), необходимое для отнесения изгиба русла к излучине – 1,15 [7]. Присущие излучине морфологические элементы русла здесь также имеются: выпуклый размываемый левый берег в верхнем крыле изгиба, т.е. ниже устья р. Касмала, вогнутый размываемый правый берег в нижнем крыле изгиба, т.е. на участке наблюдений, а также пережат, пересекающий русло под углом от вершины изгиба к выпуклому берегу. Для свободной сегментной из-

лучины, находящейся на ранней стадии развития, характерно ее постепенное смещение вниз по течению, что предполагает размыв правого берега в нижнем крыле изгиба.

Поскольку необходимые условия применимости метода, изложенного в [5], выполняются, определим по формуле (5) среднегодовую скорость отступления бровки берега реки Обь у правобережной опоры ЛЭП, расположив расчетный створ на линии опорного створа № 8 (рис. 5).

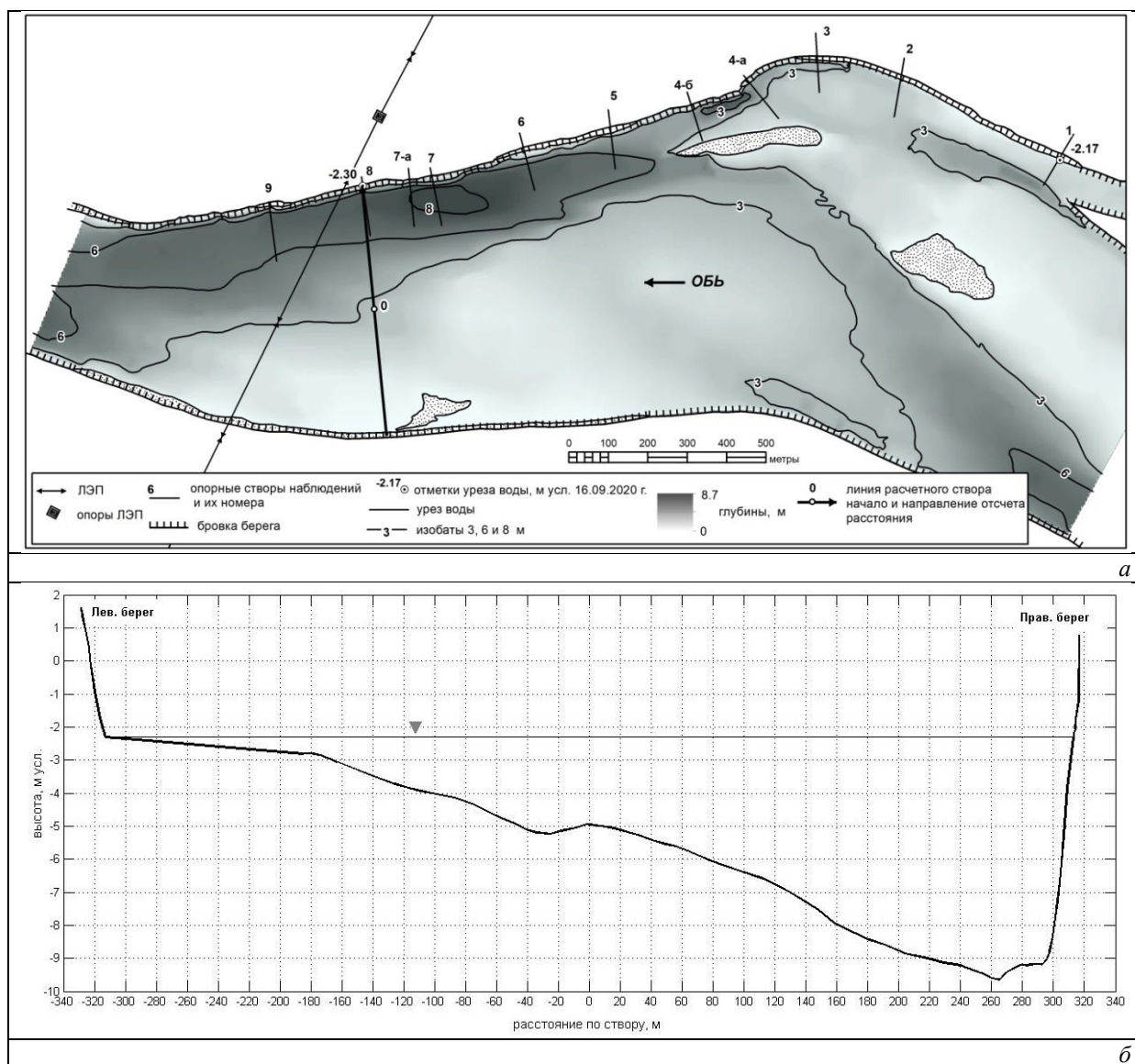


Рис. 5. Расчетный створ для определения среднегодовой скорости отступления бровки берега:

а – местоположение створа; б – поперечный профиль русла в расчетном створе по результатам съемки, выполненной 16.09.2020 г.

Поскольку многолетние ежедневные гидрологические наблюдения за уровнями и расходами воды в расчетном створе, разумеется, не велись, для определения значений необходимых расчетных параметров придется воспользоваться данными ближайшего гидрологического поста Барнаул, расположенного в 50-ти км выше по течению реки (рис. 1). Вначале они будут найдены для этого поста, а затем с использованием данных наблюдений за уровнем воды на рассматриваемом участке будет сделан переход непосредственно к расчетному створу.

Интервал времени, на котором будут рассматриваться данные по посту Барнаул, примем равным общей продолжительности наблюдений за отступанием берега на опорном створе № 8. Створ был заложен 14 сентября 2010 г. Последнее наблюдение за отступанием бровки берега в этом створе произведено 15 сентября 2020 г. Таким образом, рассматриваемый период составил 10 лет.

Ежедневные данные о расходах и уровнях воды по гидрологическому посту Барнаул, а также о датах вскрытия реки, получены из [8-9]. Дата вскрытия

реки соответствует началу ледохода, пик половодья – дате максимального расхода воды. Моментом окончания половодья считается дата, когда интенсивное уменьшение расходов воды сменяется замедленным [10].

Значение уровня воды 50 %-й обеспеченности определялось по формуле эмпирической вероятности превышения гидрологической характеристики из [11]. Если ежедневные данные об уровне воды на посту Барнаул за выбранный интервал времени (2010-2020), общим числом 3626 (в источниках имеются некоторые пропуски), расположить в убывающем по значению порядке, то искомая величина 50 %-й обеспеченности будет лежать между 1813-м и 1814-м членами ряда. В данном случае значения обоих членов ряда совпадали и равнялись 1,04 м.

Значения параметров (h_0 , h_1 , h_2 , t , t_1) в формулах для расчета среднеегодовой скорости отступления бровки берега (5, 6, 4, 3), определенные по данным гидрологического поста Барнаул на выбранном интервале времени, приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значения параметров в формулах для расчета среднеегодовой скорости отступления по данным гидрологического поста Барнаул, 15.09.2010 – 15.09.2020 г.*

Год	Вскрытие		Пик половодья		Окончание половодья		t , сут.	t_1 , сут.	h_0 , м	h_1 , м	h_2 , м
	дата	уровень воды, м усл.	дата	уровень воды, м усл.	дата	уровень воды, м усл.					
2011	13.04	2,46	23.04	5,45	26.07	1,46	104	10	1,42	4,41	0,42
2012	10.04	1,37	09.05	2,74	05.07	1,54	86	29	0,33	1,70	0,50
2013	12.04	2,95	30.06	5,56	20.07	3,51	99	79	1,91	4,52	2,47
2014	01.04	2,02	08.06	6,98	28.07	2,27	118	68	0,98	5,94	1,23
2015	14.04	1,85	05.05	6,03	08.07	2,85	85	21	0,81	4,99	1,81
2016	05.04	3,50	22.06	5,98	20.07	3,23	106	78	2,46	4,94	2,19
2017	12.04	2,84	23.05	5,46	01.08	1,82	111	41	1,80	4,42	0,78
2018	12.04	4,40	20.06	5,63	20.07	2,34	99	69	3,36	4,59	1,30
2019	11.04	3,97	08.06	4,63	28.07	1,79	108	58	2,93	3,59	0,75
2020	10.04	3,18	08.05	5,15	22.06	2,30	73	28	2,14	4,11	1,26
Среднее значение							99	48	1,81	4,32	1,27

Примечание: * – отметка уровня воды 50 %-й обеспеченности – 1,04 м усл.

Между гидрологическим постом Барнаул и рассматриваемым расчетным створом нет крупных притоков. Следовательно, можно предполагать, что в расчетном створе общая продолжительность половодья (t) и продолжительность фазы подъема воды (t_1) – от вскрытия реки до наступления пика половодья совпадают со значениями, определенными для поста. Однако характерные отметки уровня воды для расчетного створа в принятой системе высот будут, очевидно, иметь иные, существенно меньшие, чем для поста, значения.

Как уже отмечалось выше, в течение всех 10-ти рассматриваемых лет на участке производились наблюдения за уровнем воды в р. Обь на временном посту, расположенном на линии опорного створа № 1 (рис. 5а), причем как в фазу межени, так и в условиях половодья. На рисунке 6 показана связь этих измерений с соответствующими значениями отметки уровня воды на посту Барнаул. Как видно из этих данных, перепад уровней между постами для различных гидрологических ситуаций весьма незначителен (в пределах 5 %, ± 20 см) варьирует около величины 4 м. Данный факт есть проявление фунда-

ментального свойства статистически устойчивого речного потока сохранять в пределах протяженного участка средний уклон водной поверхности при колебаниях расходов воды [12]. Примем, что для всех гидрологических ситуаций разность отметок уровней воды между постом Барнаул и временным постом в опорном створе № 1 постоянна и равна ее среднему значению из данных наблюдений – 4,01 м.

Расчетный створ расположен на 1600 м ниже по течению от временного поста (см. рис. 5а). О величине падения уровня воды на данном отрезке русла можно судить лишь по синхронным измерениям его отметок в расчетном створе и на временном посту, выполненным 16 сентября 2020 г. Разность отметок уровня составила 0,13 м. Очевидно, что полученное значение не является постоянным. Оно зависит от расходов воды и текущей конфигурации рельефа русла. Однако исходя из опыта, можно полагать, что изменчивость значения разности уровней невелика, не более ± 10 см. Поэтому, будем полагать полученное значение 0,13 м также постоянным для всех гидрологических ситуаций.

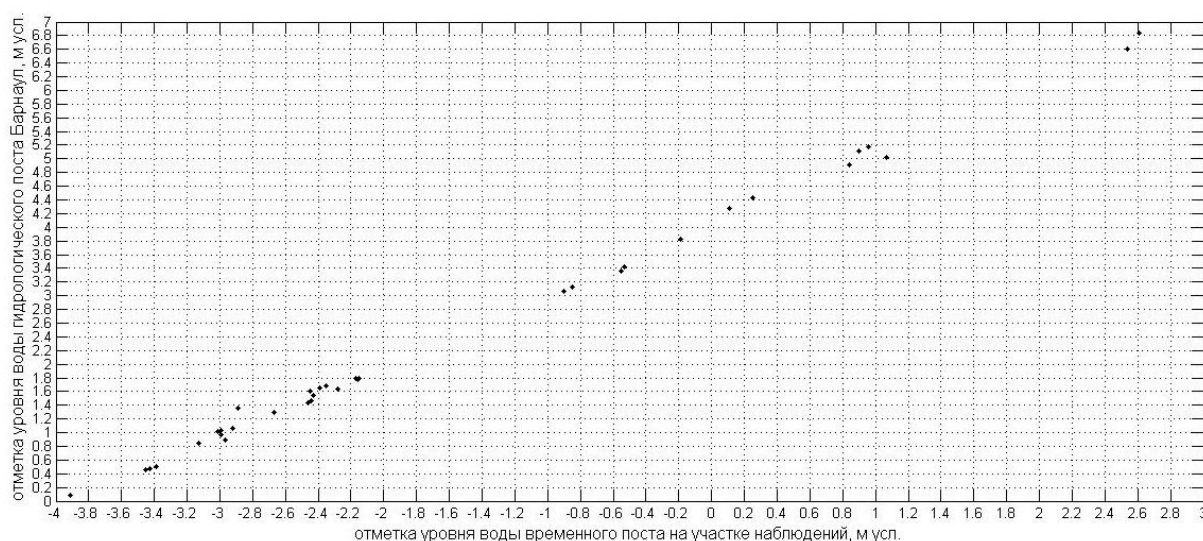


Рис. 6. Связь отметок уровня воды на участке наблюдений с соответствующими значениями на гидрологическом посту Барнаул

С учетом этих предположений уровень воды 50 %-й обеспеченности в расчетном створе равняется $-3,1$ м в принятой условной системе высот. Поскольку параметры h_0 , h_1 , h_2 суть разности отметок уровней воды, их значения для гидрологического поста Барнаул и расчетного створа будут одинаковыми. Значения расчетных параметров, характеризующих поперечный профиль русла в расчетном створе и зависящих от отметки уровня воды 50 %-й обеспеченности, приведены в таблице 3.

Грунт размываемого берегового склона в расчетном створе по своему составу неоднороден. Верхняя почти

отвесная часть склона (клиф) сложена сцементированным пористым суглинком, нижняя часть (от подножия клифа до уреза) – песком. В формуле (5) величина плотности грунта (ρ) характеризует среднюю плотность, полученную для всего берегового склона. Для определения этого параметра из разных мест берегового склона в расчетном створе были отобраны 4 пробы грунта (рис. 7). Пробы отбирались и анализировались средствами полевой лаборатории Литвинова (ПЛЛ-9). Результаты определения плотности грунта приведены в таблице 4. Плотность воды примем равной $1,0 \text{ т/м}^3$.

Таблица 3

Значения параметров, характеризующих поперечный профиль русла в формулах для расчета среднесуточной скорости отступления бровки берега*

Наименование	Обозначение	Значение
Ширина русла, м	B	471,34
Ширина части русла от линии наибольших глубин потока до размываемого берега, м	B_1	45,74
Наибольшая глубина, м	H	6,55
Площадь живого сечения потока, м^2	S_w	1534,13
Средняя глубина (S_w/B), м	$H_{\text{ср}}$	3,25
Высота берега, м	h	3,89

Примечание: * – отметка уровня воды 50 %-й обеспеченности в расчетном створе $-3,10$ м усл.



Рис. 7. Размываемый береговой склон в расчетном створе:

1-4 – точки отбора проб для определения плотности грунта.

Для окончательного расчета и дальнейшего анализа полученного результата представим формулу (5) в следующем виде:

$$X_{\text{ср}} = mqrpB,$$

$$\text{где } r = \frac{(H_{\text{ср}} + h_1)}{(H + h)}, p = \frac{\rho_w}{\rho} \quad (7)$$

Значения входящих в формулу (7) параметров (m , q , r , p), вычисленные по данным из таблиц 2-4, а также полученное в итоге значение средней многолетней скорости отступления бровки берега ($X_{\text{ср}}$, м/год) приведены в таблице 5.

Обсуждение результатов верификации

Как видно из таблиц 1 и 5, полученный прогноз средней скорости отступления бровки берега (0,9 м/год), как минимум, в четыре раза меньше натурного значения для створа № 8 (4,4 м/год). Такая величина расчетной скорости размыва более характерна для сегмента берега в верхней части участка, чем для достаточно интенсивно размываемой зоны в окрестности перехода ЛЭП. Более правдоподобным, в свете имеющихся данных наблюдений, было бы значение примерно в 10 раз большее.

Следует отметить, что значение параметра m , описывающего асимметрию профиля русла, на порядок меньше величин всех остальных параметров (табл. 5). Вычислительная ошибка здесь

исключается, поскольку его величина была проверена по таблице значений функции $m=f(B_1/B)$, помещенной в [5].

В ходе расчетов был принят ряд допущений, однако по нашему мнению, они не могли существенно повлиять на полученный результат. Эти допущения затрагивали в основном гидрологические условия, а конечное значение, как видно из таблицы 5, определяется в основном величиной морфометрического параметра m . Были выполнены дополнительные расчеты, в которых значение уровня 50 %-й обеспеченности в расчетном створе варьировалось в пределах от -10 до +25 см от принятой первоначально величины. Однако они не привели к значимому изменению результата. Он существенно не меняется, даже если положить плотность грунта равную плотности воды.

Если исходить из физической сущности явления размыва, то чем больше асимметрия русла в сторону размываемого берега, т.е. чем меньше отношение B_1/B (см. рис. 2, 5), тем ближе стрежень потока подходит к береговому склону, и, тем более интенсивным должно быть его отступление. Однако значение параметра m с уменьшением величины B_1/B также уменьшается. Обратная зависимость, как видно из соответствующей таблицы, приведенной в [5], начинает проявляться только при значениях B_1/B больше или равных 0,38.

Таблица 4

Результаты определения плотности грунта берегового склона в расчетном створе

Номер и место отбора	Тип грунта	Плотность, т/м ³
1 – клиф, верхняя часть	суглинок сухой	1,23
2 – клиф, средняя часть	суглинок сухой	1,40
3 – подножие клифа	песок речной сухой	1,41
4 – приурезовая полоса	песок речной влажный	1,45
Среднее значение		1,372

Таблица 5

Результаты расчета среднемноголетней скорости отступления бровки берега ($X_{\text{ср}}$) по формуле (7)

m	q	r	p	B , м	$X_{\text{ср}}$, м/год
0,0093	0,3957	0,7251	0,7287	471,34	0,92

Таким образом, результаты проведенной верификации заставляют усомниться в универсальном характере методики прогноза размыва берегов равнинных рек, представленной в [5]. По

нашему мнению, вопрос о ее применимости вообще и в условиях Верхней Оби, в частности, должен быть подвергнут дополнительному изучению.

Работа выполнена в рамках государственного задания (проект № 0383-2019-0003 «Изучение гидрологических и гидрофизических процессов в водных объектах и на водосборах Сибири и их математическое моделирование для стратегии водопользования и охраны водных ресурсов») и при финансовой поддержке гранта РФФИ «Прогнозирование опасных гидрологических ситуаций на участках речных водозаборов на основе математического моделирования и натурных исследований русловых процессов (на примере реки Обь у г. Барнаула)» (19-41-220001).

Список литературы

1. Кондратьев Н.Е., Попов И.В., Сنيщенко Б.Ф. Основы гидроморфологической теории руслового процесса – Л.: Гидрометеиздат, 1982. – 272 с.
2. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 1: Русловые процессы: факторы, механизмы, формы проявления и условия формирования речных русел. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 608 с.
3. Рекомендации по размещению и проектированию рассеивающих выпусков сточных вод. – М.: Стройиздат, 1981. – 224 с.
4. Учет деформаций речных русел и берегов водоемов в зоне подводных переходов магистральных трубопроводов (нефтепроводов). ВСН 163-83. – М., 1985.
5. Рекомендации по оценке и прогнозу размыва берегов равнинных рек и водохранилищ для строительства. – М.: Стройиздат, 1987. – 72 с.
6. Русловые процессы на реках Алтайского региона. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 244 с.
7. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. – М.: КРАСАНД, 2011. – 960 с.
8. Информационная система по водным ресурсам и водному хозяйству бассейнов рек России / ГИС-портал Центра регистра и кадастра [Электронный ресурс]. – URL: <http://gis.vodinfo.ru>.
9. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [Электронный ресурс]. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru>.
10. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты: учеб. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 366 с.
11. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003 / Госстрой России. – М., 2004. – 75 с.
12. Гришанин К.В. Основы динамики русловых потоков: учеб. – М.: Транспорт, 1990. – 320 с.

References

1. Kondratyev N.E., Popov I.V., Snishchenko B.F. Osnovy gidromorfologicheskoy teorii ruslovogo protsessa – L.: Hidrometeoizdat, 1982. – 272 s.
2. Chalov R.S. Ruslovedeniye: teoriya, geografiya, praktika. T. 1: Ruslovye protsessy: faktory, mekhanizmy, formy proyavleniya i usloviya formirovaniya rechnykh rusel. – M.: Izd-vo LKI, 2008. – 608 s.
3. Rekomendatsii po razmeshcheniyu i proyektirovaniyu rasseivayushchikh vypuskov stochnykh vod. – M.: Stroyizdat, 1981. – 224 s.

4. Uchet deformatsy rechnykh rusel i beregov vodoyemov v zone podvodnykh perekhodov magistralnykh truboprovodov (nefteprovodov). VSN 163-83. – M., 1985.
5. Rekomendatsii po otsenke i prognozu razmyva beregov ravninnykh rek i vodokhranilishch dlya stroitelstva. – M.: Stroyizdat, 1987. – 72 s.
6. Ruslovyie protsessy na rekakh Altayskogo regiona. – M.: Izd-vo MGU, 1996. – 244 s.
7. Chalov R.S. Ruslovedeniye: teoriya, geografiya, praktika. T. 2: Morfodinamika rechnykh rusel. – M: KRASAND, 2011. – 960 s.
8. Informatsionnaya sistema po vodnym resursam i vodnomu khozyaystvu basseynov rek Rossii / GIS-portal Tsentra registra i kadastra [Elektronnyy resurs]. – URL: <http://gis.vodinfo.ru>.
9. Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh obyektov (AIS GMVO) [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru>.
10. Vladimirov A.M. Gidrologicheskiye raschety: ucheb. – L.: Gidrometeoizdat, 1990. – 366 s.
11. Opredeleniye osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. SP 33-101-2003 / Gosstroy Rossii. – M., 2004. – 75 s.
12. Grishanin K.V. Osnovy dinamiki ruslovykh potokov: ucheb. – M., 1990. – 320 s.

VERIFICATION OF THE METHOD FOR PREDICTING RIVER BANK EROSION BY THE FIELD DATA COLLECTED IN THE OB RIVER UPPER REACH

K.V. Marusin, A.V. Dyachenko, A.A. Kolomeytsev, A.A. Wagner
Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: kat@iwep.ru

The method considered provides a set of simple equations to calculate the bank retreat value or rate of erosion depending on the channel cross-section parameters, hydrological conditions and coastal soil characteristics. It is declared that the method is applicable to low-land meandering rivers. The method is tested by the results of regular field observations of a river bank erosion process conducted in the meandering section of the Ob River over ten years. It is shown that the method underestimates a value of the mean annual bank retreat rate significantly.

Key words: river bank erosion, river bank retreat, prediction of river bank erosion, predicting method, verification, meandering, field observations, Ob River upper reach.

Received November 25, 2020

УДК 910.3

СОВРЕМЕННОЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕРА БАСКУНЧАК

Ш.Р. Поздняков, Е.В. Иванова, А.Е. Лапенков, А.В. Гузева, А.В. Ревунова
Институт озераедения РАН, Санкт-Петербург, E-mail: tbgmaster@mail.ru

Озеро Баскунчак имеет уникальный набор гидрологических и гидрохимических характеристик, что требует учета при любых расчетах водного баланса, натурных исследованиях, моделировании и прогнозировании процессов. В работе показана необходимость такого учета при оценке водного баланса озера. Кроме того, выделяющаяся соленость озера позволяет рассматривать его как полигон для исследования процессов и закономерностей в водных объектах в расширенном диапазоне характеристик.

Ключевые слова: озеро Баскунчак, водный баланс, испарение, минерализация озер, плотность воды, гидравлическая крупность.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15906

Дата поступления 23.11.2020

Благодаря наличию огромных запасов самосадочной соли озеро Баскунчак является важнейшим поставщиком этого продукта в Российской Федерации. Накопление соли в озере происходит благодаря уникальным физико-географическим и геологическим условиям в водосборном бассейне. К сожалению, на данный момент на оз. Баскунчак имеет место изменение естественного водного режима, при котором расходная составляющая баланса превышает приходную. Указанное изменение уже привело к существенному снижению его уровня воды и дальнейшее продолжение этой тенденции не допустимо. Это наглядно прослеживается в районе соледобычи – уровень воды в районе солевых выемов опускается ниже уровня солевого пласта на 60-70 см. (рис. 1).

В этой связи представляется очень важным детально рассмотреть элементы водного баланса данного водоема и причины, приводящие к его современному состоянию. Необходимо также учесть, что оценка водного баланса высокоминерализованного водоема имеет свои нюансы. В частности, при оценке расходной составляющей водного баланса, а именно испарения, не могут быть применены стандартные приемы, достаточные при проведении аналогичных работ на пресных озерах.

Целью данной работы являлось проведение сравнительного анализа оценок водного баланса оз. Баскунчак с учетом специфических особенностей этого высокоминерализованного водоема для прогноза тенденций его дальнейшего развития в современных условиях и принятия необходимых мер в случае развития неблагоприятного сценария.



Рис. 1. Снижение уровня воды ниже уровня солевого пласта оз. Баскунчак, сентябрь 2020 г.

Материалы и методы исследования

В соответствии с вышеуказанным исследование выполнено с использованием различных расчетных методов, в т.ч. учитывающих высокую минерализацию озера и особенности современного антропогенного воздействия на территорию.

Озеро Баскунчак находится в Ахтубинском районе Астраханской области. Площадь водоема составляет 106 км, максимальная длина – 18 км, ширина – 9,5 км. Абсолютная отметка соляной поверхности – 22,6 м ниже уровня мирового океана. По климатическим особенностям район озера относится к Аралокаспийской климатической провинции с ясно выраженными чертами полупустыни и континентального режима, небольшим количеством осадков, высокой испаряемостью, значительными суточными и сезонными колебаниями температуры, сильными сухими ветрами, пыльными бурями. По данным ВНИИГМИ-МЦД, средняя годовая температура воздуха в этом районе в период 1961-2019 гг. составляла 9,1°C, колеблясь в диапазоне от 6°C до 11°C. В течение года средняя суточная температура воздуха может изменяться от –30°C до +35°C. Температура поверхности почвы достигает летом +60°C, зимой может снижаться до –22°C. Наибольшая высота снежного покрова (18 см) наблюдается в конце января и начале февраля. Теплый период составляет около 7 месяцев (апрель-октябрь). Весна – малоснежная, теплая, лето – жаркое, сухое. Среднегодовая относительная влажность воздуха находится в пределах от 58 % до 71 %, составляя в среднем 65 %. Наибольшие значения средней месячной относительной влажности (70-80 %) отмечаются в холодный период года (ноябрь-март), а наименьшие (45-60 %) – в теплый период. Средняя многолетняя сумма осадков в период 1961-2019 гг. составляла 276 мм, изменяясь в значительных пределах: от 190 до 405 мм. Суточный максимум

осадков достигает 75 мм. Средняя годовая скорость ветра находится в диапазоне 2,5-4,3 м/с, при этом максимальные скорости в отдельные дни могут достигать 20-25 м/с.

В целом, многолетний водный баланс любого озера складывается из следующих компонентов: осадки на поверхность озера ($V_{осадки}$) и приток с водосбора ($V_{приток}$) – составляющие приходной части водного баланса; испарение ($V_{испарение}$) – составляющая расходной части баланса; невязка баланса ($V_{невязка}$), возникающая за счет неучтенных факторов; погрешности измерений и расчетов и т.д.

Гидрологический режим оз. Баскунчак в современный период в течение продолжительного периода года зависит в основном от изменения количества поступающих осадков на акваторию озера и величины испарения. Происходит это вследствие существенного антропогенного воздействия, поскольку поступление воды с поверхности водосбора купируется плотинами и задерживается дамбами, расположенными на основных притоках водоема (рис. 2). Данные сооружения были построены во второй половине XX в. – в период значительно большей водности, чем сейчас.

В частности, для р. Горькой – фактически основного притока оз. Баскунчак имеет место полное перекрытие поступления воды из ее бассейна в результате возведения в ее устье глухой плотины, перед которой образовалось замкнутое водохранилище (рис. 3). Как видно из рисунка, после наполнения данного водохранилища весной, уровень воды за летний период падает на 0,6-1 м в результате потерь на испарение. При этом через плотное тело плотины не наблюдается никакого просачивания, и перепад уровней выше и ниже плотины на р. Горькой составляет не менее 3 м.

Для других крупнейших притоков – Улан-Блага и группы Северных ручьев

– наблюдается значительное затруднение стока из-за возведенных в их нижнем течении дамб. Водопропускные отверстия в этих дамбах не обеспечивают полного стока воды, в результате этого

перед ними с внешней от озера стороны образуются разливы воды, по существу, представляющие собой дополнительные «испарительные бассейны» (рис. 4).

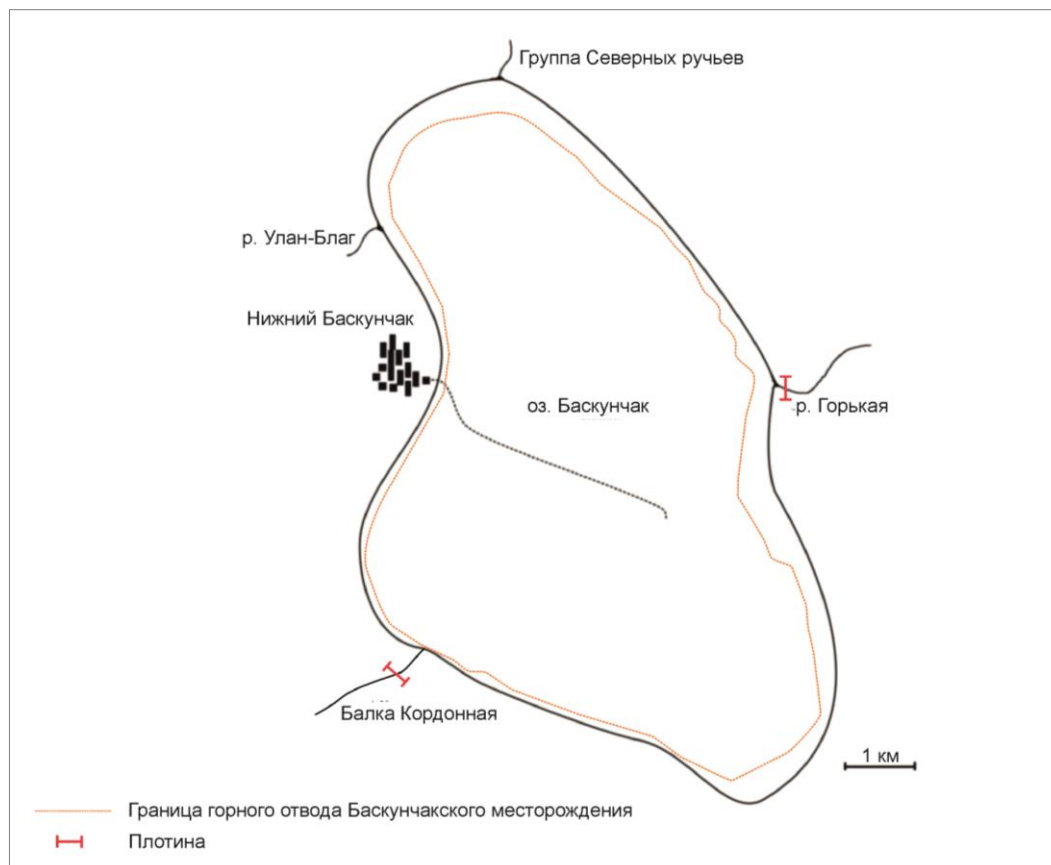


Рис. 2. Схема оз. Баскунчак с основными притоками



Рис. 3. Водохранилище на р. Горькой – основном притоке оз. Баскунчак



Рис. 4. Дамба в нижнем течении группы Северных ручьев

Беспрепятственный сток Северной группы ручьев на акваторию оз. Баскунчак обеспечивается только в период низкой воды. При малых расходах воды в летнюю межень (как на фотографии), водопропускные отверстия обеспечивают прохождение необходимых расходов воды ручьев, в отличие от периодов весеннего половодья или дождевых паводков, когда перед дамбами образуется подпор и формируются своеобразные дополнительные «испарительные бассейны» с безвозвратными потерями воды (рис. 4). Аналогичная ситуация имеет место и на р. Улан-Благ.

Как отмечалось ранее, при оценке испарения (расходная составляющая водного баланса) необходимо учитывать специфические особенности, связанные с высокой минерализацией оз. Баскунчак. Рапа (рассол) испаряется медленнее, чем вода, т.к. давление водяного пара над рассолом меньше, чем над водой. Кроме того, испарение воды с поверхности озера и водосборной территории определяется метеорологической ситуацией в регионе, что требует специального анализа.

Для характеристики общей метеорологической обстановки в качестве базового периода при анализе климатических изменений в данной работе выбран период 1961-1990 гг., который рекомен-

дован ВМО и служит основой для долгосрочной оценки изменения климата. Текущий базовый климатический период представлен 1991-2020 гг. [1-2].

При этом отмечены следующие различия между указанными периодами. Прежде всего имело место увеличение как средних годовых, так и внутригодовых температур. Так, наибольшее увеличение температуры воздуха в 1991-2019 гг. относительно 1961-1990 гг. отмечалось с января по март (2°C) и с июня по октябрь ($1-2^{\circ}\text{C}$). Различия в месячных суммах осадков носили более случайных характер. Их количество возросло в январе-мае, июле, сентябре и октябре, а уменьшилось – в июне, августе, ноябре и декабре. Наибольший рост осадков отмечался в октябре ($+40\%$), а наибольшее уменьшение – в августе (-44%). Снижение средних месячных скоростей ветра воздуха в 1991-2018 гг. по сравнению с периодом 1961-1990 гг. было характерно для всех сезонов года и составило $0,4-0,7$ м/с. При этом если в 1961-1990 гг. максимальные скорости ветра достигали $20-30$ м/с, то в 1991-2018 гг. они не превышали 12 м/с.

Данные метеорологических наблюдений и полевых исследований гидрологических и гидрохимических параметров оз. Баскунчак позволили выполнить расчет составляющих водного ба-

ланса отдельно для указанных климатических периодов. На первом этапе ориентировочные расчеты были проведены по формуле Иванова (с поправкой Молчанова), которая используется для расчета готовых сумм испарения в районах с недостаточным увлажнением:

$$E_m = 0,0018 (25 + T)2(100 - a) \quad (1)$$

где E_m – слой испарения с поверхности пресного водоема, мм; T – средняя температура воздуха, а – средняя относительная влажность, %.

Далее использовался дополнительный коэффициент, учитывающий соленость водоема. Значения, полученные по этой формуле, представляют собой оценку потенциально возможных сумм испарения с водной поверхности при данной температуре и относительной влажности воздуха. Поскольку при этом не учитываются многие характеристики водоема (размеры, глубина, ориентация по отношению к направлению ветра, температура воды) и ветровой режим, то полученные суммы испарения носят ориентировочный характер. Величина слоя испарения составила 398 мм для периода 1961-1990 гг. и 422 мм – 1991-2018 гг.

После получения дополнительных данных по характеристикам водоема был проведен более детальный расчет. Испарение с поверхности акватории оз. Баскунчак E_p , мм/год рассчитывалось согласно рекомендациям работы [3] для засоленных водоемов по формулам:

$$E_0 = 0,14n(e_0 - e_{200})(1 + 0,72u_{200}) \quad (2)$$

$$E_p = \frac{K_{e_0} - e_{200}}{e_0 - e_{200}} E_0 \quad (3)$$

где E_0 – слой испарения с поверхности пресного водоема, мм; E_p – слой испарения с поверхности минерализованного водоема, мм; n – число суток в рас-

четном интервале; e_0 – среднее значение максимальной упругости водяного пара, вычисленное по температуре поверхности воды в водоеме, мб; e_{200} – упругость водяного пара над водоемом на высоте 200 см, мб; u_{200} – средняя скорость ветра над водоемом на высоте 200 см, м/с; K – коэффициент, учитывающий относительное уменьшение упругости водяного пара над раствором (рапой) и зависящий от химического состава и концентрации растворенных веществ.

Учитывая полученные данные и специфические особенности оз. Баскунчак, оценка испарения была выполнена по следующему алгоритму. Для расчета годового количества испарения вначале были выполнены оценки потенциально возможного испарения пресной воды в климатических условиях оз. Баскунчак (E_0) для двух рассматриваемых периодов по формуле (2). По результатам расчетов они оказались равными: 799 мм и 742 мм, соответственно. Затем на основании данных о химическом составе и концентрациях растворов отдельных солей в весовых процентах, представленных в работе [4] (табл. 1), был вычислен коэффициент K и слой испарения с озера с учетом его минерализации по формуле (3).

Значения месячных характеристик упругости водяного пара и скорости ветра, входящих в формулу (2), были получены по данным метеорологических наблюдений на метеостанции Верхний Баскунчак [2] с последующим введением поправочных коэффициентов, учитывающих размер озера и особенности расположения метеостанции в соответствии с методикой, представленной в работе [4].

Таблица 1

Состав минерализованных вод оз. Баскунчак (по данным [4])

	Плотность, г/см ³	Солевой состав*, % масс		
		MgCl ₂	CaCl ₂	NaCl
Северная часть	1,230	12,01	4,11	7,30
Южная часть	1,220	4,10	1,33	19,52

В связи с отсутствием регулярных наблюдений за температурой воды на оз. Баскунчак средние месячные значения температуры воды за периоды 1961-1990 гг. и 1991-2019 гг. были рассчитаны с использованием регрессионного анализа на основе данных наблюдений за температурой воды в санатории в пос. Нижний Баскунчак и температурой воздуха за 10-летний период (2003-2012) по данным ВНИИГМИ-МЦД. Коэффициент корреляции между этими характеристиками достигает 0,995.

Во время весеннего половодья (обычно к концу марта – первой половине апреля) вся поверхность данного водоема покрывается слоем воды толщиной 0,3-1,0 м (в зависимости от запасов снега на водосборе). Затем, в течение 2-3 месяцев в результате интенсивного испарения этот слой фактически исчезает, обнажая обширные пространства, покрытые солью. Площади открытой воды остаются только в районах современной или старой соледобычи, что составляет около 20 % всей площади озера.

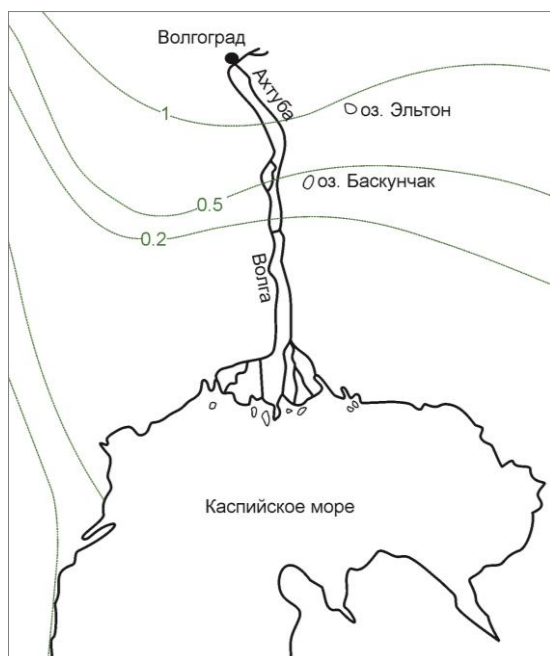


Рис. 5. Средний многолетний сток, л/(с*км²) [6]
(без учета зарегулированного стока в прудах и водохранилищах).

Такая ситуация сохраняется до марта. Величина площадей, покрытых водой, оказывает влияние на длину разгона ветровых потоков и, соответственно, на величину слоя испарения. Указанные особенности были учтены при расчетах испарения с поверхности данного водоема. С учетом указанных параметров величина слоя испарения составила 536 мм для периода 1961-1990 гг. и 495 мм – для периода 1991-2019 гг.

Для оценки потенциального притока ($V_{\text{приток}}$) проведен расчет поступления воды с водосбора с последующим пересчетом на площадь озера. Согласно результатам картографической съемки и анализу распространения стока площадь водосбора оз. Баскунчак составляет 467 км² [5]. При площади зеркала 106 км² и среднегодовом значении стока 0,5 л/(с*км²) стоковая компонента водного баланса составляет 69,5 мм/год.

Полученные результаты и их обсуждение

В летний период 2019 г. специалистами ИНОЗ РАН были выполнены отборы проб воды для оценки минерализации оз. Баскунчак. В результате лабораторных анализов получено среднее значение равное 360 г/л. Поскольку данная величина соответствует различным средним литературным оценкам, то она и была принята для дальнейших расчетов. В химическом составе, в основном, преобладают соли хлорида натрия, в связи с этим данный водоем является важнейшим объектом Российской Федерации, где ведется промышленная добыча самосадочной соли.

По данным таблицы 1 и приложения 11 «Коэффициенты уменьшения упругости водяного пара при различной концентрации растворов отдельных солей (в вес.%)» представленного в работе [4], было получено, что коэффициент К из-за различий в составе солей для северной части оз. Баскунчак равен 0,93, а для южной части – 0,84. В результате в дальнейших расчетах использовалось

осредненное значение K , равное 0,89. Использование полученных данных позволили выполнить соответствующие расчеты для обоих климатических периодов, результаты которых приведены в таблице 2. Там же собраны значения необходимых метеорологических параметров.

Как видно из таблицы 2, для годового слоя осадков средние значения за указанные периоды составили соответственно: 267 мм/год и 281 мм/год, для среднегодовой температуры воздуха – 8,5 °C и 9,6 °C. Годовой слой осадков по отношению к прошлому климатическому периоду увеличился в среднем на 5,2 %, среднегодовая температура воздуха – на 1,1 °C, средняя скорость ветра уменьшилась на 15 %. Средние значения испарения с водной поверхности оз. Баскунчак за указанные периоды составили 536 мм/год и 495 мм/год, соответственно. Это свидетельствует о том, что величина уменьшилась на 12 %. Таким образом, несмотря на рост температуры воздуха, значительное уменьшение скорости ветра привело к уменьшению годовых сумм испарения.

Как отмечалось выше, в настоящее время поступление воды с поверхности водосбора купируется плотинами и задерживается дамбами, расположенными на основных притоках водоема. Результаты обследования плотин и дамб, выполненное специалистами ИНОЗ РАН в 2020 г. в рамках соответствующих работ, показали, что их наличие однозначно нарушает естественный водный баланс.

Таблица 2

Значения метеорологических величин для рассматриваемых климатических периодов

Метеорологическая величина	I	II
Среднегодовая температура воздуха, °C	8,5	9,6
Среднегодовая скорость ветра, м/с	3,5	3,0
Годовой слой осадков, мм/год	267	281
Годовой слой испарения, мм/год	536	495
Дефицит водного баланса при отсутствии боковой приточности, мм/год	269	214

Примечание: I – 1961-1990 гг.; II – 1991-2018 гг.

В частности, наличие дамб в устьях р. Улан-Благ и Северной группы ручьев приводит к тому, что во время весеннего половодья перед ними образуются обширные разливы воды (рис. 4), поскольку имеющиеся водопропускные отверстия не обеспечивают беспрепятственного пропуска расходов этих водотоков в данный период гидрологического года. Следовательно, как отмечалось, создаются своеобразные «испарительные бассейны» – дополнительные участки поверхности с внешней стороны акватории озера, покрытые слоем воды небольшой глубины, интенсивно испаряющейся. Таким образом, расходная часть баланса озера увеличивается.

В свою очередь, в нижнем течении р. Горькой сооружены две глухие плотины, полностью купирующие сток воды из этой наиболее полноводной в бассейне реки в озеро. Таким образом, если принять поверхностное поступление водных масс с поверхности водосбора в оз. Баскунчак близким к 0, то тогда дефицит водного баланса в настоящее время составит 214 мм/год. Оценка расхода р. Улан-Благ и группы Северных ручьев в меженный период показывает, что их вклад можно считать незначительным. Скорость потока оценивалась при помощи ИСП-1М (измерителя скорости потока с регистратором) и поплавковым методом. Скорость потока р. Улан-Благ составляет 20 л/с, а в группе Северных ручьев – 46 л/с. При таких значениях их вклад в годовой сток оценивается в 18 мм/год. Следовательно, несмотря на снижение в последние десятилетия величины годового слоя испарения и некоторого увеличения осадков, водный баланс озера остается сугубо отрицательным.

В то же время в результате расчетов приточной поверхностной составляющей получено значение $V_{\text{приток}} = 69,5$ мм/год. Как видно, оно оказалось меньше современного дефицита водного баланса и не может компенсировать его. Однако необходимо иметь в виду, что расчеты поверхностного стока для

районов бассейна оз. Баскунчак с сильной закарстованностью (такие районы были зафиксированы в большом количестве в процессе полевых работ ИНОЗ РАН в 2019 и 2020 гг.) могут отличаться от реальных значений в результате влияния карста в различные годы и сезоны. Кроме того, в настоящее время в местах скопления водных масс перед искусственными плотинами (в частности, на водохранилищах в долине р. Горькой) имеет место подпор подземных вод. После восстановления естественного поверхностного стока с большой вероятностью увеличится и подземная составляющая притока, которая может полностью компенсировать дефицит баланса.

В любом случае важно отметить следующее. Учитывая накопленный дефицит, продолжающееся снижение уровня может иметь катастрофические последствия как для экологического состояния системы водоема, так и для его существования вообще. Даже с учетом того, что часть поверхностного стока все же попадает на акваторию озера, результирующий баланс приводит к дальнейшему снижению среднесуточных значений уровня воды. Учитывая огромное промышленное значение оз. Баскунчак, как основного объекта добычи соли в масштабах всей страны, современное гидрологическое состояние озера совершенно недопустимо. В данном случае важнейшим мероприятием по восстановлению естественного водного баланса является удаление плотин и расширения водопропускных отверстий в дамбах или их полного удаления в районах устьев р. Улан-Благ и группы Северных ручьев.

Далее необходимо отметить следующее. Уникальные характеристики оз. Баскунчак представляют огромный научный интерес и потенциал для исследований и экспериментов. Высокая минерализация озера сказывается не только на составляющих водного баланса. На любые процессы, проходящие в водной массе оз. Баскунчак, оказывает влияние ее высокая соленость. В част-

ности, вода такого водоема характеризуется высокой плотностью. Для рассматриваемого водоема при господствующей минерализации значение плотности воды, как правило, превышает $1,2 \text{ кг/м}^3$ [7]. При такой плотности привычные закономерности и процессы существенно меняются. Например, изменяются условия осаждения твердых наносов и связанная с этим гидравлическая крупность частиц. При этом для определенных групп частиц, имеют место качественные изменения. В частности, частицы с плотностью до $1,2 \text{ кг/м}^3$ (к таким относятся, например, многие виды микропластических частиц) не оседают вовсе.

Естественно, в этих условиях оказываются неприменимыми стандартные методы анализа гранулометрического состава частиц наносов. Плотность водной среды в данном случае будет определяющей при любых гидродинамических и гидрофизических процессах, и это необходимо учитывать при построении универсальных моделей, методик и расчетных схем. С другой стороны, наличие такого естественного экспериментального полигона предоставляет отличную возможность для проведения соответствующих работ с целью расширения области применимости методик в области исследования твердых частиц во всем диапазоне возможных размеров, включая наномасштабный и частиц микропластика, и обеспечивая универсализацию методов.

Выводы

В настоящее время на оз. Баскунчак имеет место нарушение естественного водного режима. Рассчитанная в данной работе расходная часть водного баланса (испарение с водной поверхности водоема) с учетом специфических особенностей соленого озера составляет в настоящее время 495 мм в год. Это значение не компенсируется приходной составляющей в виде осадков на озеро – 281 мм в год. Результаты исследования

показали, что из-за антропогенного воздействия поступление воды в виде другой приходной составляющей (поверхностного стока с бассейна) либо слабо выражено, либо в отдельных частях бассейна отсутствует вовсе.

Таким образом, в результате на оз. Баскунчак наблюдается снижение уровня воды и увеличение периода времени, при котором поверхность озера оказывается свободной от водных масс. Подобное нарушение равновесного естественного гидрологического режима оз. Баскунчак может привести к его деградации и серьезным экологическим последствиям. Восстановление поверхностной составляющей приходной части баланса (около 69,5 мм в год) не только замедлит деградацию озера, но возможно, остановит ее за счет усиления дополнительного подземного притока.

Заключение

Благодаря физико-географическим и геологическим особенностям бассейна оз. Баскунчак приобрело столь уникальный набор условий для формирования гидрологических и гидрохимических характеристик. Эти особенности высокоминерализованного водоема требуют постоянного учета при любых расчетах, например, как показано в данной статье, водного баланса, а также натурных исследованиях, моделировании процессов и выполнении прогнозов.

Как видно из выполненного анализа, учет особенностей, с одной стороны,

минерализации и химического состава воды, а с другой стороны, гидрологического режима позволил обеспечить существенное уточнение результатов расчетов испарения с поверхности оз. Баскунчак и, таким образом, корректное выполнение расчетов водного баланса для принятия оптимальных решений по его сохранению.

Вместе с тем, значительная соленость данного озера позволяет рассматривать его как полигон, позволяющий выполнять исследования процессов и закономерностей в водных объектах в расширенном диапазоне характеристик. В частности, охватывать весь диапазон возможных плотностей водной среды естественных водоемов и, таким образом, обеспечивать выявление причинно-следственных связей тех или иных явлений и процессов с этим учетом. В этой связи, оз. Баскунчак может служить полигоном для выполнения гидродинамических и геохимических работ в экспериментально-теоретических исследованиях при граничных (в естественных условиях) гидрохимических характеристиках. В частности, для исследования процессов, зависящих от плотности водной среды, например, особенностей переноса и пространственного распределения и концентрации твердых частиц наносов во всем диапазоне их размеров, включая наномасштабный, оценке их гидравлической крупности, особенностях поведения фрагментов микропластика и т.д.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИНОЗ РАН – СПб ФИЦ РАН на 2019-2023 гг. по теме № 0154-2019-0003 «Разработка комплексных методов исследования и оценки характеристик твердых частиц в наномасштабном диапазоне размеров в водных объектах с различной степенью антропогенной нагрузки», номер госрегистрации – АААА-А19-119031890107.

Список литературы

1. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм (№ 1203). – Женева: ВМО, 2017. – 32 с.
2. Сайт ВНИИГМИ-МЦД [Электронный ресурс]. – URL: <http://meteo.ru/data/163-wind>.
3. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 85с.

4. Методические рекомендации по применению классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Озерные соли. – М., 2007. – 44 с.
5. Данные государственного водного реестра [Электронный ресурс]. – URL: <http://textual.ru/gvr/index.php?card=186318>).
6. Воскресенский К.П. Сток в южном Заволжье и Прикаспийской низменности. – Л.: Гидрометеоздат, 1953. – 96 с.
7. Иванов В.М., Семенов К.А., Прохорова Г.В., Симонов Е.Ф. Аналитическая химия натрия. – М.: Наука, 1986. – 245 с.

References

1. Rukovodyashchiye ukazaniya VMO po raschetu klimaticheskikh norm (№ 1203). – Zheneva: VMO, 2017. – 32 с.
2. Sayt VNIIGMI-MTsD. – URL: <http://meteo.ru/data/163-wind>.
3. Ukazaniya po raschetu ispareniya s poverkhnosti vodoyemov. – L.: Gidrometeoizdat, 1969. – 85s.
4. Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu klassifikatsii zapasov mestorozhdeniy i prognoznnykh resursov tverdykh poleznykh iskopayemykh. Ozernye soli. – М., 2007. – 44 s.
5. Dannye gosudarstvennogo vodnogo reyestra. – URL: <http://textual.ru/gvr/index.php?card=186318>.
6. Voskresensky K.P. Stok v yuzhnom Zavolzhye i Prikaspyskoy nizmennosti. – L.: Gidrometeozdat, 1953. – 96 s.
7. Ivanov V.M., Semenenko K.A., Prokhorova G.V., Simonov Ye.F. Analiticheskaya khimiya natriya. – М.: Nauka, 1986. – 245 s.

RECENT HYDROLOGICAL CONDITION OF LAKE BASKUNCHAK

Sh.R. Pozdnyakov, E.V. Ivanova, A.E. Lapenkov, A.V. Guzeva, A.V. Revunova
Institute of Limnology of the RAS, St. Petersburg, E-mail: tbgmaster@mail.ru

Lake Baskunchak (Astrakhan oblast, Russia) is characterized by specific hydrological and hydrochemical features in particularly a high level of water salinity. It is important feature in assessment a water balance of the lake. It needs to take into account during field observations, modeling and forecasting of natural processes. This research focuses on recent hydrological conditions and water balance of Lake Baskunchak. It was shown that the lake can be used for different research experiments, for example, for investigation of hydrological processes with a wide range of physical and chemical parameters.

Keywords: Lake Baskunchak, water balance, evaporation, water salinity, water density, hydraulic size.

Received November 23, 2020

УДК 55.4

ТИПИЧНЫЕ И АНОМАЛЬНЫЕ МОРФОГЕНЕТИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ РАЗНОМАСШТАБНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОНТИНЕНТА И ОКЕАНА В РАМКАХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ПОЯСОВ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Г.П. Скрыльник

Тихоокеанский институт географии Дальнего Востока, ДВО РАН, Владивосток
E-mail: skrylnik@tigdvo.ru

Аномальные природные процессы и явления российского Дальнего Востока по своему воздействию на геосистемы выступают как типичные, экстремальные или катастрофические. Предметом исследований стали системоформирующие взаимодействия континента и океана в рамках умеренного, субарктического и арктического природно-климатических поясов. Установлены морфообразующие эффекты экзогенных процессов (наводнений, селей, термокаста и термоабразии, штормовых нагонов и других), связанных в основном с флуктуациями климата и гляциоэвстатическими колебаниями уровня Мирового океана, проявляющихся на фоне разноамплитудных тектонических движений. Результаты исследования могут быть использованы при решении экологических проблем природопользования и выборе стратегии экологического равновесия в вопросах природопользования.

Ключевые слова: типичные, аномальные, процессы, явления, естественные, антропогенные, геоэкологические риски, Дальний Восток.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15907

Дата поступления 4.11.2020

Дальний Восток расположен в устойчиво активной переходной-контактной зоне двух величайших структур Земли, в ходе взаимодействия оказывающих мощные системоформирующие влияния в рамках умеренного, субарктического и арктического природно-климатических поясов. По своему воздействию на геосистемы региона одно-масштабные процессы и явления выступают как типичные, экстремальные или катастрофические, с указанием их актуальности – как индикаторов геоэкологических рисков [1]. В настоящее, на фоне общего потепления климата, в Арктике оно приостановилось [2], но одновременно наметилась тенденция к похолоданию. На Дальнем Востоке дополнительно происходит возрастание похолодания и усиление континентальности [3].

Целью исследований было установление частоты проявлений и интенсивность аномальных процессов и явлений

в зависимости от дифференцированной природной напряженности Дальнего Востока (максимальная на юге, умеренная – на севере). Материалы тематических маршрутных и полустационарных исследований аномальных процессов и явлений в различных регионах Дальнего Востока приводятся покомпонентно. Они получены в ходе применения сквозных направлений изучения комплексной физико-географической оболочки (КФГО), разработанных К.К. Марковым с соавторами [4]. Используются методы: сравнительно-географический, палеогеографический, геофизический, картографический и информационный.

На районно-локальном уровне среди процессов, термодинамически значимых (относительно наиболее энергонапряженных, приводящих к сравнительно значительному эффекту), в организации и возможном аномальном изменении геосистем российского Севера

Дальнего Востока выступают [3]: землетрясения; вулканические извержения; крупноглыбистые обвалы массы и грязекаменные потоки; мощные наводнения; «взрывы» активности криогенеза и (или) «малого» гляциогенеза; антропогенная деятельность. Аномальные процессы и явления на Севере, по сравнению с Югом Дальнего Востока, в организации и аномальном изменении геосистем на естественном фоне в целом играют явно подчиненную роль и отмечаются относительно реже и на более ограниченных площадях. Ниже приводятся отдельные примеры аномальных явлений по отдельным районам Севера.

Остров Врангеля. Отмечается отсутствие современных активных очагов оледенения. Развитие морфогенеза протекает по пути неуклонного вытеснения нивационных процессов постоянно усиливающимися и уже сейчас господствующими процессами криогенеза. Эта тенденция развития рельефа сохранится и в ближайшем будущем.

Чукотка – область широкого проявления солифлюкции и интенсивного наледеобразования (рис. 2-3).

Верхнее Приколымье. Опасные явления проявляются как курумообразование с активизацией в условиях усиления общей региональной континентализации, обвалы, наводнения, наледи.

Север Дальнего Востока

Камчатка. Развитие геосистем происходит в условиях активного вулканизма и повышенной сейсмичности на общем фоне взаимодействия противоборствующих континентальных и океанических влияний. Излияния лав и масштабные выбросы пепла и камней, вызывают разрушение соседних геосистем, а на удалении – существенное нарушение их организации (в частности, таяния ледников). Последнее порождает возникновение аномальных грязекаменных потоков, резко преобразующих склоновые поверхности и формирующих громадные подсклоновые шлейфы, а также катастрофические наводнения. Мощные сели вызваны крайне обильными атмосферными осадками во время тайфунов; обвальные процессы, приводящие к крупным обвалам (объемом до 0,5-1 км³).

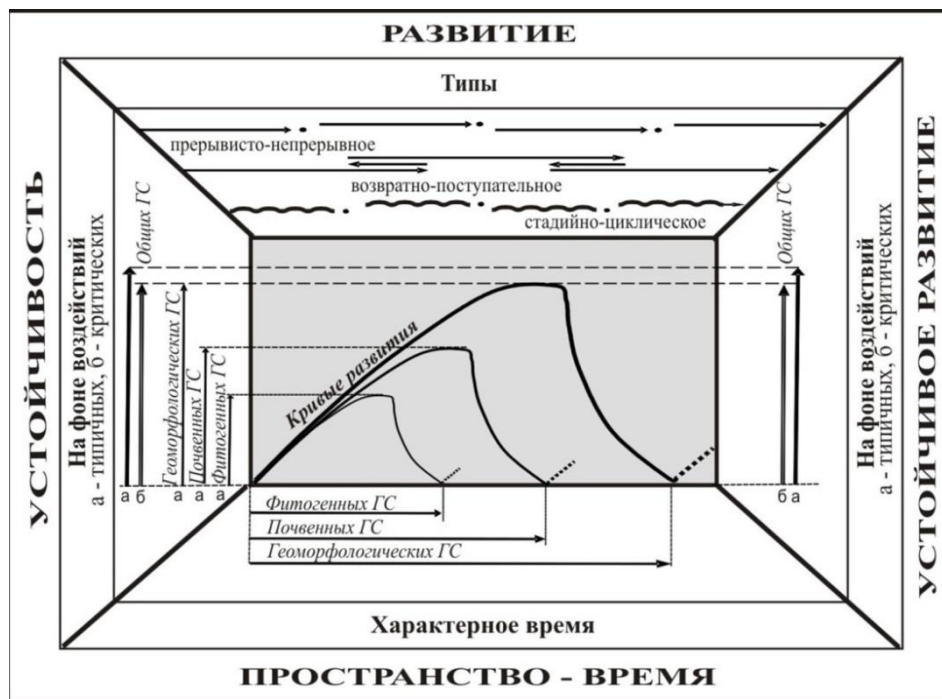


Рис. 1. Принципиальная схема динамических соотношений пространства, времени и типов развития, устойчивости и устойчивого развития геосистем

Общие тенденции. В современных природно-климатических обстановках на большей части Севера Дальнего Востока, на фоне прослеживаемых разнопериодных колебаний в естественных зональных и провинциальных соотношениях тепла и влаги, активность всех природных процессов отмечается все еще в пределах фоновой нормы – преимущественно в рамках типичных и, реже, критических уровней (в крайне редких случаях – кратковременно до кризисных и возвратно до критических). В условиях антропогенного пресса частота их проявления резко возрастает.



Рис. 2. Долинный комплекс форм рельефа: песчано-галечная коса (на переднем плане), пойма (около 1 м, обнажена и частично размыва в результате предыдущего весеннего половодья), надпойменная терраса р. Танюер (уступ 6-7 м, подверженный активному солифлюкционному оплыванию), август 1972 г., фото Б.И. Втюрина.



Рис. 3. Наледь на р. Хани: толщина пластов «ярусного» льда до 2-х м (фото Т.А. Ахметова).

Юг Дальнего Востока

Регион ассоциируется с одной из наиболее активных термогидродинамических ячеек энергетической сетки комплексной физико-географической оболочки [1, 3]. В становлении ландшафтов всего юга Дальнего Востока аномальные факторы, явления и процессы (и естественные, и антропогенные) играли и играют громадную системообразующую роль. В целом, аномальные воздействия на геосистемы все больше и больше становятся типичными, т.е. рамки «природных рисков» здесь расширяются.

В континентальных районах опасные явления проявляются как аномальные ливни и наводнения, лесные пожары, ураганные ветры, землетрясения, «взрывы» линейной эрозии, осыпи и курумобразование. В прибрежных зонах наблюдаются сочетания аномальных ливней с наводнениями и нагонами, землетрясения и цунами, ураганы, сильные шторма и штормовые волнения, наледи, обвалы, оползни, осыпи. На островных территориях опасные явления проявляются как катастрофические ливни и ураганы; землетрясения и цунами; сильные шторма и штормовые нагоны; обвалы, оползни и сели. Многие из этих явлений причинно или опосредовано динамически связаны между собой. Последние, обусловленные особенностями рельефно-субстратной основы, в одних случаях вызваны глубинной эрозией, в других – интенсивной морской абразией, а в третьих – изменениями климата, изреживанием растительности, интенсификацией склонового и флювиального морфогенеза.

Приохотье – зона высокой концентрации и обострения различных опасных процессов (землетрясений, абразии, наводнений, криогенеза) В условиях долгоживущих разрывных нарушений и повышенной сейсмичности (до 7 баллов 1 раз в 1000 лет) – обвалы, вызывающие смещение крупных блоков пород по зо-

нам разломов и возникновение трещин-рвов, а также активизацию других аномальных процессов (отседания склонов, лавин, селей).

Приамурье – широкий набор аномальных явлений и процессов; по интенсивности, частоте и площади воздействия на геосистемы выделяются наводнения, лавины (рис. 4-5), пожары и комплексы гравитационных и нивально-мерзлотных процессов.

Приморье. Спектр аномальных явлений очень широк. В континентальных районах – ливни и наводнения, курумы (рис. 6), обвалы, оползни (рис. 7), пожары и эрозия и т.д.; в прибрежных – ливни и наводнения, шторма и штор-

мовые нагоны, абразия и цунами, обвалы и оползни.

Ежегодные крупные наводнения отмечаются в июле-сентябре с приходом глубоких циклонов с запада или тайфунов с юга. В течение последних десятилетий на реках Приморья было отмечено 18 аномальных наводнений [1]. Среди них было два катастрофических: 1989 г. – в бассейнах рек Партизанская, Киевка, Малиновка, Большая Уссурка, Уссури; 2000 г. – в бассейне р. Раздольная. Катастрофические наводнения были и на малых реках – на р. Кривой высота паводка составила 4,5-5,4 м над меженью.



Рис. 4. Лавинный «прочес» лесного пояса в истоках р. Селиткан: хр. Ям-Алинь, 1989 г., фото автора.



Рис. 5. Тело лавинного конуса и правый борт долины р. Селиткан, «принявший» удар лавины: хр. Ям-Алинь, 1989 г., фото автора.



Рис. 6. Возобновление курума на поверхности древней нагорной террасы после лесного пожара: хр. Северный Сихотэ-Алинь, бассейн р. Самарги, б. Неми, 1989 г., фото автора.



Рис. 7. Медленно смещающийся оползень на поверхности древней нагорной террасы после лесного пожара: хр. Северный Сихотэ-Алинь, бассейн р. Самарги, б. Неми, 1989 г., фото А.М. Короткого.

Наиболее цунамиопасная зона в Приморье – его юго-восточная, центральная и северная части [2]. На берегах Японского моря за последние 2,5 тыс. лет, по историческим данным, зарегистрировано 17 крупных цунами. В XX в. отмечено пять случаев цунами: 1 августа 1940 г., 16 октября 1964 г., 5 сентября 1971 г., 26 мая 1983 г., 13 июля 1993 г. Они вызваны подводными мелко- и глубокофокусными землетрясениями у побережья Японии [1]. Во время цунами 1993 г. в устье р. Рудной произошел размыв низкой морской террасы (высота 4 м), пляжа и подводного бара с расширением ее южного эстуария до 200 м с увеличением глубины протоки до 10 м. Участки абразионных берегов были полностью «очищены» от мелкозема и средних обломков. При этом ландшафтопреобразующие эффекты от цунами в мае 1983 г. и летом 1993 г. превосходили воздействия катастрофических штормов (1962-1993).

Курильские острова. Среди катастрофических экзогенных процессов на Курильских островах выделяются обвалы и оползни на склонах, селевые и лавинные процессы в речных долинах, вблизи вулканов, в пределах денудационно-тектонических хребтов, а также абразия коренных берегов и размыв аккумулятивных форм. Штормовые нагоны характерны только для открытых участков преимущественно Тихоокеанского побережья Курил и могут достигать по высоте 2-4 м [1, 3]. Охотоморское побережье Курил отличается малой цунамиопасностью из-за редких землетрясений под Охотоморской впадиной. Сюда приходят через проливы только относительно ослабленные (высотой всего до 1-3 м) волны цунами с востока.

Тихоокеанское же побережье Курильских островов является ареной не только частых, но и катастрофических воздействий цунами. Так, здесь отмечаются волны с различным максимальным подъемом уровня – свыше 23 м один раз в 100-200 лет; 8-23 м – в 50-100 лет; 3-8 м – в 20-30 лет; 1-3 м – в 10

лет (данные С.Л. Соловьева и Ч.Н. Го, 1974 г.).

Общерегionalные опасные явления – «речные перестройки». Они вызывают и поддерживают длительное развитие аномальных ландшафтопреобразующих процессов. Особо выделяется западный перенос золотой пыли на юге Дальнего Востока, отмечавшийся в весенние периоды 2002 и 2024 гг. Количество материала поступившего за одну интенсивную пыльную бурю в 2024 г. было сопоставимо с выпадением золотого материала на суше за весь зимний сезон этого периода без аномалий, а на морских акваториях существенно превышало эту величину (по данным Росгидромета и наблюдений И.И. Кондратьева, в 2024 г.

Выводы

Неустойчивыми территориями являются побережье Японского и Охотского морей, Камчатка, вершинный пояс гор, глубоко врезанные и крутосклонные речные долины материковой суши, и островные территории.

Пороговые (граничные) уровни аномальных процессов на всех этапах естественного развития геосистем в целом тем выше от типичных и в межзональном плане дальше удалены друг от друга (более контрастны), чем больше по величине фоновые характеристики конкретной природной зоны.

В антропогенных условиях пороговые уровни заметно снижаются, приближаясь к типичным уровням, что повышает вероятность геоэкологических рисков.

Аномальные процессы и явления на Севере, по сравнению с Югом Дальнего Востока, в организации и аномальном изменении геосистем на естественном фоне в целом играют явно подчиненную роль и отмечаются относительно реже и на более ограниченных площадях.

Результаты могут быть востребованы при выборе стратегии рационального природопользования с учетом существующих рисков и определяемых ими экологических ограничений.

Список литературы

1. Скрыльник Г.П. Уровни устойчивости геосистем и устойчивого развития // Материалы XII Совещ. географов Сибири и Дальнего Востока (5-7 октября 2004 г.). – Владивосток: ТИГ ДВО РАН, ИГ СО РАН, 2004. – С. 367-370.
2. Ловелиус Н.В., Ретеюм А.Ю. Циклы солнечной активности в Арктике // Общество. Среда. Развитие. – 2018. – № 1. – С. 128-130.
3. Короткий А.М., Коробов В.В., Скрыльник Г.П. Аномальные природные процессы и их влияние на состояние геосистем юга российского Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 2011. – 265 с.
4. Марков К.К., Добродеев О.П., Симонов Ю.Г., Сутова И.А. Введение в физическую географию. – М: Высшая школа, 1973. – 183 с.

References

1. Skrylnik G.P. Urovni ustoychivosti geosistem i ustoychivogo razvitiya // Materialy Khll Soveshch. geografov Sibiri i Dalnego Vostoka (5-7 oktyabrya 2004 g.). – Vladivostok: TIG DVO RAN, IG SO RAN, 2004. – S. 367-370.
2. Lovelius N.V., Retezum A.Yu. Tsikly solnechnoy aktivnosti v Arktike // Obshchestvo. Sreda. Razvitiye. – 2018. – № 1. – S. 128-130.
3. Korotky A.M., Korobov V.V., Skrylnik G.P. Anomalnye prirodnye protsessy i ikh vliyaniye na sostoyaniye geosistem yuga rossyskogo Dalnego Vostoka. – Vladivostok: Dalnauka, 2011. – 265 s.
4. Markov K.K., Dobrodeev O.P., Simonov Yu.G., Suetova I.A. Introduction to Physical Geography. – M: Higher school, 1973. – 183 p.

**TYPICAL AND ANOMALOUS MORPHOGENETIC EFFECTS
OF DIFFERENT-SCALE INTERACTION OF THE CONTINENT AND
THE OCEAN WITHIN THE CLIMATE BELTS OF THE FAR EAST**

G.P. Skrylnik

*Pacific Institute of Geography of the Far East, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok
E-mail: skrylnik@tigdvo.ru*

The topic is anomalous natural processes and phenomena in the Russian Far East, which in their impact on geosystems appear as typical, extreme or catastrophic. The subject of research is the system-forming interactions of the continent and the ocean within the temperate, subarctic and arctic natural and climatic zones. The results are morpho-forming effects of exogenous processes (floods, mudflows, thermokarst and thermal abrasion, storm surges and others), associated mainly with climate fluctuations and glacioeustatic fluctuations in the level of the World Ocean, manifested against the background of different-amplitude tectonic movements. The field of application is in solving environmental problems of nature management and the choice of a strategy for ecological balance in matters of nature management.

Key words: typical, anomalous, processes, phenomena, natural, anthropogenic, geoecological risks, the Far East.

Received September 4, 2020

Раздел 4

ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 4

ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 556.53+556.55(571.151)

К ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ ВЫСОКОГОРНЫХ ОЗЕР БАССЕЙНА РЕКИ МУЛЬТА (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)

Е.Ю. Зарубина, Г.В. Феттер

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: zeur11@mail.ru

Гидролого-гидрохимическое обследование горных озер, расположенных в верховьях бассейна р. Мульты (Горный Алтай), проведенное в июле 2020 г., позволило оценить современное состояние исследованных озер. На основе анализа данных предыдущих исследований выявлена динамика произошедших изменений в химическом составе природных вод за почти 90-летний период.

Ключевые слова: прозрачность и температура воды, концентрация кислорода, pH, минерализация, Мультиинские озера, Горный Алтай.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15908

Дата поступления 1.12.2020

На территории Горного Алтая насчитывается около 7 тыс. озер, общая площадь их составляет свыше 600 км². Наряду с самым большим и глубоким водоемом – Телецким озером – существует масса мелких и менее глубоких озер, расположенных в высокогорной приледниковой зоне и на высокогорном плато бассейна реки Катунь. Река Мульты является одним из притоков р. Катунь – основной водной артерии Русского Алтая. В верховьях р. Мульты находится ряд проточных озер, расположенных в отрогах Катунского хребта на высоте 1710-1920 м над уровнем моря. В отличие от ледников Алтая, которые изучают уже более 100 лет, гидролого-гидрохимических исследований озер Катунского хребта очень мало. Первые описания озер и водотоков бассейна р. Мульты были выполнены В.В. Сапожниковым и А.Н. Седельниковым в начале XX в. Первое комплексное

исследование озер Катунского хребта было проведено летом 1933 г. под руководством С.Г. Лепневой, по результатам которой О.А. Алекин опубликовал фундаментальный обзор «Озера Катунских Альп» [1]. Современный этап гидролого-гидрохимических исследований в долине р. Мульты связан с работами В.А. Семенова, Т.В. Большух, И.А. Семеновой в 2003 г. [2] и Н.Л. Фроловой с соавт. в 2008 г. [3].

Исследование пространственно-временной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик этих малоизученных озер является важной задачей как в научном, так и практическом отношении. Озера Верхнее Мультиинское и Поперечное расположены труднодоступных местах Катунского хребта на территории ГПЗ «Катунский» и могут выступать в роли фоновых при исследовании природных вод региона. Однако резко возросшая в последние годы

рекреационная нагрузка на Горный Алтай, и Мультиинские озера в частности, может оказать негативное влияние на экосистемы водоемов.

Цель работы – оценка современного состояния исследованных озер бассейна р. Мульта и динамики произошедших изменений в химическом составе природных вод за почти 90-летний период (на основе анализа данных предыдущих исследователей).

Материалы и методы

Река Мульта является правым притоком р. Катунь, находится в среднегорной части Центрального Алтая, берет свое начало из ледников на высоте 2350-2400 м в гляциально-нивальном поясе Катунского хребта. Длина Мульти – 39 км, площадь бассейна – 320 км², его средняя высота – 1950 м. Особенностью бассейна Мульти является широкое распространение горного оледенения – в бассейне реки насчитывается 26 ледников общей площадью 14,3 км², которые оказывают существенное влияние на формирование стока реки и химического состава природных вод [3]. Протекая по долине, Мульта последовательно образует три озера: Верхнее Мультиинское (расположенное в самом начале долины); Среднее Мультиинское (в 6 км севернее Верхнего) и Нижнее Мультиинское, отделенное от Среднего, моренным валом. К востоку от Верхнего Мультиинского озера также у подножия Катунского хребта находится оз. Поперечное, исток р. Поперечная

(правый приток Мульти). Озера Верхнее Мультиинское и Поперечное расположены в зоне альпийских лугов, которые с уменьшением высоты замещаются лесом, а долина р. Мульти между Верхним и Средним озерами принимает местами заболоченный характер. Морфометрические характеристики исследованных озер приведены в таблице 1: Верхнее, Среднее и Нижнее – по данным Н.Л. Фроловой с соавт. [3], Поперечное – на основе космоснимков.

Материалом для работы послужили результаты исследования 8-11 августа 2020 г. гидрологических и гидрохимических характеристик четырех высокогорных озер истоков р. Мульти: Верхнее, Среднее и Нижнее Мультиинские, Поперечное. При проведении исследований измеряли: глубину, прозрачность, температуру воды, концентрацию растворенного в воде кислорода, pH, минерализацию (по NaCl), содержание органических веществ (по БПК₅). Измерения концентрации растворенного в воде кислорода, насыщение воды кислородом и температуру воды проводили с помощью оксиметра Марк-302М. Водородный показатель (pH) и минерализацию воды (по NaCl) измеряли с помощью портативного ионоселективного прибора АНИОН 4120. На озерах Среднее и Нижнее Мультиинские промер глубин осуществляли с помощью эхолота. Содержание свежееобразованного органического вещества определяли с помощью БПК₅ [4].

Таблица 1

Морфометрические характеристики озер бассейна р. Мульти

Характеристика	Верхнее Мультиинское*	Среднее Мультиинское*	Нижнее Мультиинское*	Поперечное
Площадь акватории, тыс. м ²	426	917	1822	422
Длина береговой линии, м	3370	4550	6410	–
Длина озера, м	1420	1700	2780	1823
Наибольшая ширина, м	430	650	815	315
Средняя ширина, м	300	540	656	203
Средняя глубина, м	21,4	10,5	14,3	–
Максимальная глубина, м	46,6	16,8	20,2	23

Примечание: * – по данным [3].

Все приборы перед началом измерений калибровали. Точки отбора проб на озерах располагали методом «конверта», пробы воды отбирали в поверхностном слое воды (рис.). Класс качества воды, уровень трофности и сапробности озер определяли по О.П. Оксийку с соавт. [5]. Статистическая обработка материала проведена в MS Excel-2016 и Statistica 6.0.

Результаты исследований

Все исследованные озера по гидрологическим и гидрохимическим характеристикам похожи между собой (табл. 2). Озера глубокие, дно сложено галькой, валунами и глыбами. В донных отложениях присутствуют илы, мощность которых, по данным Н.Л. Фроловой с соавт. [3], наибольшая в Среднем Мультиномском.



Рис. Точки отбора проб на озерах р. Мульты, август 2020 г.

Верхнее Мультиномское озеро (N 49°35,281" , E 085°50,698") расположено в цирке, образованном боковыми отрогами Катунского хребта на высоте 1920 м над уровнем моря. Озеро подпружено с севера плотиной моренного происхождения. Котловина озера вытянута в меридиональном направлении, несколько суживаясь к северному концу. Наибольшие глубины отмечены у южного берега, вдоль морены, что по данным О.А. Алекина [1], вызвано выпахивающим действием ледника, спускавшегося с крутых склонов хребта. Береговая линия имеет ровные очертания. Прибрежная зона озера представлена преимущественно каменистой литоралью. Побережье со всех сторон озера каменистое. С юга и юго-востока у берега каменистая осыпь – морена. Северо-восточный и западный берега представляют собой невысокие поросшие лесом террасы с каменистыми и валунно-галечниковыми грунтами. Вдоль северного берега в истоке р. Мульты – обширный галечниковый пляж, местами заболоченный и поросший водной растительностью.

Цвет воды озера – зеленовато-молочный. Прозрачность воды из-за ледникового питания очень низкая, в литорали 0,2-0,42 м, и только в центре озера – 0,5 м. Температура воды характеризовалась незначительным прогревом поверхностного слоя в центре озера (до 12,4°C) и у южного берега в районе ледниковой морены (до 13,5°C), несколько большим прогревом – на мелководных участках литорали (15,6-16,6°C). Концентрация растворенного в воде кислорода на всех участках была высокой, максимальные значения (9,38-9,49 мг/л) отмечены на мелководных литоральных участках в истоке р. Мульты и у восточного берега в устье притока, где обильно развивался фитоперифитон.

Поверхностные воды бассейна р. Мульты, по классификации О.А. Але-

кина [1], относятся к пресным и ультрапресным гидрокарбонатным кальциевым водам I-го типа. Минерализация воды в озере в период исследований была очень низкой и не превышала 12,1 мг/л, что возможно, связано с прошедшими перед исследованиями, обильными дождевыми паводками. Низкие показатели отмечены также и для удельной электропроводности воды (24,7-25,5 мкСм/см). Величина pH колебалась в пределах 7,3-8,4, что соответствовало нейтральным и слабо щелочным водам. По степени насыщения воды кислородом, вода относится к классам чистой и удовлетворительной чистоты. По величине БПК₅ – к классу β-мезосапробных, мезоэвтрофных вод.

Озеро Поперечное (N 49°55'26,09", E 85°53'25,30") также, как и Верхнее

Мультиинское, расположено в цирке, образованном боковыми отрогами Катунского хребта на высоте 1885 м над уровнем моря. Котловина озера вытянута в меридиональном направлении, напоминает формой песочные часы за счет значительного сужения почти в середине озера. Берега озера, как и литораль, каменистые.

Цвет воды озера также зеленовато-молочный, однако прозрачность значительно выше, чем в Верхнем Мультиинском: от 1,5 м (литораль) до 2,3 м (центр озера). Температура поверхностного слоя воды в литорали не превышала 15,1°C. Концентрация растворенного в воде кислорода в литорали была несколько ниже, чем в Верхнем Мультиинском (8,36 мг/л).

Таблица 2

Гидрологические и гидрохимические характеристики Мультиинских озер,
8-11 августа 2020 г.

Точка	Темпе- ратура, °С	Прозрач- ность, м	Кислород		БПК ₅ , мгО/л	рН	Минерали- зация, мг/л	УЭП*, мкСм/см
			мг/л	%				
Озеро Верхнее Мультиинское								
2.1	15,6	0,2	9,49	94,7	1,33	7,8	11,67	25,2
2.2	12,4	0,5	9,13	86,3		8,4	12,1	25,5
2.3	13,5	0,35	9,32	89,9		8,0	11,65	25,2
2.4	15,7	0,42	9,38	94,4		7,3	11,75	25,2
2.5	16,6	0,35	8,87	90,4		7,6	11,64	24,7
Озеро Поперечное								
3.1	15,1	1,5	8,36	92,4	0,72	8,4	13,18	28,2
Озеро Среднее Мультиинское								
1.1	12,4	0,60	7,27	68,5	0,59	8,3	10,5	22,7
1.2	14,1	5,00	9,11	88,7		8,2	10,56	22,8
1.3	15,2	0,8	9,15	90,5	1,37	8,1	10,6	23
1.4	15,1	4,8	8,99	89,5		8,0	10,82	23,1
1.5	13,9	2,1	9,31	90,7		8,5	10,89	23,5
Озеро Нижнее Мультиинское								
4.1	15,3	1,0	8,76	87,3	1,16	7,5	11,27	24,1
4.2	15,4	5,7	8,74	87,3		7,5	11,26	24,1
4.3	15,9	1,5	8,6	87		7,7	11,17	24
4.4	15,5	2,8	8,7	87,2		7,7	11,7	24,2
4.5	15,6	1,0	8,91	89,2		7,9	11,2	24,1

Примечание: * – удельная электропроводность.

Минерализация воды в озере соответствовала ультрапресным водам (13,18 мг/л) и была лишь незначительно выше, чем в Верхнем Мультином. По величине pH вода относилась к слабо щелочным. По степени насыщения кислородом и содержанию органических веществ (по БПК₅) вода озера относится к классу чистых олигосапробных олиготрофных вод.

Среднее Мультиное озеро (N 49°59,004", E 085°49,785") расположено в долине р. Мульта на высоте 1740 м над уровнем моря. Форма озера близка к вытянутому в меридиональном направлении прямоугольнику. Озеро значительно больше по площади акватории, чем Верхнее и Поперечное, но более мелководное. Западный и восточный берега озера представляют склоны хребтов, ограничивающие долину и покрыта каменистыми осыпями, и только у самого озера поросших хвойным лесом. Береговая полоса состоит из валунов и крупного камня. С южной стороны в озеро впадает р. Мульта, образующая дельту, обильно заросшую макрофитами. Выше по реке к озеру прилегает кочковатое болото, поросшее хвойными деревьями. На севере из озера вытекает р. Мульта, образующая своеобразную плотину, сложенную крупными валунами и отделяющую озеро Среднее от Нижнего Мультиного. Ниже плотины река образует водопад.

Рельеф котловины озера простой чашеобразный. Глубины падают к центру озера довольно равномерно. Более крутой уклон дна наблюдается у западного и восточного берегов. В центре озера находятся максимальные глубины, достигающие до 16 м. Наиболее мелководна южная часть озера, где глубины составляют в среднем 3-6 м.

Цвет воды озера, как и других исследованных озер, зеленовато-молочный, но прозрачность воды здесь уже значительно выше (до 5 м в пелагиали), в литорали прозрачность воды доходит до дна. Повышается и температура во-

ды, до 14,1°C в пелагиали. На литоральных участках температура воды в значительной степени определялась температурой окружающей среды и на хорошо освещенных участках литорали достигала 15,1-15,2°C, в то время как на затененных участках не превышала 13,9°C.

Количество кислорода, растворенного в воде озера, колеблется от 7,27 до 9,31 мг/л. Минимальные значения отмечены у южной оконечности в районе дельты, максимальные – в северной части в литорали, что вероятно также связано с интенсивным развитием здесь фитоперифитона. По уровню минерализации и УЭП воды относится к классу ультрапресных вод. Величина pH (8,0-8,5) соответствует слабо щелочным водам.

По степени насыщения кислородом (88,7-90,7 %) и величине БПК₅ вода в озере удовлетворительной чистоты, по степени сапробности – β-мезосапробная, по уровню трофности – мезоэвтрофная. И только участок в районе дельты по степени насыщения кислородом (68,5 %) характеризуется как умеренно загрязненный, а по величине БПК₅ – олигосапробный олиготрофный.

Нижнее Мультиное озеро (N 50°0'6,03", E 85°49'49,95") является последним из цепочки мультиных озер. Озеро расположено на высоте 1710 м над уровнем моря, на 30 м ниже Среднего Мультиного. Долина р. Мульта у оз. Нижнего Мультиного расширяется, склоны, образующие долину, снижаются, берега покрыты густым кедрово-пихтовым лесом. Форма озера также, как и Среднего, напоминает вытянутый в меридиональном направлении прямоугольник. По площади акватории озеро самое крупное в цепочке мультиных озер. Береговая полоса каменистая, почти везде поросшая густым лесом. И только в южной части берег сложен крупными валунами, которые образуют плотину, запруживающую Среднее Мультиное озе-

ро. Со стороны северного берега – исток р. Мульты.

Цвет воды с молочно-беловатого, характерного для верхних в цепочке озер, сменяется на зеленоватый. Прозрачность воды также повышается и в пелагиале в центре озера достигает 5,7 м. Поверхностный слой воды здесь прогревается значительно сильнее, чем в других исследованных озерах. Температура воды в пелагиале достигает 15,4°C, а в литорали доходит до 15,9°C.

Содержание растворенного в воде кислорода высокое от 8,6 до 8,91 мг/л, в среднем составляет 8,74 мг/л. Минерализация воды в озере очень низкая и близка к минерализации воды в оз. Верхнее Мультиинское (от 11,2 до 11,7 мг/л), при этом величина УЭП (24,0-24,2 мкСм/см) несколько ниже. Величина рН (7,7-7,9) соответствует нейтральным водам. По степени насыщения воды кислородом (87,3-89,2 %) вода соответствует классу вод удовлетворительной чистоты, по величине БПК₅ – олигосапробным мезотрофным водам.

Обсуждение результатов исследований

Температура поверхностного слоя воды в озерах в период исследований колебалась в пределах 12,4-16,6°C, отличалась пространственной неоднородностью и, с одной стороны, была связана с высотной поясностью бассейна, с другой стороны, отражала влияние притоков. Самым холодным было озеро Верхнее Мультиинское, принимающее сток непосредственно с ледников и снежников, кроме того температура воздуха на этой высоте ниже, чем в Среднем и Нижнем Мультиинском, что уменьшает возможность прогрева. Однако температура воды в поверхностном слое в период исследований в оз. Верхнем Мультиинском была значительно выше, чем в июле 1933 г. [1] (в среднем на 5,2°C) и в июле 2008 г. [3] (в среднем на 4,3°C). В озерах Среднее и Нижнее Мультиинское температура воды была несколько выше, чем в 1933 г. (в

среднем на 0,6°C), но ниже, чем в 2008 г. (в среднем на 1,25°C).

Сток с ледников и снежников, которые непосредственно принимают озера Верхнее Мультиинское и Поперечное в значительной степени отражается на прозрачности воды. Прошедший накануне экспедиционных работ длительный дождевой паводок и, как следствие, повышение стока рек, несущих талые ледниковые воды, вероятно, явился причиной очень низкой прозрачности воды в оз. Верхнее Мультиинское (в среднем 0,4 м), что на 1,4 м меньше, чем в 1933 г. Высокая мутность воды оз. Верхнего Мультиинского, обусловленная мутностью воды ручьев, впадающих в озеро, отмечена в исследованиях Н.Л. Фроловой с соавт. [3]. По их данным мутность воды ручьев, впадающих в оз. Верхнее, варьировала за период наблюдений от 0,29 мг/л до 157,19 мг/л, что объясняется разными источниками питания ручьев и противозерозионной устойчивостью подстилающих грунтов при прохождении ливней в период проведения наблюдений. В ручье ледникового происхождения на правом борту водосбора озера после прохождения ливневых дождей, по данным Н.Л. Фроловой с соавт. [3], мутность воды возросла более чем на порядок: с 13,0 мг/л до 157 мг/л. По мере удаления от ледников прозрачность воды в озерах повышалась, и в Среднем Мультиинском в период наблюдений она уже составляла в пелагиале 5,0 м, что на 1,3 м выше, чем было отмечено О.А. Алекиным. Наиболее прозрачным было Нижнее Мультиинское озеро (5,7 м), что было отмечено и предыдущими исследователями [1, 3].

Содержание растворенного в воде кислорода в поверхностном слое воды в Мультиинских озерах колебалась в пределах от 7,27 до 9,49 мг/л, наибольшие значения были отмечены в оз. Верхнем Мультиинском. Более высокое содержание кислорода в поверхностном слое оз. Верхнего Мультиинского, по срав-

нению с другими мультинскими озерами, отмечали О.А. Алекин [1] и Н.Л. Фролова с соавт. [3]. В Верхнем Мультинском озере О.А. Алекин [1] наблюдал равномерное распределение по глубине растворенного кислорода (в среднем 8,6 мг/л). В Среднем Мультинском, по его наблюдениям, содержание растворенного кислорода в поверхностном слое воды составляло – 7,9 мг/л, в Нижнем Мультинском озере – 7,7 мг/л. Для холодных вод оз. Верхнего Н.Л. Фролова с соавт. [3] отмечали высокое абсолютное содержание кислорода (10,24 мг/л), по их данным, у поверхности концентрация кислорода в оз. Верхнем была больше, чем в озерах Среднем и Нижнем на 1,88 и 1,41 мгО₂/л, соответственно.

Поверхностные воды бассейна р. Мульта относятся к пресным и ультрапресным гидрокарбонатно-кальциевым I типа [1]. В исследованный период минерализация воды в озерах составляла от 10,5 до 13,2 мг/л, наибольшие величины отмечены для озера Поперечное и Верхнее Мультинское. Полученные результаты практически совпадали с данными О.А. Алекина [1] и Н.Л. Фроловой с соавт. [3] за летний период 1933 и 2008 гг., соответственно, но были значительно ниже тех, которые указывали В.А. Семенова с соавт. за сентябрь 2003 г. [2]. Химический состав речных и озерных вод бассейна р. Мульта формируется вследствие выщелачивания химических элементов из горных пород и почв, а также их поступления с атмосферными осадками и талыми ледниковыми водами. Атмосферные осадки, выпадающие на водосборе р. Мульта, характеризуются малой минерализацией [3], и вероятно, прошедшие накануне исследований дождевые паводки явились причиной низкой минерализации воды.

Величина pH изменялась от 7,3 до 8,5 и соответствовала нейтральным и слабо щелочным водам. По сравнению с данными 1930-х гг. (6,9-7,1) вода в

озерах стала более щелочной. Однако в 2003 [2] и 2008 гг. [3] вода в озерах была слабо кислой (pH=5,2-6,3 – в 2003 г. и 5,69-7,19 – в 2008 г.). Более кислую реакцию воды Н.Л. Фролова с соавт. [3] связывают с возрастанием доли кислых ледниковых и талых снеговых вод в питании реки и ее притоков в эти годы.

По величине БПК₅ вода озера Поперечное относится к классу чистых олигосапробных олиготрофных вод с очень низким содержанием органических веществ. Вода оз. Верхнее Мультинское в истоке р. Мульта относится к классу вод удовлетворительной чистоты β-мезосапробных мезотрофных. Вода в литорали озера Среднее и Нижнее Мультинское относится к классу чистых олигосапробных мезотрофных вод. По сравнению с данными 1930-х гг. качество воды в оз. Нижнее Мультинское не изменилось, однако снизилось качество воды в озерах Верхнее и Среднее. По данным О.А. Алекина [1], в озерах Верхнее и Среднее по величине перманганатной окисляемости (3,05 и 3,88, соответственно) вода этих озер относилась к классу чистых олигосапробных олиготрофных вод. Повышение величины сапробности и трофности воды этих озер в литорали в 2020 г. может быть связано с обильным развитием здесь фитоперифитона на камнях.

Удельная электропроводность служит приблизительным показателем суммарной концентрации электролитов, главным образом неорганических. Значение электропроводности характеризует буферную емкость раствора: чем больше концентрация сильных электролитов в растворе, тем выше буферная емкость раствора, т.е. его способность сопротивляться внешним воздействиям [6]. Поверхностные воды исследованных озер имеют низкую электропроводность (22,7-28,2 мкСм/см), особенно воды оз. Среднее Мультинское, и, следовательно, более уязвимы к внешним воздействиям. Повышение рекреационной нагрузки на озера в последние годы

может привести к значительным изменениям во всей экосистеме водоема.

Заключение

Таким образом, по сравнению с данными предыдущих исследователей во всех озерах отмечено повышение температуры поверхностного слоя воды, а также значительное уменьшение прозрачности воды в Верхнем Мультином озере. Концентрация растворенного в воде кислорода, pH и минерализация воды, по сравнению с данными 1930-х гг., существенно не изменились.

Авторы выражают благодарность за помощь в организации сбора материала заместителя директора по научной работе Государственного природного биосферного заповедника «Катунский» Т.В. Яшину и сотрудников заповедника.

Список литературы

1. Алекин О.А. Озера Катунских Альп // Исследования озер СССР. – Л., 1935. – Вып. 8. – С. 153-232.
2. Семенов В.А., Больбух Т.В., Семенова И.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика водных объектов высокогорий бассейна р. Катунь (Горный Алтай) на пороге XXI в. // Материалы гляциологических исследований. – 2006. – Вып. 101. – С. 128-134.
3. Фролова Н.Л., Повалишникова Е.С., Ефимова Л.Е. Комплексные исследования водных объектов Горного Алтая (На примере бассейна р. Мульти) – 75 лет спустя // Изв. РАН. Серия географическая. – 2011. – № 2. – С. 113-126.
4. Руководство по методам химического анализа поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.
5. Оксийук О.П., Жукинский В.Н., Брагинский П.Н. и др. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журнал. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62-76.
6. Румянцев В.А., Игнатьева Н.В. Система ранней диагностики кризисных экологических ситуаций на водоемах. – СПб.: BBM, 2006. – 152 с.

References

1. Alekin O.A. Oзера Katunskikh Alp // Issledovaniya ozer SSSR. – L., 1935. – Vyp. 8. – S. 153-232.
2. Semenov V.A., Bolbukh T.V., Semenova I.V. Hidrologo-gidrokhimicheskaya kharakteristika vodnykh ob'yektov vysokogory basseyna r. Katun (Gorny Altay) na poroge XXI v. // Materialy glyatsiologicheskikh issledovany. – 2006. – Vyp. 101. – S. 128-134.
3. Frolova N.L., Povalishnikova Ye.S., Yefimova L.E. Kompleksnyye issledovaniya vodnykh ob'yektov Gornogo Altaya (Na primere basseyna r. Multy) – 75 let spustya // Izv. RAN. Seriya geograficheskaya. – 2011. – № 2. – S. 113-126.
4. Rukovodstvo po metodam khimicheskogo analiza poverkhnostnykh vod sushi. – L.: Gidrometeoizdat, 1977. – 541 s.
5. Oksiyuk O.P., Zhukinsky V.N., Braginsky P.N. i dr. Kompleksnaya ekologicheskaya klassifikatsiya kachestva poverkhnostnykh vod sushi // Gidrobiol. zhurnal. – 1993. – T. 29. – № 4. – S. 62-76.
6. Rumyantsev V.A., Ignatyeva N.V. Sistema ranney diagnostiki krizisnykh ekologicheskikh situatsy na vodoyemakh. – SPb.: VVM, 2006. – 152 s.

TO HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS
OF HIGH ALTITUDE LAKES IN THE RIVER MULTA BASIN
(GORNÝ ALTAI)

E.Yu. Zarubina, G.V. Fetter

Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: zeur11@mail.ru

Hydrological and hydrochemical survey of mountain lakes located in the upper reaches of the river. The surveys (Gorný Altai) were carried out in July 2020. This made it possible to assess the current state of the studied lakes. Based on the analysis of the data of previous researchers, the dynamics of the changes in the chemical composition of natural waters over an almost 90-year period has been revealed.

Key words: water transparency and temperature, oxygen concentration, pH, mineralization, Multinskies lakes, Gorný Altai.

Received December 1, 2020

УДК 551.510.42+551.577

ОЦЕНКА КОНЦЕНТРАЦИЙ И ПОТОКОВ РТУТИ, ПОСТУПАЮЩИХ ИЗ АТМОСФЕРЫ НА ТЕРРИТОРИЮ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Л.В. Шоль¹, С.С. Эйрих², Е.Г. Ильина¹¹Алтайский государственный университет, Барнаул, E-mail: lilichkashol661@gmail.com, ilina@chem.asu.ru²Институт водных и экологических проблем, Барнаул, E-mail: steyrikh@gmail.com

Содержание ртути в атмосферных осадках, выпадающих в черте городов Надыма и Салехарда, варьирует в пределах 0,5-63,3 нг/л и 2,7-26,1 нг/л соответственно. Средневзвешенная концентрация ртути в атмосферных осадках холодного периода в г. Салехард в два раза меньше, чем в г. Надым. Средневзвешенная годовая концентрация ртути г. Надым сопоставима с величинами, полученными для других урбанизированных регионов мира, хотя по сравнению с удаленными местами Арктики (Аляска) она значительно выше. Максимальные концентрации ртути в осадках относятся к холодному весеннему периоду, что вероятнее всего, связано с весенним истощением атмосферных концентраций ртути (AMDE). Вклад выпадений в период AMDE в годовое выпадение ртути в 2016-2017 гг. составляет 12,3 %, а в 2017-2018 гг. – 30,4 %. Среднегодовые потоки влажного осаждения ртути для г. Надым (за 3-х летний период наблюдений) существенно ниже ее потоков осаждения в других регионах (США, Европы и Китая), но сопоставим со среднегодовыми потоками для удаленных территорий арктической зоны. В холодные периоды года потоки влажного осаждения ртути находятся на близком уровне: 0,64-0,65 мкг/м², тогда как в теплый период они изменяются существенно: 0,47-1,84 мкг/м². Резкое повышение поступления ртути, наблюдаемое в теплый период 2018 г., может объясняться ее региональным поступлением при таянии вечной мерзлоты, обусловленном высокими температурами в данный период (2018 г. был вторым по температуре после 1936 г., причем увеличение мощности сезонно-талого слоя в районе Надыма составило 37 см по сравнению с 2017 г.).

Ключевые слова: ртуть, Арктика, атмосферные осадки, средневзвешенные концентрации, потоки осаждения, AMDE, таяние мерзлоты.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15909

Дата поступления 3.12.2020

Ртуть является глобальным загрязнителем окружающей среды, поступая как от антропогенной деятельности человека, так и от природных источников. Большая часть ртути, загрязняющей Арктику, является результатом переноса по воздуху и океанским путям из источников, находящихся за пределами Арктики [1-2]. Ртуть, попадая в окружающую среду, проявляет способность к биоаккумуляции и биомagniфикации. После ее проникновения в арктические пищевые цепи, Hg накапливается в тка-

нях живых организмов, тем самым, оказывая на них токсичное воздействие.

В атмосфере Hg существует в трех формах: атомарная (Hg⁰), реактивная газообразная (RGM) и сорбированная на частицах (Hg_p). Атомарная ртуть устойчива в атмосфере долгое время (до года и более) и может транспортироваться на большие расстояния, тогда как реактивная газообразная и сорбированная на частицах ионная ртуть менее устойчивы в атмосфере (от нескольких часов до нескольких дней) и распространяются на расстояния до сотен километров [3].



Рис. 1. Геолокация точек отбора проб
Инструментальный анализ

Отбор проб атмосферных осадков (индивидуальные события) проводили сотрудники ГКУ ЯНАО НЦИА в холодный период на станции мониторинга Научного центра изучения Арктики: в г. Надым ($65^{\circ}32'$ с. ш. $72^{\circ}31'$ в. д.) – 40 проб (2016-2019); в г. Салехард ($66^{\circ}32'$ с. ш. $66^{\circ}38'$ в. д.) – 141 проба (2016-2017). Всего было проанализировано и обработано более 100 проб (рис. 1). Синоптические условия в период выпадения атмосферных осадков оценивали на основе метеонаблюдений в непосредственной близости от точек отбора и использовали данные Росгидромета и Национального управления океанических и атмосферных исследований (National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA) [4].

Анализ общей ртути в нефiltroванных образцах атмосферных осадков проводился в химико-аналитическом центре ИВЭП СО РАН в чистой комнате с использованием очищенной соляной кислоты и воды класса 18MQ. Концентрации общей ртути в нефiltroванных пробах атмосферных осадков определяли методом атомной флуоресценции с использованием анализатора «Mercur DUO Plus» (US EPA 1631: определение ртути в воде посредством

окисления, барботирования, улавливания на золотом сорбенте и детекции атомно-флуоресцентной спектрометрией методом холодного пара) [5]. Предел обнаружения составлял 0,5 нг/л.

Контроль качества осуществлялся в соответствии с методом US EPA 1631 с использованием стандартных растворов ртути (ГСО 8004-93 – СО 8006-93), метода «введено-найденно». Результаты, полученные на анализаторе «Mercur Duo Plus», полностью соответствуют принятым критериям качества метода (табл. 1).

Основные результаты

Территория Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) располагается на севере Западно-Сибирской низменности в трех климатических зонах (арктической, субарктической и умеренной континентальной). Климат определяется наличием многолетней мерзлоты, близостью холодного Карского моря, обилием заливов, рек, болот и озер. Он характеризуется длительным холодным зимним периодом, который начинается в октябре-ноябре и заканчивается в конце мая. Важно отметить, что в данном регионе осадки теплого периода (с мая по сентябрь) преобладают в годовой структуре распределения (по данным ГМС). Отрицательное воздействие на природную среду Надымского района в настоящее время осуществляется, главным образом, со стороны нефтегазового комплекса. Несовершенство технологии добычи нефти и газа обуславливает постоянное сжигание колоссального объема газа на факелах. Кроме того, значительную долю в выбросы вносят объекты теплоэнергетики.

Различия в уровнях атмосферного загрязнения городов Надыма и Салехарда определяются орографическими особенностями местоположения изучаемых территорий и отличиями в высоте облачности, на которой формируются осадки. В Надыме основное количество осадков формируется на высоте выше 600 м, в Салехарде – ниже 600 м. Вслед-

ствие этого вклад антропогенных источников локального и регионального уровней в общее загрязнение атмосферного воздуха в Салехарде несколько выше, чем в Надыме [6-7]. Результаты определения ртути в атмосферных осадках городов Надым и Салехард, полученные для разных периодов, приведены в таблице 2.

Концентрации ртути в атмосферных осадках изменялись в холодный период от <0,5 нг/л (менее предела обнаружения) до 63,3 нг/л, а в теплый – от 1 до 29,4 нг/л. Минимальные и максимальные концентрации отличаются незначительно между периодами, исключение составляют краткосрочные ее повышения в весенний период. Сравнение средних концентраций в городах Надым и Салехард показало, что они находятся на близком уровне: 6,7 и 7,0 нг/л, соответственно, однако медианные значения отличались почти в два раза. Обычно среднеарифметические концентрации имеют несколько завышенные значения, что связано с непропорциональным увеличением вклада слабых непродолжительных осадков за счет высоких концентраций в них. Сезонное и межгодовое сравнение концентраций Hg в ат-

мосферных осадках представлено на рисунке 2.

Несмотря на наблюдаемое в последние годы на многих мониторинговых станциях США, Канады и Европы снижение концентраций ртути в воздухе и атмосферных выпадениях, которое объясняется сокращением антропогенных выбросов, для арктических регионов подобного устойчивого тренда не выявлено. В высоких северных широтах (выше 60° с.ш.) эти тенденции проявляются более слабо и менее значимо: от –0,9 до +0,1 % в год. Сильные источники эмиссии в Южной и Восточной Азии компенсируют сокращение осаднения ртути в глобальном масштабе [2, 8-13]. В атмосферных осадках г. Надым наблюдается существенное повышение концентраций в 2017-2018 гг. При существующей системе циркуляции воздуха в зимний период осуществляется транспортировка загрязняющих веществ от источников, удаленных на тысячи километров от Арктического региона (из промышленно развитых регионов Европы, Азии и Северной Америки), в летний же период возрастает вклад меридиональных переносов от среднеудаленных и локальных источников загрязнения.

Таблица 1

Критерии качества метода US EPA 1631

Параметры	Методические критерии	Полученные результаты
<i>Начальная точность и степень извлечения (IPR), %</i>		
Начальная точность (RSD)	21	4,7
Степень извлечения (Recovery)	79-121	83,2
<i>Влияние матрицы пробы (MS и MSD)</i>		
Степень извлечения (Recovery)	71-125	97,5
Относительная доля различия (RPD), %	24	2,5

Таблица 2

Уровни содержания ртути в атмосферных осадках городов Надым и Салехард, нг/л

Город	Min	Max	Ср.ариф.	Ср. (медиана)	Примечание
<i>Холодный период</i>					
Салехард	2,7	26,1	7,0	5,9	05.12.2016 – 07.03.2017
Надым	<0,5	27,5	6,7	3,5	26.12.2016 – 29.05.2017
	1,0	63,3	13,8	10,7	09.11.2017 – 29.05.2018
	1,1	27,4	9,2	7,9	15.10.2018 – 29.01.2019
<i>Теплый период</i>					
Надым	3,7	22,6	8,5	7,5	30.05.2017 – 08.11.2017
	1,0	29,4	12,2	10,0	04.06.2018 – 12.10.2018

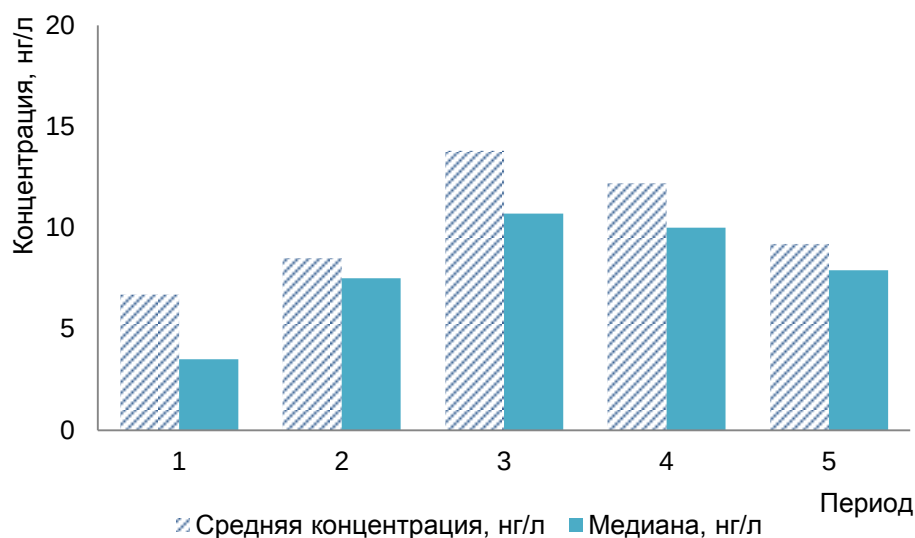


Рис. 2. Концентрация ртути в атмосферных осадках г. Надым, 2016-2019 гг.:

1 – холодный 2016-2017 гг.; 2 – теплый 2017 г.; 3 – холодный 2017-2018 гг.;
4 – теплый 2018 г.; 5 – холодный 2018-2019 гг.

Таким образом, ртуть в составе атмосферных выпадений может быть как локально-регионального происхождения, так и поступать в результате дальнего переноса. Чтобы выявить причины увеличения концентраций в последние годы были рассчитаны средневзвешенные сезонные и годовые концентрации и потоки.

Средневзвешенные концентрации

Для репрезентативной оценки уровня загрязнения ртути в различные сезоны года целесообразно использовать ее средневзвешенные концентрации в атмосферных осадках, которые рассчитывали по формуле для единичных событий с учетом вклада каждого события в водном эквиваленте (1):

$$C_{\text{ср.вз}} = \frac{\sum C_i \times P_i}{\sum P} \quad (1)$$

C_i – концентрация вещества в i -ой пробе (нг/дм³); P_i – количество осадков i -ой пробы в водном эквиваленте (мм); P – общее количество осадков за сезон в водном эквиваленте (мм).

Средневзвешенные концентрации более объективно представляют уровень загрязнения по сравнению со средними концентрациями, которые в городах Надым и Салехард близки между собой

(табл. 2). Средневзвешенные значения ртути в атмосферных осадках в г. Салехард почти в два раза ниже, чем в г. Надым в холодный период 2016-2017 гг. (рис. 3), это различие подтверждается результатами анализа в этих же пробах содержания избыточных сульфатов (ex-SO_4^{2-}), которые являются показателями антропогенного загрязнения атмосферы. Содержания ex-SO_4^{2-} (в % в составе сульфатов) составили 37 и 19 в 2016-2017 гг., 34 и 8 в 2017/2018 гг. – для Салехарда и Надыма, соответственно [7]. Таким образом, загрязнение атмосферы Салехарда определяется преимущественно региональными и локальными источниками, тогда как для Надыма основным источником загрязняющих веществ является дальний перенос, а внутриконтинентальные региональные источники вносят меньший вклад в их поступление.

В г. Надым средневзвешенные концентрации ртути в атмосферных осадках в холодные периоды находятся на близком уровне (период 2018-2019 гг. является неполным, поэтому значение меньше), в летний же период 2018 г. наблюдается значительное повышение концентраций (рис. 3).

В теплые периоды года высокие региональные концентрации могут быть связаны с поступлением ртути при прогреве поверхности тундры, в холодные – ее высокие концентрации обусловлены обильным сжиганием топлива. Разгар лета в Арктике начинается с середины мая, и в это время суммарная солнечная радиация достигает максимальных значений для всего земного шара – 1200 МДж/м². Это происходит из-за высокой прозрачности атмосферы и 24-часового солнечного сияния в течение всего полярного дня. В целом по Северному полушарию весенний и летний периоды 2018 г. стали вторыми самыми теплыми периодами с 1958 г. В Арктике 2018 г. был очень теплым (второй с 1936 г.), аномалия среднегодовой температуры воздуха в широтной зоне 70–85° с.ш. (к которой относится Надым) составляла 3°C. [14].

Исследование содержания тяжелых металлов и ртути в атмосферных осадках Арктических территорий активно

проводилось в разные годы учеными разных стран, в т.ч. российскими [15–19]. Так, в Мурманской области в районе Дальних Зеленцах ее концентрации варьировали в пределах от 2 до 29 нг/л, а средневзвешенная (2001) концентрация составляла 6 нг/л [15]. Для удаленных мест Канадской Арктики и Аляски было показано, что межгодовая изменчивость в течение изученного периода незначительна [19]. Сравнение Hg концентраций в атмосферных осадках г. Надым с аналогичными концентрациями для удаленных мест Арктики показало, что и медиана, и средневзвешенные концентрации ртути в г. Надым находятся на более высоком уровне (табл. 3).

Средневзвешенная годовая концентрация ртути в атмосферных осадках г. Надым, рассчитанная за три года, сопоставима с величинами, сообщаемыми для других урбанизированных территорий (рис. 4).



Рис. 3. Сезонные средневзвешенные концентрации ртути в атмосферных осадках городов Надым и Салехард, нг/л

Таблица 3
Концентрация ртути в атмосферных осадках г. Надым и ряда удаленных мест Арктики

Местоположение	Медиана, нг/л	Средневзвешенная концентрация, нг/л
Nome	3,5	6,2
Glacier Bay National Park	1,8	1,9
Dutch Harbor	2,3	2,9
Дальние Зеленцы	–	6,0
Надым	8,1	9,6

Весеннее истощение атмосферных

концентраций ртути

Значительный вклад в поступление ртути на подстилающую поверхность для арктических территорий вносит такое явление как AMDE, так называемые «события атмосферного истощения ртути», которые могут приводить к дополнительному осаждению в Арктике от десятков до сотен тонн Hg ежегодно [20]. Впервые эффект истощения атмосферной ртути в воздухе был зафиксирован (ее концентрации составляли $< 1 \text{ нг/м}^3$) на полярной станции «Алерт» (Канада) в 1995 г. Было установлено, что резкое уменьшение ее концентраций в приземном слое атмосферы происходит преимущественно в весенний период. Исследования 2011-2015 гг. показали, что AMDE равномерно распределяется с апреля по май (по 38 %) [21]. Этот процесс является основным фактором стока ртути из атмосферы, что приводит к ее осаждению на поверхность снега и льда в прибрежной зоне арктических морей [22]. Далее, после ее выведения из атмосферы и выпадения на подстилающую поверхность она проникает во все экосистемы Арктики. События AMDE во время полярной весны тесно связаны с явлениями истощения тропосферного озона (ODE), катализируемыми бромом (т.е. Hg во время наибольшей активности солнечной радиации переходит из устойчивой элементарной в реактивную форму и, реагируя с галогенами, сорбируется на частицах морского аэрозоля).

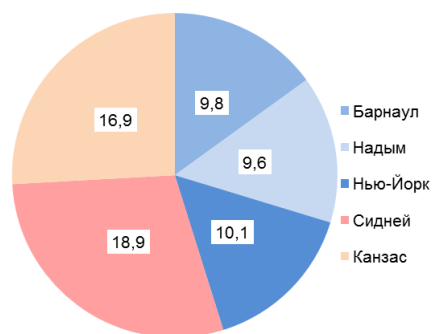


Рис. 4. Средневзвешенные концентрации Hg для различных урбанизированных территорий, нг/л

На территории российской Арктики подобное исследование было проведено на станции «Амдерма» (вблизи побережья Карского моря) [15]. В нашем исследовании максимальные значения также были обнаружены в весенний период, что вероятнее всего, связано с явлением AMDE. На рисунке 5 приведено изменение Hg в атмосферных осадках городов Надым и Салехард (единичные события), демонстрирующее значимый вклад AMDE в общегодовое ее выпадение с атмосферными осадками. Вклад атмосферных осадков, выпадающих в период AMDE, в общегодовое выпадение ртути составляет в 2016/2017 гг. – 12,3 %, а в 2017/2018 гг. – 30,4 %.

Obrist и коллеги [23], используя комбинацию прямых измерений потоков и анализа стабильных изотопов ртути, показали, что в составе ее общего поступления на территорию внутренней арктической тундры выпадения Hg(0) (71 %) преобладали над выпадением за счет атмосферных осадков (5 %) и AMDE (24 %).

Потоки влажного осаждения

С помощью расчета потоков осаждения (2) проведена количественная оценка выпадения ртути на подстилающую поверхность в различные годы и сезоны (рис. 6).

$$\Pi = \frac{C \times P \times 0,1}{S} \quad (2)$$

где Π – поток вещества (мкг/м^2); C – концентрация вещества в пробе (мкг/дм^3); P – количество осадков в водном эквиваленте (мм); S – площадь пробоотборника (дм^2).

Значения потоков в Надыме варьируют в пределах от 0,47 до 1,84 мкг/м^2 , а среднегодовой поток осаждения за изученный период составил 1,8 мкг/м^2 . При сравнении рассчитанных потоков осаждения ртути г. Надым с другими регионами мира обнаружено, что величины в г. Надым существенно ниже, чем в других регионах (Северная Америка –

9,5 мкг/м², Европа – 6,8 мкг/м², Китай – 12,6 мкг/м², в т.ч. удаленные места Китая – от 2 до 7,2 мкг/м²) и сопоставимы с удаленными территориями арктической зоны (Nome – 2,3 мкг/м², Glacier Bay National Park – 3,0 мкг/м², Dutch Harbor 4,5 мкг/м²) [19]. В последние 10 лет не наблюдалось существенного изменения потоков осаждения ртути для арктических территорий, для восточной части США выявлен тренд к снижению, тогда как для западной части изменения были незначительны или увеличивались несмотря на отсутствие увеличения локальной эмиссии ртути, как было показано для мониторинговых точек Национальной сети наблюдений ртутных выпадений США (MDN) [9, 17, 24].

В холодный период года потоки влажного осаждения ртути находятся на близком уровне 0,64-0,65 мкг/м², тогда как в теплый период они изменяются существенно 0,47-1,84 мкг/м². Резкое повышение поступления ртути наблюдается в теплый период 2018 г. Поскольку это не связано с существенным

изменением количества выпавших осадков в летний период, то увеличение потока осаждения ртути может объясняться ее региональным поступлением при таянии вечной мерзлоты, обусловленном высокими температурами в данный период, о чем было сказано выше. Индикатором состояния многолетнемерзлых грунтов, отражающим метеорологические условия отдельных лет, является мощность сезонно-талого слоя (СТС). В Западной Сибири увеличение мощности СТС наиболее значительное отмечалось в районе Надыма – на 37 см по сравнению с 2017 г. [14].

В исследованиях последних лет отмечается, что Арктика является территорией круговорота ртути с высокими стоками и большими ее запасами. В вечномерзлых почвах содержится почти в два раза больше ртути, чем во всех других почвах, океане и атмосфере вместе взятых, и она готова к высвобождению в результате таяния вечной мерзлоты в течение следующего столетия [13, 23, 25-26].

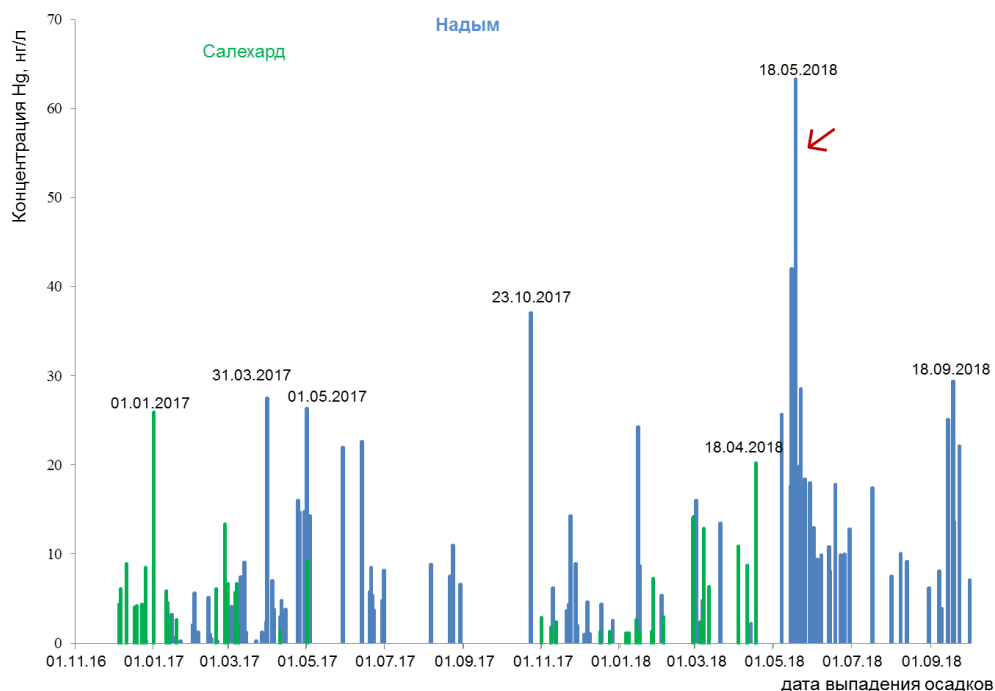


Рис. 5. AMDE для городов Надым и Салехард

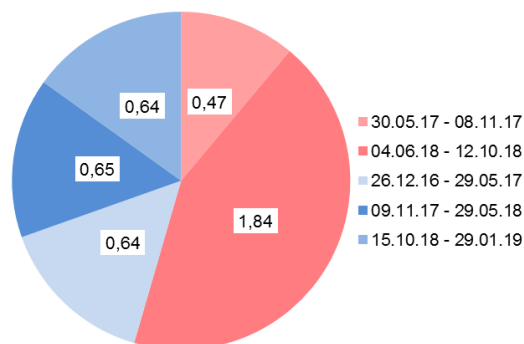


Рис. 6. Потоки влажного осаждения Hg с атмосферными осадками г. Надым, мкг/м^2 :
голубые тона – холодные периоды,
розовые – теплые.

Поскольку влажные выпадения ртути составляют важную часть ее общего баланса, то результаты многолетних натурных наблюдений могут быть использованы для модельных расчетов и прогнозов, а также понимания атмосферного круговорота Hg в высоких широтах [21].

Работа выполнена в рамках госзадания ИВЭП СО РАН по проекту 0383-2019-0002 «Климатические и экологические изменения и региональные особенности их проявления на территории Сибири по данным палеоархивов и атмосферных осадков», номер госрегистрации АААА-А17-117041210242-1.

Авторы выражают благодарность за отбор проб и сотрудничество коллег Сектора эколого-биологических исследований ГКУ ЯНАО НЦИА д.б.н. Е.В. Агбалян и Е.В. Шинкарук.

Список литературы

1. Durnford D., Dastoor A., Figueras-Nieto D., Ryjkov A., Long range transport of mercury to the Arctic and across Canada // Atmos. Chem. Phys. – 2010. – 10. – P. 6063-6086.
2. AMAP/UN Environment. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2018. Arctic Monitoring and Assessment Programme: Oslo, Norway; UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch: Geneva, Switzerland, 2019. – P. 426.
3. Driscoll C.T., Mason R.P., Chan H.M., Jacob D.J., Pirrone N. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects // Environ. Sci. Technol. – 2013. – 47(10):4967-83. – doi: 10.1021/es305071v.
4. Сайт Росгидромет [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.meteorf.ru/>.
5. US EPA Method 1631, Revision E: Mercury in water by oxidation, purge and trap, and cold vapor atomic fluorescence spectrometry. In U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology, Engineering and Analysis Division (4303), Washington, D.C., 2002.
6. Малыгина Н.С., Эйрих А.Н., Агбалян Е.В., Папина Т.С. Изотопный состав и регионы-источники зимних осадков в Надымской низменности // Лед и Снег. – 2020. – 60(1). – С. 98-108. – <https://doi.org/10.31857/S2076673420010026>.
7. Папина Т.С. Оценка трансграничного переноса загрязняющих веществ на территорию ЯНАО (первые результаты совместных исследований ИВЭП СО РАН и НЦИА) // Обдорья. Современные научные исследования в Арктике: сб. тезисов X юбилейной научно-практ. конф. – Салехард, 2018. – С. 38.
8. Zhang Y., Jacob D.J., Horowitz H.M., Chen L., Amos H.M., Krabbenhoft D.P., Slemr F., St. Louis V.L., Sunderland E.M. Global atmospheric mercury trend // PNAS. – 2016. – 113 (3). – 526-531. – DOI: 10.1073/pnas.1516312113.
9. Olson C.I., Fahraei H., Driscoll C.T. Mercury emissions, atmospheric concentrations, and wet deposition across conterminous United States: changes over 20 years of monitoring // Environ. Sci. Technol. Lett. – 2020. – 7. – P. 376-381.

10. Weiss-Penzias P.S., Gay D.A., Brigham M.E., Parsons M.T., Gustin M.S., Ter Schure A. Trends in mercury wet deposition and mercury air concentrations across the US and Canada // 2016-Sci Total Environ. – 568. – P. 546-556.
11. Mao H., Ye Z., Driscoll C. Meteorological effects on Hg wet deposition in a forested site in the Adirondack region of New York during 2000-2015 // *Atm. Environ.* – 2017. – 168. – 90-100. – doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.058.
12. Tang Y., Wu Q., Gao W., Wang S., Li Z., Liu K., Han D. Impacts of Anthropogenic Emissions and Meteorological Variation on Hg Wet Deposition in Chongming, China // *Atmosphere.* – 2020. – 11(12):1301. – doi.org/10.3390/atmos11121301.
13. Bishop K., Shanley J.B., Riscassi A., Wit H.A., Eklof K., Meng B., Mitchell C., Osterwalder C., Schuster P.F., Webster J., Zhu W. Recent advances in understanding and measurement of mercury in the environment: Terrestrial Hg cycling // *Sci. Total Environ.* – 721. – 137647.
14. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 г. – М.: Росгидромет, 2019. – 79 с.
15. Панкратов Ф.Ф., Махура А.Г., Попов В.Н., Кац О.В. Увеличение случаев истощения ртути в зимние сезоны во время длительного мониторинга элементарной ртути в российской Арктике // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: сб. тезисов Всерос. конф. Междунар. участием. – Архангельск: ИД САФУ, 2014 – 199 с.
16. Голубева Н.И. Загрязнение атмосферы Арктики токсичными тяжелыми металлами // Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря. – М.: Наука, 2007. – С. 173-189.
17. National Atmospheric Deposition Program. Annual Data, all MDN sites [Электронный ресурс]. – URL: <http://nadp.sws.uiuc.edu/data/mdn/annual.aspx>.
18. Dommergue A., Larose C., Fann X., Clarisse O., Foucher D., Hintelmann H., Schneider D., and Ferrari C. P. Deposition of mercury species in the Ny-Alesund Area (79°N) and their transfer during snowmelt // *Environ. Sci. Technol.* – 2010. – 44. – P. 901-907. – doi:10.1021/es902579m.
19. Pearson C., Howard D., Obrist D., Moore C.W. Mercury and trace metal wet deposition across five stations in Alaska: controlling factors, spatial patterns, and source regions // *Atmospheric Chemistry and Physics.* – 2019. – 19(10). – P. 6913-6929.
20. Skov H., Christensen J.H., Goodsite M.E., Heidam N.Z., Jensen B., Wahlin, P. et al. Fate of elemental mercury in the arctic during atmospheric mercury depletion episodes and the load of atmospheric mercury to the arctic // *Environ. Sci. Technol.* – 2004. – 38. – P. 2373-2382.
21. Angot H., Dastoor A., De Simone F., Gårdfeldt K., Gencarelli C.N., Hedgecock I. M., Langer S., Magand O., Mastromonaco M.N., Nordstrøm C., Pfaffhuber K.A., Pirrone N., Ryjkov A., Selin N.E., Skov H., Song S., Sprovieri, F., Steffen, A., Toyota, K., Travníkov, O., Yang, X., and Dommergue, A. Chemical cycling and deposition of atmospheric mercury in polar regions: review of recent measurements and comparison with models // *Atmos. Chem. Phys.* – 2016. – 16. – P.10735-10763. – <https://doi.org/10.5194/acp-16-10735-2016>.
22. Steffen A., Douglas T., Amyot M., Ariya P., Aspmo K., Berg T., Bottenheim J., Brooks S., Cobbett F., Dastoor A., Dommergue A., Ebinghaus R., Ferrari C., Gardfeldt K., Goodsite M E., Lean D., Poulain A. J., Scherz C., Skov H., Sommar J., and Temme C. A synthesis of atmospheric mercury depletion event chemistry in the atmosphere and snow // *Atmos. Chem. Phys.* – 2008. – 8. – P. 1445-1482. – doi:10.5194/acp-8-1445-2008.

23. Obrist, D., Agnan, Y., Jiskra, M., Olson, C.L., Colegrove, D.P., Hueber, J., et al. Tundra uptake of atmospheric elemental mercury drives Arctic mercury pollution // *Nature*. – 2017. – 547. – 201.

24. Сайт Состояние загрязнения ртутью. 2019 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-iw4-02h3.pdf>.

25. Schuster P.F., Schaefer K.M., Aiken G.R., Antweiler R.C., Dewild J.F., Gryziec J.D., et al. Permafrost stores a globally significant amount of mercury // *Geophys. Res. Lett.* – 2018. – 45 (3). – P. 1463-1471.

26. Schaefer K., Elshorbany Y., Jafarov E. et al. Potential impacts of mercury released from thawing permafrost // *Nature Commun.* – 2020. – 11. – 4650. – <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18398-5>.

References

1. Durnford D., Dastoor A., Figueras-Nieto D., Ryjkov A., Long range transport of mercury to the Arctic and across Canada // *Atmos. Chem. Phys.* – 2010. – 10. – P. 6063-6086.

2. AMAP/UN Environment. Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2018. Arctic Monitoring and Assessment Programme: Oslo, Norway; UN Environment Programme, Chemicals and Health Branch: Geneva, Switzerland, 2019. – P. 426.

3. Driscoll C.T., Mason R.P., Chan H.M., Jacob D.J., Pirrone N. Mercury as a global pollutant: sources, pathways, and effects // *Environ. Sci. Technol.* – 2013. – 47(10):4967-83. – doi: 10.1021/es305071v.

4. Sayt Rosgidromet [Elektronny resurs]. – URL <http://www.meteorf.ru/>.

5. US EPA Method 1631, Revision E: Mercury in water by oxidation, purge and trap, and cold vapor atomic fluorescence spectrometry. In U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, Office of Science and Technology, Engineering and Analysis Division (4303), Washington, D.C., 2002.

6. Malygina N.S., Eyrikh A.N., Agbalyan Ye.V., Papina T.S. Izotopny sostav i regiony-istochniki zimnikh osadkov v Nadym'skoy nizmennosti // *Led i Sneg*. – 2020. – 60(1). – S. 98-108. – <https://doi.org/10.31857/S2076673420010026>.

7. Papina T.S. Otsenka transgranichnogo perenosa zagryaznyayushchikh veshchestv na territoriyu YaNAO (pervye rezultaty sovmestnykh issledovaniy IVEP SO RAN i NTsIA) // *Obdoriya. Sovremennye nauchnye issledovaniya v Arktike: sb. tezisov X yubileynoy nauchno-prakt.konf.* – Salekhard, 2018. – S. 38.

8. Zhang Y., Jacob D.J., Horowitz H.M., Chen L., Amos H.M., Krabbenhoft D.P., Slemr F., St. Louis V.L., Sunderland E.M. Global atmospheric mercury trend // *PNAS*. – 2016. – 113 (3). – 526-531. – DOI: 10.1073/pnas.1516312113.

9. Olson C.I., Fahraei H., Driscoll C.T. Mercury emissions, atmospheric concentrations, and wet deposition across conterminous United States: changes over 20 years of monitoring // *Environ. Sci. Technol. Lett.* – 2020. – 7. – P. 376-381.

10. Weiss-Penzias P.S., Gay D.A., Brigham M.E., Parsons M.T., Gustin M.S., Ter Schure A. Trends in mercury wet deposition and mercury air concentrations across the US and Canada // *2016-Sci Total Environ.* – 568. – P. 546-556.

11. Mao H., Ye Z., Driscoll C. Meteorological effects on Hg wet deposition in a forested site in the Adirondack region of New York during 2000-2015 // *Atm. Environ.* – 2017. – 168. – 90-100. – doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.058.

12. Tang Y., Wu Q., Gao W., Wang S., Li Z., Liu K., Han D. Impacts of Anthropogenic Emissions and Meteorological Variation on Hg Wet Deposition in Chongming, China // *Atmosphere*. – 2020. – 11(12):1301. – doi.org/10.3390/atmos11121301.

13. Bishop K., Shanley J.B., Riscassi A., Wit H.A., Eklof K., Meng B., Mitchell C., Osterwalder C., Schuster P.F., Webster J., Zhu W. Recent advances in understanding and measurement of mercury in the environment: Terrestrial Hg cycling // *Sci. Total Environ.* – 721. – 137647.
14. Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossyskoy Federatsii za 2018 g. – M.: Rosgidromet, 2019. – 79 c.
15. Pankratov F.F., Makhura A.G., Popov V.N., Kats O.V. Uvelicheniye sluchayev is-toshcheniya rtuti v zimniye sezony vo vremya dolgovremennogo monitoringa elementarnoy rtuti v rossyskoy Arktike // *Sostoyaniye arkticheskikh morey i territory v usloviyakh izmeneniya klimata: sb. tezisev Vseros. konf. Mezhdunar. uchastiyem.* – Arkhangelsk: ID SAFU, 2014 – 199 s.
16. Golubeva N.I. Zagryazneniye atmosfery Arktiki toksichnymi tyazhelymi metallami // *Biologiya i okeanografiya Severnogo morskogo puti: Barentsevo i Karskoye morya.* – M.: Nauka, 2007. – S. 173-189.
17. National Atmospheric Deposition Program. Annual Data, all MDN sites [Электронный ресурс]. – URL: <http://nadp.sws.uiuc.edu/data/mdn/annual.aspx>.
18. Dommergue A., Larose C., Farn X., Clarisse O., Foucher D., Hintelmann H., Schneider D., and Ferrari C. P. Deposition of mercury species in the Ny-Alesund Area (79°N) and their transfer during snowmelt // *Environ. Sci. Technol.* – 2010. – 44. – P. 901-907. – doi:10.1021/es902579m.
19. Pearson C., Howard D., Obrist D., Moore C.W. Mercury and trace metal wet deposition across five stations in Alaska: controlling factors, spatial patterns, and source regions // *Atmospheric Chemistry and Physics.* – 2019. – 19(10). – P. 6913-6929.
20. Skov H., Christensen J.H., Goodsite M.E., Heidam N.Z., Jensen B., Wahlin, P. et al. Fate of elemental mercury in the arctic during atmospheric mercury depletion episodes and the load of atmospheric mercury to the arctic // *Environ. Sci. Technol.* – 2004. – 38. – P. 2373-2382.
21. Angot H., Dastoor A., De Simone F., Gårdfeldt K., Gencarelli C.N., Hedgcock I. M., Langer S., Magand O., Mastromonaco M.N., Nordstrøm C., Pfaffhuber K.A., Pirrone N., Ryjkov A., Selin N.E., Skov H., Song S., Sprovieri, F., Steffen, A., Toyota, K., Travnikov, O., Yang, X., and Dommergue, A. Chemical cycling and deposition of atmospheric mercury in polar regions: review of recent measurements and comparison with models // *Atmos. Chem. Phys.* – 2016. – 16. – P.10735-10763. – <https://doi.org/10.5194/acp-16-10735-2016>.
22. Steffen A., Douglas T., Amyot M., Ariya P., Aspmo K., Berg T., Bottenheim J., Brooks S., Cobbett F., Dastoor A., Dommergue A., Ebinghaus R., Ferrari C., Gardfeldt K., Goodsite M E., Lean D., Poulain A. J., Scherz C., Skov H., Sommar J., and Temme C. A synthesis of atmospheric mercury depletion event chemistry in the atmosphere and snow // *Atmos. Chem. Phys.* – 2008. – 8. – P. 1445-1482. – doi:10.5194/acp-8-1445-2008.
23. Obrist, D., Agnan, Y., Jiskra, M., Olson, C.L., Colegrove, D.P., Hueber, J., et al. Tundra uptake of atmospheric elemental mercury drives Arctic mercury pollution // *Nature.* – 2017. – 547. – 201.
24. Sayt Sostoyaniye zagryazneniya rtutyu. 2019 [Elektronnyy resurs]. – URL: <https://www.pca.state.mn.us/sites/default/files/wq-iw4-02h3.pdf>.
25. Schuster P.F., Schaefer K.M., Aiken G.R., Antweiler R.C., Dewild J.F., Gryziec J.D., et al. Permafrost stores a globally significant amount of mercury // *Geophys. Res. Lett.* – 2018. – 45 (3). – P. 1463-1471.
26. Schaefer K., Elshorbany Y., Jafarov E. et al. Potential impacts of mercury released from thawing permafrost // *Nature Commun.* – 2020. – 11. – 4650. – <https://doi.org/10.1038/s41467-020-18398-5>.

ASSESSMENT OF MERCURY CONCENTRATIONS AND FLUXES FROM THE ATMOSPHERE ON THE TERRITORY OF THE YAMAL-NENETS AUTONOMOUS DISTRICT

L.V. Shol, S.S. Eyrikh, E.G. Ilyina

Altai State University, Barnaul, E-mail: lilichkashol661@gmail.com, ilina@chem.asu.ru

Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Барнаул, E-mail: steyrikh@gmail.com

The content of mercury in atmospheric wet precipitation of Nadym and Salekhard varied in the range of 0,5-63,3 ng/L and 2,7-26,1 ng/L, respectively. Volume-weighted total mercury concentration (VWC) in atmospheric precipitation during the cold period in Nadym is twice more than in Salekhard. Annual VWC in atmospheric precipitation in Nadym is comparable with the values obtained for other urbanized regions of the world, although it is much higher than values reported for remote places in the Arctic. Highest Hg concentrations observed in the spring time most likely attributed to Atmospheric Mercury Depletion Events (AMDE). The contributions of atmospheric precipitation during AMDE period to the annual Hg deposition were 12,3 % and 30,4 % in 2016/2017 and 2017/2018, respectively. The average annual Hg fluxes in Nadym (for 3-year) are significantly lower than annual fluxes in other regions (USA, Europe, and China), but comparable with the average annual fluxes for remote territories of the Arctic zone. In the cold periods of the year, the Hg fluxes with wet deposition in Nadym are at a similar level (0,64-0,65 $\mu\text{g}/\text{m}^2$), while they differ significantly in the warm period (0,47-1,84 $\mu\text{g}/\text{m}^2$). The sharp increase in mercury deposition observed in the warm period of 2018 that can be explained by regional input during the thawing of permafrost caused by high temperatures in this period. Temperature in Arctic in 2018 was the second value after 1936 and an increase in the thickness of the seasonally thawed layer in the region Nadym was 37 cm (compared to 2017).

Key words: mercury, Arctic, atmospheric precipitation, volume-weighted concentrations, deposition fluxes, AMDE, permafrost thawing.

Received December 3, 2020

УСЛОВИЯ ПУБЛИКАЦИИ В ЖУРНАЛЕ ♦ PUBLICATION TERMS

Журнал публикует оригинальные (ранее не опубликованные и не направленные в другие издания) научные и научно-популярные статьи, посвященные географическим и экологическим исследованиям, естественно-географическому образованию, краеведению, а также отражающие деятельность Русского географического общества. Авторы представляют статьи на русском языке, тщательно отредактированные. Направленные в журнал *научные статьи (сообщения)* проходят независимое рецензирование. Редакция оставляет за собой право вносить редакторскую правку и отклонять статьи.

Статья оформляется следующим образом:

- на русском языке: УДК*; название статьи (прописными буквами); Ф.И.О. автора/ов (полностью), должность и звание, место работы, контактная информация для взаимодействия с автором: E-mail (обязательно) или номер телефона, факс;
- аннотация (300–400 знаков без учета пробелов) и ключевые слова*;
- далее – текст статьи (структурированный на несколько разделов) и библиографический список;
- на английском языке*: название статьи, Ф.И.О. автора/ов, аннотация (500-600 знаков без учета пробелов), ключевые слова;
- примеры в тексте статьи оформляются курсивом;
- примечания к тексту – в виде постраничных сносок со сквозной нумерацией;
- рисунки и таблицы – по ширине текста и дополнительно в формате jpg, bmp;
- библиографический список – по ГОСТу 7.0.5-2008, в порядке цитирования;
- библиографические ссылки в тексте статьи оформляются в квадратных скобках. Например: ТЕКСТ, ТЕКСТ, ТЕКСТ [1]. В случае дословной цитаты, указывается также номер страницы приведенной цитаты, т.е. «ТЕКСТ, ТЕКСТ, ТЕКСТ ...» [2, с. 5].

** – только для статей раздела «Научные сообщения»*

Статью необходимо печатать:

- в редакторе MS WORD;
- формате А 4, шрифтом 12 пт. (Times New Roman);
- отступ для абзаца – 0,7 см;
- текст – без переносов;
- межстрочный интервал – 1,0;
- отступ от сторон листа – 2,5 см;
- страницы статьи должны быть пронумерованы только для печатной версии, для электронного варианта – без нумерации страниц.

Образец оформления статей

УДК 910 + 332.1

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ... НАЗВАНИЕ СТАТЬИ... НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

Александр Николаевич Донцов¹, Алексей Викторович Звонцов²

¹Институт водных и экологических проблем, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1, dontsov@iwep.ru.

²Алтайский государственный университет, 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 61, zvontsov@iwep.ru.

Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация... Аннотация...

Ключевые слова: ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова.

ТЕКСТ... ТЕКСТ... ТЕКСТ... [1]. ТЕКСТ... [2]. ТЕКСТ... ТЕКСТ... [3]. ТЕКСТ... ТЕКСТ... [4]. ТЕКСТ... «ТЕКСТ...» [5, с. 24].

*Журнал
Известия Алтайского отделения
Русского географического общества*

№ 4 (59) 2020

Свидетельство о регистрации СМИ
ПИ № ТУ22-00534

Зарегистрирован Управлением Федеральной службы по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
по Алтайскому краю и Республике Алтай

Подписано в печать 10.12.2020. Дата выхода в свет 14.12.2020.
Формат 60х84 1/8. Печать – цифровая. П.л. 12,0
Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Пять плюс»
656049, г. Барнаул, ул. Крупской, 97,
Тел.: +7(385-2) 62-32-07,
e-mail: fiveplus07@mail.ru
www.five-plus.ru

Цена свободная

Возрастная категория – 12+