УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ – АЛТАЙСКОЕ КРАЕВОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ВОО «РУССКОЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО»

ИЗВЕСТИЯ АЛТАЙСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

(ИЗВЕСТИЯ АО РГО)

Журнал *ISSN 2410-1192*
Март 2020 *№ 1 (56)*
Основан в 1961 году *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
Ельчининова 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
Куролап 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
Ревякин В.С., д.г.н., проф., г. Барнаул
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://journal.rgo-altay.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 *ISSN 2410-1192*
March, 2020 *No 1 (56)*
Founded in 1961 *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. Androkhanov (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. Elchininova (Gorno-Altaisk, 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. Kirsta (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 Choijinjav (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)
Prof. V.S. Revyakin (Barnaul, 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-Altaisk, 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://journal.rgo-altay.ru

Certificate of mass media registration of Russian Federation ПИ No ТУ22-00534
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

Зиновьева А.Е. К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ 5

РАЗДЕЛ 2. ГЕОЛОГИЯ

Коржнев В.Н. О ПРОБЛЕМАХ СТРАТИГРАФИИ ВЕНДА И ПАЛЕОЗОЯ СЕВЕРНОГО АЛТАЯ 14

РАЗДЕЛ 3. ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

Галахов В.П., Самойлова С.Ю., Мардасова Е.В. ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КРУПНЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ЕДИНИЦ ГОРНОГО БАССЕЙНА НА ТАЛЫЙ СТОК 24

Кирста Ю.Б., Ловцкая О.В. УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОЛОВОДЬЯ ГОРНЫХ РЕК 34

РАЗДЕЛ 4. ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Акулова О.Б., Букатый В.И. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА 53

Вдовина О.Н., Безматерных Д.М. НОВЫЕ ДАННЫЕ О МАКРОЗООБЕНТОСЕ РЕКИ БОЛЬШАЯ ПЁРА 63

Романенко Г.А. К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ 71

Салтыков А.В., Балыкин С.Н., Пузанов А.В. ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ РП-511 ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПУСКА РКН ИЗ СОСТАВА КРК «АМУР» С КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ» 78

Цхай А.А. ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ, СХОДНЫХ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ 96

CONTENTS

SCIENTIFIC REPORTS

SECTION 1. GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Zinovieva A.E. ON CLASSIFICATION OF ECOSYSTEM SERVICES 5

SECTION 2. GEOLOGY

Korzhnev V.N. ABOUT THE PROBLEMS OF STRATIGRAPHYVENDIAN AND PALEOZOIC OF THE NORTH ALTAI.....14

SECTION 3. HYDROLOGY. CLIMATE

Galakhov V.P., Samoilova S.Yu., Mardasova E.V. EFFECT OF A RATIO OF LARGE MORPHOLOGICAL UNITS OF A MOUNTAIN BASIN ON SNOWMELT RUNOFF.....24

Kirsta Y.B., Lovtskaya O.V. UNIVERSAL SIMULATION MODEL OF LONG-TERM FLOOD FORECAST FOR MOUNTAIN RIVERS 34

SECTION 4. ECOLOGY. FLORA. FAUNA

Akulova O.B., Bukatiy V.I. STUDY OF SPECTRAL LIGHT ATTENUATION BY THE EXAMPLE OF LAKES WITH DIFFERENT TROPHIC STATUS.....53

Vdovina O.N., Bezmaternykh D.M. NEW DATA ON MACROZOOBENTHOS OF BOLSHAYA PYORA RIVER 63

Romanenko G.A. TO THE QUESTION OF THE DISTRIBUTION OF PRUSSIAN CARP IN WATER FACILITIES OF THE REPUBLIC OF ALTAI.....71

Saltykov A.V., Balykin S.N., Puzanov A.V. LANDSCAPE AND GEOCHEMICAL SURVEY OF IZ-511 TO ENSURE LAUNCHING SPACE ROCKETS FROM SRC «AMUR» WITH VOSTOCHNY SPACEPORT 78

Tskhai A.A. ABOUT VARIABILITY OF PHOSPHORUS COMPOUNDS IN RESERVOIRS WITH SIMILAR HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS.....96

НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ ♦ SCIENTIFIC REPORTS

Раздел 1 ГЕОГРАФИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Section 1 GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

УДК 504.03

К ВОПРОСУ КЛАССИФИКАЦИИ ЭКОСИСТЕМНЫХ УСЛУГ

А.Е. Зиновьева
Алтайский государственный университет, Барнаул, charming-alin@yandex.ru

Рассмотрено развитие концепции экосистемных услуг и проведен их детальный анализ среди зарубежных и отечественных классификаций. Установлено, что на данный момент ни одна из них не может претендовать на разряд универсальной. При этом наиболее полное определение экосистемных услуг и их систематика представлены в проекте «Оценка экосистем на пороге тысячелетия». Данная классификация применяется в многочисленных исследованиях и удобна при оценке как природных ресурсов экосистем, так и природно-ресурсного потенциала территории. В результате проделанной работы предложена интерпретация, основанная на классификации Ширбе и Вальц (2012). В этой классификации указанные услуги включают места пользования бенефициарами, а также области предоставления этих услуг.

Ключевые слова: экосистемные услуги, экосистемные блага, оценка и классификации экосистемных услуг, природный капитал, природные ресурсы, биоразнообразие.
DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15601
Дата поступления 26.11.2019

Истоки становления концепции экосистемных услуг прослеживаются с 1970-х гг., когда в научной литературе возник ряд новых определений и терминов. Понятие «услуги» (*services*) можно трактовать как некоторые выгоды, получаемые человеком от природы. Кроме того, этот термин в разные периоды становления концепции употреблялся в самых разных коннотациях. Так, в работах Дж. Холдрена и П. Эрлиха можно встретить понятие «природные услуги» (*natural services*) и словосочетание «общественно значимые функции глобальной окружающей среды» (*public-service functions of the global environment*) [1-2]. Это «услуги природы» (*nature's services*) [3] или «услуги окружающей среды» (*environmental services*) [4].

Тем не менее, долгое время в почвоведении и экологии более распространенными терминами были «функции» или «общественно значимые функции глобальной окружающей среды». В экологии этот термин всегда использовался для описания процессов, происходящих в экосистеме, но некоторые авторы, начиная с 1960-1970-х гг., стали использовать его для описания полезности человеку. Термин «экосистемные услуги» был отодвинут в 1980-х гг. на задний план из-за дебатов по устойчивому развитию, но быстро появился и активно стал использоваться в 1990-е гг. с включением экосистемных услуг в профессиональную литературу и повышенным вниманием их экономической ценности.

Изучив историю становления концепции экосистемных услуг, можно заключить, что термин «экосистемные услуги» активно стал употребляться с 1981 г. после его появления в работе

П. Эрлих и А. Эрлих «Вымирание: причины и последствия исчезновения видов», где авторы подчеркивали социальную значимость функций природы. Они также отмечали, что наиболее важной антропоцентрической причиной сохранения разнообразия является роль, которую играют живые организмы, поскольку их истребление оказывает такое влияние на общество, что его существование на планете становится проблемным [5].

В работе И.П. Глазыриной «Природный капитал в экономике переходного периода» рассматривается прямая связь всех вышеупомянутым терминов следующим образом: природный капитал может продуцировать экологические услуги, которые обычно принято называть функциями экосистем. Например, рост ассимиляции отходов и промышленных выбросов обратит внимание на регулирование водного стока и на незамедлительное предотвращение эрозии почв. Таким образом, экосистемными услугами (или функциями) называются информационные, материальные и энергетические потоки, порождаемые запасами природного капитала [6]. Другое определение, отмечающее родственность определений, гласит: экологические услуги – это своего рода функции природы, которые обеспечивают, поддерживают и защищают жизнедеятельность человека по производству, потреблению благ экосистем, или в определенной степени воздействуют на общее благополучие и, таким образом, оказывают воздействие на качество жизни и даже ее существование [7].

В результате изучения проблемы взаимозаменяемости терминов можно заключить, что сейчас отсутствует какое-либо различие между понятиями экологических/экосистемных услуг/функций. Так, в работе Роберта Костанцы подчеркивается, что экосистемные услуги и функции не обязательно представляют взаимно однозначное соответствие. В некоторых случаях одна услуга может являться продуктом двух или более функций экосистемы, тогда как в других случаях одна функция экосистемы способствует двум и более услугам [8].

Стоит еще раз отменить, что совокупного или определенного понятия для определения экосистемных услуг не существует до сих пор. Развитие научного направления, связанного с экосистемными услугами, стимулировало рост научно-популярных дебатов, где ряд ученых принципиально выступал против монетарной оценки богатств природы, полагая, что ценность природы бесконечна и не может иметь денежного выражения, а оценивать ее отдельные элементы абсурдно. Другие ученые, напротив, полагают, что это необходимо делать, т.к. экономическая оценка экосистемных услуг позволит рационально использовать имеющиеся ресурсы, определять инвестиционную привлекательность экологически ориентированных проектов. Поэтому зачастую в различных работах можно встретить абсолютно разные утверждения на этот счет. В глобальном смысле экосистемные услуги понимаются как польза, которую человек получает от функционирования природных комплексов. В первую очередь, это такие блага, которые извлекаются из природного капитала для удовлетворения нужд человека.

Несмотря на значительное количество исследований в области экосистемных услуг, в настоящее время еще не выработано общей, единой их классификации. Связано это с тем, что все исследователи включают разные масштабные перспективы и различные определения, которые впоследствии нелегко сравнивать [9]. При этом существуют три основные международные классификации экосистемных услуг: классификация MEA (Millennium Ecosystem Assessment, 2005), классификация международного проекта TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity, 2010), классификация CICES Европейского агентства по охране

окружающей среды (Common International Classification of Ecosystem Services, 2013).

Материалы и методы исследований

По существующей классификации МЕА экосистемные услуги распределены по следующим категориям: «обеспечивающие»; «регулирующие»; «культурные», непосредственно влияющие на людей, и «поддерживающие», необходимые для сохранения других экосистемных услуг [10]. Исследователи концептуальной рабочей группы доклада «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» отмечают, что некоторые из этих категорий частично совпадают друг с другом, что отражает несовершенство данной классификации, но которая может использоваться для глобальной оценки экосистемных услуг, т.к. учитывает большое количество разнообразных выгод и благ, получаемых от природы.

В 2007 г. после публикации работы «Оценка экосистем на пороге тысячелетия» был инициирован проект «Экономика экосистем и биоразнообразия» (TEEB),в котором предложена классификация, которая используется странами-участниками этого проекта для оценки экосистемных услуг на национальном уровне [11]. Она включает в себя схожие категории, только вместо «поддерживающих услуг» введена другая – «услуги среды обитания» (*habitat services*). Это сделано для того, чтобы подчеркнуть важность обеспечения местообитаний для мигрирующих видов, выведения потомства и для «защиты генных пулов» [12].

Классификация, выдвинутая Европейским агентством по охране окружающей среды, акцентирована на экономическую оценку услуг, хотя создана на базе двух предыдущих. В ней использован методологический подход, основанный на строго соподчиненной иерархии: секция – раздел – группа – класс – тип. Первые четыре уровня могут быть использованы на любой территории, т.к. универсальны, пятый уровень может отличаться в разных регионах, а оценка услуг на нем может быть рассмотрена и проанализирована для любых пользователей, в т.ч. для решения сложных и разнообразных задач. Секции разделены на три категории: обеспечивающие (*Provisioning*), регулирующие (*Regulation & Maintenance*) и культурные (*Cultural*). Поддерживающие услуги объединены с регулирующими [13].

Как видно из приведенных классификаций, они все содержат близкие категории услуг (обеспечивающие, регулирующие, культурные), основанные на видах пользы, которую они дают человек, с небольшими вариациями по их распределению и соотнесению друг с другом.

В классической работе под редакцией известного американского эколога Гретхен Дейли «Услуги природы: общественная зависимость от природных экосистем» [14] в качестве категорий экосистемных услуг выделяются: производство товаров, процессы регенерации, полноценная жизнь (*life-fulfilling*) и сохранение благ.

Еще один подход к определению и экономической оценки экосистемных услуг предложил Р. Констанца со своими коллегами [8]. Согласно сложившемуся к этому времени экосистемному подходу, функциональными единицами пополнения природного капитала всегда будут экосистемы. Экосистемные услуги все чаще рассматриваются в качестве разнообразных потоков и круговоротов, продуцируемые запасами этого капитала, которые в совокупности с человеческой деятельностью, обеспечивают благосостояние его жизни. С точки зрения этого определения, можно заключить, что природные ресурсы и их процессы также являются экосистемными услугами. Тогда концепция ЭУ пришла на смену действующему ресурсному подходу.

В Национальной стратегии сохранения биоразнообразия России (2001), вы-

делены четыре группы жизнеобеспечивающих функций биологического разнообразия, где понимание жизнеобеспечивающих функций близко к понятию экосистемных услуг. В классификациях большинства российских исследователей (Замолодчиков, Павлов, Букварева, Тишков и др.) так же, как и в национальной стратегии сохранения биоразнообразия России отсутствуют услуги по сохранению местообитаний и генофондов, так как по смыслу их надо отнести не к услугам, а к экологическим процессам или структурам [12].

Подобным образом, классификация Ю.В. Лебедева заключается в переименовании или, более верно сказать, присваивании экосистемным услугам определений блага, которые вследствие подразделяются на условия и природные ресурсы на примере лесов [15]. К природным благам здесь относятся все природные ресурсы и, в частности, лесные почвы, а к природным условиям – приносящие социальную и общественную пользу функции экосистем. Свою точку зрения автор аргументирует следующим образом, лесные ресурсы служат для удовлетворения материальных потребностей людей, составляя полноценный товар или продукт, а функции способствуют достижению этого продукта, посредством создания необходимых условий для его производства, если на это необходимы материальные затраты. Другая сторона использования лесных ресурсов связана с предоставлением благоприятных условий для удовлетворения информационных, эстетических или духовных потребностей людей. Лебедев подчеркивает одну особенность средообразующих услуг, поскольку они присущи любому участку лесной территории и могут быть реализованы без каких-либо затрат и любых запросов. Этот важный аспект не может не учитывать то, что продукционные услуги извлекать из природных комплексов проблематично. Средообразующие же услуги могут быть изъяты или использованы напрямую. Что касается информационной функции, то ее проявление может быть отмечено в большом количестве или на особо охраняемых природных территориях, или на любом участке, но с определением ее роли в сохранении ценных видов растений и фауны лесных ландшафтов [16].

Еще под вопросом у российских исследователей остается и определение самих «экосистемных услуг», часто противопоставляемого другим схожим дефинициям или заменяемого «экологическими функциями», «свойствами природы» или «природными благами». Так, например, в работе Д.С. Павлова и Е.Н. Букваревой под экосистемными функциями понимают интегральное влияние экосистемы на окружающую среду, сумму процессов, которую она «выдает на выходе», т.е. некий результат суммарной активности всех входящих в нее живых организмов, а полезность экосистемных функций непосредственно для человека определяют понятием экосистемных услуг [17]. Экосистемные функции имеют ценность для обеспечения целостности экосистем, а в более узком смысле – для жизнедеятельности человека, тогда в этом случае говорят об «услугах» экосистем для человека.

Делая вывод о существующих принципах классификации услуг, можно заметить, что созданные и укоренившиеся в научной практике четыре категории (в разных интерпретациях, обеспечивающие, регулирующие, культурные, информационные) как нельзя точно определяют все блага, производимые природой для человека. Для некоторых из них уже созданы рынки платежей. Соответственно, их легко можно учесть и определить их стоимость, а значит, и ценность для человека [18]. Таким образом, необходимо установить цену других экосистемных услуг, сформировать рынки по использованию, потреблению и оплате за это пользование экосистемных благ. Многочисленные

исследования показали, что в настоящее время есть четыре категории обеспечивающих экосистемных услуг, для которых реально использование компенсационных платежей и создание рынков [18]. Это услуги по обеспечению пресной водой должного качества, поглощению углерода, сохранению биоразнообразия и эстетических свойств ландшафтов.

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ литературы показал, что некоторые ученые иначе понимают определение «экосистемные услуги», нежели первоначальное его значение. Кроме того, они заменяют его другим – ландшафтные услуги [19]. В настоящем исследовании использовано определение «экосистемные услуги», т.к. включает в себя более обширный спектр понятий, чем «ландшафтные». Другой причиной использования термина экосистемных услуг является его распространенность и обоснованность в научной литературе. Можно считать, что приведенные выше понятия в некоторой степени синонимичны, но они не идентичны. Можно привести аргументы в пользу замены первого определения вторым, но будет верным использовать оба термина в зависимости от ситуации. В данной статье авторами приводится классификация экосистемных услуг, включающая следующие категории: производственные, регулирующие и культурные (табл. 1). Это деление основано на анализе уже существующих классификаций, поэтому сохраняет англоязычное наименование услуги, которое может быть встречено в работах зарубежных исследователей экосистемных услуг и аналог его употребления в российских работах по этой тематике.

Иногда классификация должна включать не только названия и описание экосистемных услуг, но и места их извлечения бенефициарами [20], чтобы обеспечить устойчивое управление той или иной экосистемной услугой. Кроме того, определив области пользования экосистемными услугами, их объем, характер использования ландшафта и круг потребителей экологических благ, можно произвести максимально точную их экономическую оценку [21]. Регулирующие же услуги, по мнению автора, должны быть оценены с учетом пространственно-временных характеристик ландшафтов, т.е. знать территориальную неравномерность распределения услуги, ее пространственную мобильность и размерность пространства.

В данной классификации под областью и природными компонентами предоставления услуг имеется в виду пространственная единица, в рамках которой предоставляется экосистемная услуга. Эта область может включать в себя популяции животных и растений, абиотические компоненты, а также человеческие субъекты. Благодаря определению областей и компонентов предоставления услуг по этой классификации была проведена пространственная оценка обеспечивающей услуги «корм для пастбищных животных» для территории Русского Алтая в границах Алтайского региона с помощью такой единицы, как продуктивность растительных сообществ (ц/га). Были выделены категории сообществ по их урожайности с учетом принадлежности к определенным ландшафтам, т.к. при определении по муниципальным районам возникают большие сложности и погрешности из-за сильных перепадов показателей по годам и административным районам внутри одной и той же зоны, а также отсутствия производства в отдельные годы. Это позволило составить карту потенциального использования территории для разных видов деятельности, независимо от их фактического назначения на территории Русского Алтая.

Таблица 1

Классификация экосистемных услуг

Название услуги	Области и природные компоненты предоставления услуг	Места и территории пользования услугами
	Производственные услуги	
Питьевая вода *(Drinking water)*	вода и водосборные бассейны *(Headwaters and catchment areas)*	территории поселений, промышленные районы *(Settlement areas, industry (for production, less for cooling)*
Корм для пастбищных животных *(Fodder for grazing animals)*	пастбищные и кормовые культуры *(Grassland and forage crops)*	фермы *(Farms)*
Запас грунтовых вод *(Groundwater recharge)*	пахотные земли, лес, луга, водно-болотные угодья и другие открытые земли в бассейне подземных вод *(Arable land, wood, grassland, wetlands and other open land in a groundwater basin)*	территории поселений, орошаемые площади *(Settlement areas, irrigated areas)*
	Регулирующие услуги	
Защита от сугробов и шторма *(Protection against snowdrift, storm)*	лес, придорожные деревья, кустарники, живые изгороди *(Forest, road trees, shrubs, hedges)*	дороги, железнодорожные линии и взлетно-посадочные полосы *(Roads, railway lines and runways)*
Предотвращение водной и ветровой эрозии *(Erosion prevention: by wind, by water)*	лес, живые изгороди, кусты, деревья, кустарники и пастбища *(Forest, hedges, bushes, trees and shrubs (grassland, permanent crops))*	районы под культивацией, водохранилища *(Areas under cultivation, water reservoirs)*
Предотвращение наводнения *(Flood prevention)*	лес, пруды, водно-болотные угодья и т.д. в районах формирования паводков *(Forest, ponds, wetlands, etc. in flood generation areas)*	застроенная площадь в пойме *(Built-up area in the floodplain)*
Местное регулирование климата *(Local climate regulation)*	открытые земли, городские парки *(Open land, parks in cities)*	города *(Cities)*
Снижение шума *(Noise reduction)*	придорожная зелень, лес, валы *(Roadside greenery, wood, ramparts)*	жилые или рекреационные зоны *(Residential and recreational area)*
Контроль оползней и лавин *(Avalanche and landslide control)*	лес перед жилыми или рекреационными зонами *(Forest above residential or recreational areas)*	жилые или рекреационные зоны ниже крутых склонов *(Residential or recreational areas below steep slopes)*
Опыление *(Pollination)*	гнездовые места обитания насекомых *(Nesting habitats of insects)*	фермы с культурами, требующими опыления *(Farms with crops requiring pollination)*
Борьба с вредителями *(Pest control)*	гнездовые места обитания хищников *(Nesting habitats of predators)*	сельскохозяйственные земли *(Crop land)*
Очистка проточной воды *(Stream water purification)*	поверхностные водоемы, болота *(Surface water bodies, wetlands)*	жилые и рекреационные зоны *(Residential or recreational areas)*
	Культурные услуги	
Оцененный пейзаж *(Appreciated scenery)*	виды (области, которые можно увидеть с определенного места) *(Viewsheds (areas which can be seen from a particular site))*	населенные пункты и туристическая инфраструктура *(Settlements and touristic infrastructure)*
Отдых (рекреационная деятельность) *(Recreation activities)*	поверхностные водоемы, горы, лес *(Surface water bodies, mountains, wood)*	средства размещения туристов *(Touristic lodging units)*

Места и территории пользования услугами – это те пространственные единицы, поток экосистемных услуг которых предоставляется бенефициарам. Эту область пространственно определяют группы людей, которые сознательно или неосознанно извлекают выгоду из интересующего экосистемного обслуживания. В случае с приведенным примером по оценке обеспечивающей экосистемной услуги «корм для пастбищных животных», такими местами на исследуемой территории являются фермы.

Выводы

Резюмируя вышеизложенное, следует отметить, что классификация, приведенная в настоящем исследовании, опирается на ландшафтный подход, некоторые преимущества которого перед административно-экономическим очевидны. В первую очередь, это связь услуги с ее непосредственным местонахождением, а не усреднение ее в рамках какого-либо административного субъекта, например, административного района, города, края или области и пр. Во-вторых, оценка экосистемной услуги в ландшафтных границах будет иметь основополагающее значение для принятия каких-либо управленческих решений природопользования, т.к. опять же ее местоположение и распространение точно определены.

Таким образом, данная классификация рассматривает области, в границах которых можно и нужно вести учет той или иной экосистемной услуги. Использование вышеуказанной классификации позволит грамотно определять буферные зоны предоставления экосистемных услуг, пространственно отражать их на картах, оценивать услуги в соответствии с их территориальным распространением.

Список литературы

1. Holdren J., Ehrlich P. Human population and the global environment // American Scientist. – 1974. – Vol. 62. – P. 282-292.

2. Ehrlich P., Ehrlich A., Holdren J. Ecoscience: Population, Resources, Environment. – San Francisco, 1977. – 1072 pp.

3. Westman W. E. How much are nature's services worth? // Science. – 1977. – Vol.197. – P. 960-964.

4. Wilson C.M., Matthews W.H. Man's Impact on the Global Environment: report of the Study of Critical Environmental Problems. – London, 1970. – 319 pp.

5. Ehrlich P.R., Ehrlich A.H. Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species. – New York: Random House, 1981. – 305 pp.

6. Глазырина И.П. Природный капитал в экономике переходного периода. – М.: НИА-Природа, РЭФИА, 2001. – 204 с.

7. Лукьянчиков Н.Н., Потравный И.М. Экономика и организация природопользования: учеб. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2017. – 687 с.

8. Costanza R., d'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeen S., O'Neill R.V.O., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. – 1997. – Vol. 387. – P. 253-260.

9. Potschin M., Haines-Young R., Fish R., Turner R.K. Defining and measuring ecosystem services // Routledge Handbook of Ecosystem Services. – 2016. – P. 25-44.

10. Экосистемы и благосостояние человека: синтез // Оценка экосистем на пороге тысячелетия. 2005. – URL: http://www.millenniumassessment.org/documents/document.791.aspx.pdf.

11. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature // A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. – Malta: Progress Press, 2010. – 49 pp.

12. Бобылев С.Н., Захаров В.М. Экосистемные услуги и экономика. – М.: ООО «Типография ЛЕВКО», 2009. – 72 с.

13. Haines-Young R., Potschin M. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December // EEA/IEA/09/003. 2012. – URL: https://cices.eu.

14. Daily G.C. Introduction: What are Ecosystem Services? // Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. – Washington (DC): Island Press, 1997. – P. 1-10.

15. Лебедев Ю.В. Оценка лесных экосистем в экономике природопользования. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – 575 с.

16. Литвинова А.А., Игнатьева М.Н., Коротеев Г.Д. Понятие экосистемных функций и услуг // Экономика и социум. – 2006. – № 3(22). – С. 714-723.

17. Павлов Д.С., Букварева Е.Н. Биоразнообразие, экосистемные функции и жизнеобеспечение человечества // Вестн. РАН. – 2007. – Т. 77. – № 11. – С. 974-986.

18. Розенберг А.Г. Оценка экосистемных услуг для территории Самарской области // Актуальные проблемы экономики и права – 2012. – № 3. – С. 145-149.

19. Bastian O., Grunewald K., Syrbe RU. et al. Landscape services: the concept and its practical relevance // Landscape Ecology. – 2014. – V. 29. – № 9. – URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-014-0064-5.

20. Syrbe RU., Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics // Ecological Indicators. – 2012. – № 21. – P. 80-88.

21. Tsibulnikova M. Economic estimations in using of the landscapes planning // Int. Conf. «Forest Landscapes and Global Change-New Frontiers in Management, Conservation and Restoration», September 21-27, 2010. – Braganza, Portugal, 2010. – P. 323-328.

References

1. Holdren J., Ehrlich P. Human population and the global environment // American Scientist. – 1974. – Vol. 62. – P. 282-292.

2. Ehrlich P., Ehrlich A., Holdren J. Ecoscience: Population, Resources, Environment. – San Francisco, 1977. – 1072 pp.

3. Westman W. E. How much are nature's services worth? // Science. – 1977. – Vol.197. – P. 960-964.

4. Wilson C.M., Matthews W.H. Man's Impact on the Global Environment: report of the Study of Critical Environmental Problems. – London, 1970. – 319 pp.

5. Ehrlich P.R., Ehrlich A.H. Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species. – New York: Random House, 1981. – 305 pp.

6. Glazyrina I.P. Prirodnyj kapital v ekonomike perekhodnogo perioda. – M.: NIA-Priroda, REFIA, 2001. – 204 s.

7. Luk'yanchikov N.N., Potravnyj I.M. Ekonomika i organizaciya prirodopol'zovaniya: ucheb. – M.: YuNITI-DANA, 2017. – 687 s.

8. Costanza R., d'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeen S., O'Neill R.V.O., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., Van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital // Nature. – 1997. – Vol. 387. – P. 253-260.

9. Potschin M., Haines-Young R., Fish R., Turner R.K. Defining and measuring ecosystem services // Routledge Handbook of Ecosystem Services. – 2016. – P. 25-44.

10. Ekosistemy i blagosostoyanie cheloveka: sintez // Ocenka ekosistem na poroge tysyacheletiya. 2005. – URL: http://www.millenniumassessment.org/documents/document.791.aspx.pdf.

11. The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature // A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB. – Malta: Progress Press, 2010. – 49 pp.

12. Bobylev S.N., Zaharov V.M. Ekosistemnye uslugi i ekonomika. – M.: OOO «Tipografiya LEVKO», 2009. – 72 s.

13. Haines-Young R., Potschin M. Common International Classification of Ecosystem Services (CICES): Consultation on Version 4, August-December // EEA/IEA/09/003. 2012. – URL: https://cices.eu.

14. Daily G.C. Introduction: What are Ecosystem Services? // Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. – Washington (DC): Island Press, 1997. – P. 1-10.

15. Lebedev Yu.V. Ocenka lesnyh ekosistem v ekonomike prirodopol'zovaniya. – Ekaterinburg: UrO RAN, 2011. – 575 s.

16. Litvinova A.A., Ignat'eva M.N., Koroteev G.D. Ponyatie ekosistemnyh funk-cij i uslug // Ekonomika i socium. – 2006. – № 3(22). – S. 714-723.

17. Pavlov D.S., Bukvareva E.N. Bioraznoobrazie, ekosistemnye funkcii i zhizneobespechenie chelovechestva // Vestn. RAN. – 2007. – T. 77. – № 11. – S. 974-986.

18. Rozenberg A.G. Ocenka ekosistemnyh uslug dlya territorii Samarskoj oblasti // Aktual'nye problemy ekonomiki i prava – 2012. – № 3. – S. 145-149.

19. Bastian O., Grunewald K., Syrbe RU. et al. Landscape services: the concept and its practical relevance // Landscape Ecology. – 2014. – V. 29. – № 9. – URL: https://link.springer.com/article/10.1007/s10980-014-0064-5.

20. Syrbe RU., Walz U. Spatial indicators for the assessment of ecosystem services: Providing, benefiting and connecting areas and landscape metrics // Ecological Indicators. – 2012. – № 21. – P. 80-88.

21. Tsibulnikova M. Economic estimations in using of the landscapes planning // Int. Conf. «Forest Landscapes and Global Change-New Frontiers in Management, Conservation and Restoration», September 21-27, 2010. – Braganza, Portugal, 2010. – P. 323-328.

ON CLASSIFICATION OF ECOSYSTEM SERVICES

A.E.Zinovieva

Altai State University, Barnaul, E-mail:charming-alin@yandex.ru

The paper deals with the concept development of ecosystem services and their detailed analysis relative to foreign and domestic classifications. It is found that none of classifications can currently claim to be universal. It is the author's opinion that the most complete definition of ecosystem services and their systematics are presented in the project «Millennium Ecosystem Assessment». This classification is used in numerous studies and is convenient for estimating both the natural resources of ecosystems and the natural resource potential of territories. Our study results in the proposed interpretation of the Schirbe and Waltz classification (2012). In the renewed classification, ecosystem services include places used by beneficiaries and the areas of their provision.

Keywords: ecosystem services, ecosystem benefits, assessment and classification of ecosystem services, natural capital, natural resources, biodiversity.

Received November 26, 2019

Раздел 2 ГЕОЛОГИЯ

Section 2 GEOLOGY

УДК 554. 731-734

О ПРОБЛЕМАХ СТРАТИГРАФИИ ВЕНДА И ПАЛЕОЗОЯ СЕВЕРНОГО АЛТАЯ

В.Н. Коржнев
Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет им. В.М. Шукшина, Бийск
E-mail: viktorkorzynev@nail.ru

Венд и нижний палеозой хорошо изучены. Спорным остается возраст маралихинской и чарышской свит. Дробное расчленение литолого-стратиграфических разрезов ордовика и силура не удается распространить на всю территорию структурно-фациальных зон из-за слабой палеонтологической изученности. Наиболее сложны для исследования девонские отложения. Это обусловлено очаговым распределением вулканизма, частой сменой морских условий континентальными, сложным аллохтонным строением территории. Расчленение и корреляция девонских отложений в ряде случаев спорно. Установлено, что басаргинское местонахождение среднедевонских элементов протоптеридиевой флоры имеет нижнеэмсский возраст.

Ключевые слова: венд, палеозой, стратиграфия, Горный Алтай.
DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15602
Дата поступления 16.11.2019

Горный Алтай изучается более 300 лет, и наиболее известные экспедиции относятся к XVIII-XIX вв., включающие путешествия П.С. Палласа, Г.П. Гельмерсена, П.А. Чихачева, Г.П. Щуровского. Первые описание территории и геологическая карта (м-б 1 : 1 000 000) Алтая, Салаира и Кузнецкого Алатау составлена П.А. Чихачевым в 1842 г. Карта была схематичной. Отложения многих систем на ней не были показаны, для кембрийской системы были установлены в 1927 г. Систематическое изучение силурийских отложений было начато в 1950-1960-е гг., и обобщающие работы и карты (м-б 1 :1 000 0000) В.П. Нехорошева, В.А. Кузнецова и Ю.А. Кузнецова и др. заложили основы современных знаний о геологии Алтая.

В основу статьи положены результаты геологических съемок 1970-2008 гг., в которых участвовал автор, а также опубликованная и фондовая литература, которая базируется на стратиграфических исследованиях с учетом теоретических работ Э.А. Еганова, А.И. Жамойда, В.И. Краснова, С.В. Мейна, В.Е. Савицкого, А.С. Сергеева, Б.С. Соколова, Д.Л. Степанова, Л.Л. Халфина и др. В ходе изучения проводились палеонтологические сборы ископаемой фауны и флоры с использованием подробного геологического картирования узловых участков, детального расчленения и литолого-петрографического изучения геологических разрезов.

Горный Алтай стратиграфически достаточно хорошо исследован, о чем свидетельствуют выделяемые в регионе 34 биостратиграфических горизонта. Изученность территории неравномерная в силу недостаточной обнаженности и слабой палеонтологической характери-

стике значительной части территории (около 80 %).

Результаты исследования и их обсуждение

1. К древнейшим образованиям в Горном Алтае относятся гнейсы и слюдяные пегматиты в выступах протерозойского фундамента. Возраст их укладывается в интервал от верхов нижнего рифея до верхнего рифея. Предполагается наличие осколков древнего континента среди метаморфических комплексов в основании Северо-Алтайского и Монголо-Алтайского блоков. Подтверждение наличия на Алтае древних метаморфических толщ с возрастом до 1,48 млрд. лет получено в процессе Sm-Nd систематики метаморфических комплексов западной части Алтае-Саянской складчатой области [1]. За пределами осколков древних континентов метаморфические образования Горного Алтая по В.В. Волкову [2] и Н.Л. Добрецову [3] образуют парный метаморфический пояс, формирование которого связано с развитием островодужной системы. Метаморфические комплексы Горного Алтая полихронны и полифациальны. Унаследованное подновление древних островодужных структур в процессе геодинамического развития Горного Алтая привело к формированию метаморфических пород в течение всего палеозоя, что значительно усложняет картину. Не исключены и более молодые метаморфические породы, возникшие в процессе движений по разломам [4].

2. Наблюдаемые стратифицированные толщи в Горном Алтае начинаются с венда, в пределах которого можно условно выделять «биостратиграфические горизонты» снизу: кабырзинский, западносибирский, белкинский. К кабырзинскому горизонту нижнего венда условно отнесена арыджанская свита, которая в северной части Горного Алтая не наблюдается. Палеонтологическое изучение отложений стратотипических районов распространения белкиского, западносибирского и кабырзинского горизонтов показало, что в разрезах Кузнецкого Алатау и Горной Шории намечены два последовательно сменяющих друг друга комплекса: нижний с *Gemma, Korilophyton, Renalcis, Proaulopora, Girvanella* и верхний, где наряду с отмеченными формами наблюдается массовое появление *Epiphton* и других водорослей. Подобные два комплекса в той же последовательности установлены ранее на Сибирской платформе. Нижний комплекс принадлежит верхам венда (немакит-далдынский горизонт). Верхний комплекс с *Epiphton* во всех разрезах платформы характерен для томмотского яруса нижнего кембрия. Таким образом, отложения белкинского горизонта являются поздневендско-раннекембрийскими (томмотский ярус), что подтверждается помимо водорослей единичными находками SSF (медкораковинной фауны). Подстилающий западносибирский горизонт, содержащий известковистые водоросли нижнего комплекса, скорее всего, относится к верхнему венду (немакит-далдынский горизонт). Кабырзинский горизонт, в отложениях которого найдены представители нижнего комплекса и спикулы губок, вероятнее всего, также соответствует вендскому возрасту [5].

Широко развитая в пределах Бийско-Катунской структурно-фациальной зоны баратальская серия соответствует западносибирскому и белкинскому горизонтам верхнего венда [6]. Баратальская серия многими исследователями расчленяется на нижнюю кремнисто-карбонатную и верхнюю известняково-доломитовую толщи. Не исключены между ними фациальные переходы. В состав баратальской серии на основании литологического сходства и близких палеонтологических характеристик включены каянчинская и эсконгинская свиты. По имеющимся палеонтологическим материалам и стратиграфическому положению возраст баратальской серии

следует считать венд-раннекембрийским. Такой же возраст имеет параллелизуемая с баратальской серией каимская свита [7-8]. Спорным остается возраст маралихинской свиты, сопоставляемой с баратальской серией, исходя из общегеологических соображений и по глубоководному типу осадков, сформированному в пределах глубоководного желоба, что соответствует геодинамическим реконструкциям [2, 9]. Сомнительной представляется фактура, обосновывающая ордовикско-силурийский возраст «маралихинской свиты» в разрезах Талицкой структурно-фациальной зоны.

3. В кембрии западной части Алтае-Саянской складчатой области выделены 18 биостратиграфических горизонтов региональной шкалы. Сарасинская свита [10] в своих разрезах фиксирует самые древние биостратиграфические горизонты нижнего кембрия Алтае-Саянской складчатой области. В ней выделены аналоги усть-кундатского горизонта, слои с *Retecoscinus retetabulus, Resimopsis, Sajanaspis* и *Clathrocoscinus*, т.е. включают отложения томмотского, атдабанского и ботомского ярусов или большую часть нижнего кембрия, за исключением тайозенского яруса и верхней части ботомского яруса. Формирование свиты происходило на окраине океанической впадины Палеоазиатского океана на склонах океанических островов. Одновременно в восточных районах Горного Алтая шло формирование примитивной островной дуги и образование зоны субдукции на границе Бийско-Катунского океанического поднятия.

Палеонтологическая характеристика нижнекембрийских отложений Горного Алтая обнаруживает сходство с разрезами Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна, на основе которых разработана региональная биостратиграфическая шкала [11]. Это указывает на то, что нижнекембрийские окраинные моря Палеоазиатского океана располагались близко друг от друга и свободно сообщались между собой. Сарасинская свита по остаткам археоциат и трилобитов сопоставима с разрезом нижнего кембрия по р. Кия, устья Большой и Малой Белокаменки. Ее нижней граувакко-сланцевой части соответствует усть-кундатский горизонт. Более высокие карбонатные части разреза сопоставимы с отложениями усинской свиты в объеме стратотипа натальевского, гипостратотипов кийского, камешковского и нижней части санаштыкгольского горизонтов [11-12].

Кембрийская эпоха связана с развитием островодужной системы западнотихоокеанского типа [13]. Она длилась до ранне-тремадокского времени. Средний кембрий в пределах Горного Алтая – время формирования зрелой островной дуги. Он хорошо изучен и представлен всеми биостратиграфическими горизонтами. Из разреза верхнего кембрия северной части Горного Алтая выпадают отложения аренинского и христиновского биостратиграфических горизонтов (предкульбический перерыв). Предполагается, что значительный перерыв в осадконакоплении связан с вертикальными движениями и миграциями береговой линии, предшествовавшими превращению территории Горного Алтая в трансформную окраину Сибирского континента [7].

Следует отметить, что несмотря на хорошую изученность кембрийских отложений, спорными остаются возраст и стратиграфическое положение чарышской свиты. Они нуждаются в тщательном изучении в стратотипической местности на предмет поиска палеонтологических остатков и установления взаимоотношений с вышележашей засурьинской свитой и с нижележащей маралихинской свитой. Предполагается, что границы эти тектонические. Возникает вопрос: какие? Либо это соскладчатые послойные срывы или сбросо-сдвиги с большой амплитудой перемещения.

Весьма возможно, что границы стратиграфические.

В процессе изучения юго-западного обрамления Белокурихинского гранитоидного массива нами впервые закартированы кемброордовикские осадочно-вулканогенные отложения (песчанская толща), которые фиксируют завершающий этап островодужного вулканизма (материалы В.Н. Коржнева и др., 1986). Толща ограничена разломами и не содержит органических остатков. Возраст ее определен условно по сходству петрохимических характеристик подобных толщ в соседних регионах. Отмечается сходство базальтоидов песчанской толщи с средне-позднекембрийскими вулканитами орлиногорско-ариничевского и позднекембрийско-раннеордовикскими вулканитами чебуринско-краснянского комплексов Салаира [14]**.**

4. В Горном Алтае для ордовика в силуре выделено шесть биостратиграфических горизонтов. Ордовикско-силурийские отложения довольно дробно расчленены и палеонтологически изучены. Их материалы легли в основу региональной биостратиграфической шкалы. Во многих разрезах расчленение дробное биостратиграфическое. Вместе с тем в ряде слабо изученных районов Ануйско-Чуйской структурно-фациальной зоны они не поддаются дробному расчленению, что вынуждает исследователей выделять недифференцированные толщи и серии отложений, что обусловлено слабой палеонтологической изученностью и фациальными отличиями от выделяемых свит. Во многих разрезах толщи расчленяются на терригенные и известняковые части, возраст которых точно не определен.

5. В девоне Горного Алтая выделены 14 биостратиграфических горизонтов региональной шкалы, за стандарт которой принято биостратиграфическое расчленение Салаира, где имеются девонские непрерывные монофациальные морские отложения. Надежное палеонтологическое обоснование получило выделение в Горном Алтае отложений лохкова, прагена, эмса, эйфеля, живета, франа и фамена. Девонский разрез на Алтае характеризуется чередованием морских и континентальных осадков с морской фауной и остатками растений, что позволяет надежно обосновать возраст слагающих его свит. Для Куяганo-Барагашской группы грабенов и Сарасинского грабена характерно преобладание морских фаций. В Онгудайском грабене, Саракокшинской группе грабенов, Уйменском и Лебедском прогибах преобладают континентальные условия осадконакопления. В пределах Куяганo-Барагашской группы грабенов осадконакопление длилось с лохковского века до нижнефранского века. Затем был перерыв до конца фаменского века. На территории северной части Горного Алтая заполнение грабенов и прогибов проходило в интервале нижний эмс – франский век.

В северной части Барагашского грабена в составе верхней части камышенской серии мы выделяем новую большетихинскую свиту, которая принадлежит образованиям карбонатных платформ. Возраст большетихинской свиты надежно обоснован многочисленными находками ископаемой фауны в окрестностях сел Карпово и Б. Тихая. Здесь из наших сборов В.А. Желтоногова и Л.В. Галенко определили характерные для крековского горизонта табуляты *Sguameofavosites uralensis* Yanet., *Favosites clarus* Yanet., *Striatopora peetzi* Dubat., *S.* cf. *tschichichatschevi* Peetz, *Grassialveolites* cf. *krekovensis* Dubat., *Thamnopora solida* Dubat. и известные в томь-чумышском горизонте ругозы *Zelophyllum* ex gr. *subdendroideum* Zhelt., *Phaulactis subcyirtophylloides* Zhelt., *Spongiophylloides dubroviensis* Zhelt., табуляты *Striatopora minuscula* Tchud, *Sguameofavosites* ex gr. *nikiforovae* (Dubat.), кораллы нижнедевонского облика *Pachcanaliula* sp., *Spongiophyllkoides* sp. *Cladopora* ex gr. *rectilineata* Simpson и распространенные в отложе-

ниях не древнее малобочатского горизонта ругозы *Lyrielasma denticulate* Zhelt. С учетом стратиграфического положения и приведенного списка фауны возраст большетихинской свиты принимается как крековский горизонт лохковского яруса – малобочатский горизонт пражского яруса.

Нами предложено сохранить в стратиграфических схемах кондратьевскую свиту Л.Л. Халфина. Установлено, что на большетихинской свите залегает толща, сходная по литологическому составу с кондратьевской свитой, в которой последняя в стратотипе соответствует ее верхней части (материалы В.Н. Коржнева и др., 1986). Это позволяет сохранить для нижней части эмсской барагашской серии название кондратьевская свита. В легенде к Геологической карте (м-б 1 : 200 000) эта свита не рассматривалась. Каркас ее образуют темно-серые до черных, темно-зеленые, зеленовато-серые алевролиты. Редко отмечаются красноцветные алевролиты и зеленовато-серые, лилово-серые и серые полимиктовые, кварцевые и субаркозовые песчаники и алевролиты, горизонты темно-серых и реже светло-серых органогенных известняков, быстро выклинивающиеся маломощные (до 5-10 м) прослои полимиктовых гравелито-песчаников, полимиктовых конгломератов и гравелитов. В средней части кондратьевской свиты установлены грязно-зеленые туфопесчаники и туфогравелито-песчаники. На основании установления признаков вулканизма в кондратьевской свите подтверждается, что первые девонские вулканы появились в салаиркинское время. Вулканизм охватывал территории Коргонского прогиба, Сарасинского, Онгудайскго грабенов, Уйменско-Лебеской структурно-фациальной зоны, Каянчино-Каракокшинской группы грабенов, испытавших образование кальдер проседания, которые заполнялись молассоидными осадками.

Ископаемая фауна кондратьевской свиты в стратотипе изучена Л.Л. Халфиным, доказывающим ее прочное положение в средней части нижнего девона. Р.Т. Грацианова, Н.П. Кульков приходят к мнению нижнеэмсском возрасте отложений в стратотипе. В стратотипе и в более низких частях свиты в окрестностях сел Куяган, Никольское, Степное, Александровка, Б. Тихая из наших сборов В.А. Желтоногова и Л.В. Галенко определили нижнедевонские табуляты *Thamnopora* cf. *khalfini* Dubat., *Coenites* cf. *multicaralites* Miron; характеризующие верхнюю половину нижнего девона *Pachefavosites* sp., *Striatopora* sp. (cf. *suess*i Hőrn *sensu* Penecte); известные в крековском горизонте *Gephyropora parvula* Miron; распространенные в крековском и малобачатском горизонте ругозы *Tryplasma altaica* (Dub); Л.Г. Севергина определила характеризующие киреевские и кувашские слои брахиоподы *Rotundostrophia* cf. *rotundata* (Khalf.). Кроме того, из наших сборов В.А. Желтоногова и Л.В. Галенко определили ругозы *Astrictophyllum altaicum* sp., известные в беловском горизонте (материалы В.Н. Коржнева и др., 1986). По комплексу ископаемых остатков и с учетом стратиграфического положения возраст кондратьевской свиты принимается в объеме салаиркинского горизонта эмсского века. На основании наличия проявления признаков вулканизма она сопоставляется с вулканогенной комарской и терригенной басаргинской свитами Сарасинского грабена.

Второй уровень проявления вулканизма связан с живетскими временем и охватывал районы северо-западного Алтая (кукуйская свита), Барагашского грабена (куяганская свита), Онгудайского грабена (куротинская свита), Уйменско-Лебедской структурно-фациальной зоны (саганская свита). Вулканизм и накопление молассоидных осадков прекратились в северных районах Горного Алтая во второй половине живетского времени. Большинство девонских

отложений северной части Горного Алтая формировалось либо на континенте, либо вблизи его и представляло образования терригенно-карбонатного и вулканического шельфа. По петрохимическим характеристикам вулканогенных пород реконструированы коллизионные обстановки в нижнем девоне западного и центрального Алтая [15], нижнедевонский тыловой рифт в восточном Алтае [16].

В Сарасинском грабене спорным остается выделение комарской свиты З.П. Потаповой, которую мы на основании находок ископаемых органических остатков считаем нижнеэмсской и сопоставляем с онгудайской свитой. Залегающая на комарской свите терригенно-карбонатная толща нами расчленена на басаргинскую, терентьевскую, рудниковскую свиты. В отложениях басаргинской свиты по морской фауне установлено точное геологическое время появления первых компонентов среднедевонской протоптеридиевой флоры на уровне конодонтовых зон excavatus dkitabicus (салаиркинское время) раннего эмса, на 18 млн лет раньше по сравнению с живетским временем. На фоне типичного нижнедевонского псилофитового комплекса в басаргинской свите содержатся остатки *Protolepidodendron scharyanum* (Krejči) Kr. et W. и *Gliptophyton granulare* Krichtofovich, известные из живета. Корреляция отложений басаргинской свиты показала, что элементы среднедевонской протоптеридиевой флоры установлены в эмсских отложениях Горного Алтая и девонских прогибов Алтае-Саянской горной области [17-18].

Эволюции осадконакопления в Горном Алтае проходит на фоне периодического изменения климата Земли, что подтверждается сменами биоценозов и циклическим строением разрезов, связанным с колебаниями уровня морского бассейна. Она контролируется сменой геодинамических обстановок [19]. Эволюция осадконакопления происходила направлено в сторону увеличения разнообразия типов литогенеза и роли мономинеральных пород. По мере приближения к континенту в шельфовых морях Палеоазиатского океана возрастает роль красноцветных пород, терригенных и терригенно-карбонатных аркозовых и субаркозовых шлировых ассоциаций фаций. Периодически наблюдаются кварцевые гравелиты и песчаники, фиксирующие перерывы в осадконакоплении. На окраинах Сибирского континента возрастает роль красноцветных и пестроцветных молассоидных ассоциаций фаций. На разных уровнях венд-палеозойского разреза Горного Алтая установлены отложения черных и серых алевролитов, песчаников и глинистых сланцев, которые внешне близки черносланцевой ассоциации фаций. Связаны они с надразломными впадинами (150-300 м) на мелководном шельфе Палеоазиатского океана. Под черными сланцами мы подразумеваем «*темные, обычно очень тонкослоистые углистые сланцы, исключительно богатые органическим веществом и сульфидами железа (пиритом) и часто содержащие необычно высокие концентрации рассеянных элементов (U, V, Cu, Ni). Образуются в результате частичного анаэробного разложения захороненного органического вещества в восстановительной обстановке спокойных вод. Ископаемые организмы, главным образом планктон и нектон сохраняются в виде графитовой или углистой пленки или в виде, сложенных пиритом псевдоморфоз*» [20]. Терригенные, существенно черносланцевые отложения нижней части нижнекембрийской сийской свиты с вкрапленностью пирита перспективны на золото как первичного накопления («черносланцевая» золоторудная формация), так и связанное с более поздними процессами концентрации (джаспероидная золоторудная формация), что подтверждается наличием промышленно значимых россыпей золота по рекам Коуре,

Сие и ее правым притокам [21-22]. Вкрапленность сингенетичного пирита установлена в черных сланцах нижнесилурийской чинетинской свиты в разрезе по р. Ине (в 2,2-2,5 км выше пос. Чинета), сингенетичный пирит и Ташантинское месторождение золота – в отложениях чернослацвой живетской ташантинской свиты.

Заключение

1. Северная часть Горного Алтая биостратиграфически хорошо изучен. Особенно это касается отложений ордовика и силура, на основании изучения которых разработана региональная шкала. Даже по этим системам палеонтологическая изученность территории составляет 20 %.

2. Хорошо изучены отложения вендской и кембрийской систем. Обоснован венд-раннекембрийский возраст баратальской серии. Наиболее полно биостратиграфические горизонты нижнего кембрия представлены в выделенной нами сарасинской свите, которая хорошо коррелируется с стратотипическими разрезами Кузнецкого Алатау и Восточного Саяна. Спорными остаются возраста маралихинской и чарышской свит, которым необходимо палеонтологическое изучение в стратотипической местности.

3. Необходимо палеонтологически обосновать возраст выделенной нами вулканогенно-осадочной пестроцветной песчанской толщи, которую условно считаем тремадокской.

4. Самой спорной остается стратиграфия девонских отложений. Особенно это касается эмса (кондратьевская, комарская, басаргинская, теренстьевская, рудниковская свиты и др.). Во многом это обусловлено спором о границе нижнего и среднего девона, а также в силу этого неясным объемом эмсского яруса в Горном Алтае. На терригенно-карбонатных разрезах Алтая этот спор был практически неразрешим до тех пор, пока не была применена биостратиграфическая шкала морского девона Салаира, хорошо увязанная с международной стратиграфической шкалой [21], что позволило более четко обособить эмсские отложения и дать биостратиграфическую привязку элементам среднедевонской протоптеридиевой флоры в басаргинской свите. Этим доказано их появление на 18 млн раньше по сравнению с живетским временем.

Список литературы

1. Плотников А.В., Крук Н.Н., Владимиров А.Г. и др. Sm-Nd-изотопная систематика метаморфнческих пород западной части Алтае-Саянск складчатой области // Докл. РАН. – 2003. – Т. 388. – № 2. – С. 228-232.

2. Волков В.В. Основные закономерности геологического развития Горного Алтая. – Новосибирск: Наука, 1966. – 161 с.

3. Берзин Н.А., Колман Р.Г., Добрецов Н.Л. и др. Геодинамическая карта западной части Палеоазиатского океана // Геология и геофизика. – 1994. – Т. 35. – № 7-8. – С. 8-28.

4. Туркин Ю.А., Коржнев В.Н. Структурная позиция метаморфитов Горного Алтая // Вестн. Томского ун-та. – 2003. – № 3 (1). – С. 170-172.

5. Терлеев А.А., Лучинина В.А., Сосновская О.В. и др. Решения коллоквиума по палеонтологическим остаткам из докембрийских и переходных венд-кембрийских отложений западной части Алтае-Саянской складчатой области (Кузнецкий Алатау, Горная Шория) // Геология и геофизика. Прилож. к журн. Новости палеонтологии и стратиграфии. – 2002. – Вып. 5. – С. 158-160.

6. Коржнев В.Н. Биостратиграфия позднего докембрия Алтае-Саянской области в разрезах венд-кембрийских отложений Горного Алтая // Изв. Алт. отд-я РГО. – 2015. – № 1 (36). – С. 69-75.

7. Коржнев В.Н. Стратиграфия кембрийских отложений северо-восточной части Горного Алтая // Вестн. Томского ун-та. – 2012. – № 363. – С. 196-203.

8. Туркин Ю.А., Федак С.И. Геология и структурно-вещественные комплексы Горного Алтая. – Томск, 2008. – 460 с.

9. Кунгурцев Л.В. Тектоническая зональность и история геологического развития северной части Озерно-Кузнецкой мегазоны с позиций тектоники литосферных плит // Результаты региональных геолого-геофизических исследований Сибири. – Новосибирск, СНИИГГиМС, 1989. – С. 73-85.

10.Коржнев В.Н Сарасинская свита нижнего кембрия Горного Алтая // Изв. Алт. отд. РГО. – 2018. – № 4 (51). – С. 37-62.

11.Поспелов А.Г., Бояринов А.С., Коняев И.А. Граница докембрия и кембрия в западной части Алтае-Саянской области // Тр. СНИИГГиМСа. Вып. 290. Актуальные вопросы докембрия Сибири – Новосибирск, 1981. – С. 56-61.

12.Корешков К.Н. Репина Л.Н. и др. Проблемы биостратиграфии и палеонтологии нижнего кембрия Сибири. – М.: Наука, 1972. – 296 с.

13.Добрецов Н.Л., Симонов В.А., Буслов М.М. Палеоазиатский и Тихий океаны: сравнительный анализ магматизма и геодинамики // Эволюция тектонических процессов в истории Земли. Т. 1. – Новосибирск: Изд-во СО РАН Филиал «Гео», 2004. – С. 150-152.

14.Кривчиков В.А., Селин П.Ф., Русанов Г.Г. Государственная геологическая карта Российской Федерации 1 : 200 000. Сер. Алтайская. Л. М 45-I (Солонешное): объяснит. записка. – СПб: ВСЕГЕИ, 2001. – 183 с.

15.Тикунов Ю.В. Геохимия девонских вулканитов островодужного типа центральной и западной частей Горного Алтая. – Новосибирск: Изд-во ОИГГМ СО РАН, 1994. – 54 с.

16.Туркин Ю.А., Гусев А.И., Федак С.И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации, м-б 1 : 200 000. Сер. Алтайская. Л. М-45-Ш (Чемал): объяснит. записка. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001.

17.Коржнев В.Н. О смене псилофитовой флоры пропапоротниковой в эмсе в Горном Алтае // Вестн. Томского ун-та. – 2011. – № 353. – С. 205-211.

18.Коржнев В.Н. Палеогеография появления компонентов флоры протоптеридиевого типа // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2014. – Т. 22. – № 5. – С. 22-35. – Korzhnev V.N. The Appearance of the Elements of the Protopteridis Floras: Paleogeographic Constraints // MAIK Nauka/Interperiodica: Stratigraphy and Geological Correlation. – 2014. – Vol. 22. – No. 5. – P. 465-478.

19.Коржнев В.Н. Осадочные формации – индикаторы геодинамических обстановок (на примере Горноалтайского сегмента рифей-палеозойского Палеоазиатского океана) // Изв. Томского политехнического ун-та. – 2005. – Том 308. – № 4. – С. 39-42.

20.Словарь Американского Геологического Университета (AGI).

21.Туркин Ю.А., Федак С.И. Геология и структурно-вещественные комплексы Горного Алтая. – Томск, 2008. – 460 с.

22.Елкин Е.А., Бахарев Н.К., Изох Н.Г. и др. Девонские отложения Салаира, Рудного и Горного Алтая: Путеводитель полевой экскурсии Международной конференции «Девонские наземные и морские обстановки от континента к шельфу». – Новосибирск: ИГИГ ОИГГМ СМО РАН, 2005. – 82 с.

References

1. Plotnikov A.V., Kruk N.N., Vladimirov A.G. i dr. Sm-Nd-izotopnaya sistematika metamorfncheskih porod zapadnoj chasti Altae-Sayansk skladchatoj oblasti // Dokl. RAN. – 2003. – T. 388. – № 2. – S. 228-232.

2. Volkov V.V. Osnovnye zakonomernosti geologicheskogo razvitiya Gornogo Altaya. – Novosibirsk: Nauka, 1966. – 161 s.

3. Berzin N.A., Kolman R.G., Dobrecov N.L. i dr. Geodinamicheskaya karta zapadnoj chasti Paleoaziatskogo okeana // Geologiya i geofizika. – 1994. – T. 35. – № 7-8. – S. 8-28.

4. Turkin Yu.A., Korzhnev V.N. Strukturnaya poziciya metamorfitov Gornogo Altaya // Vestn. Tomskogo un-ta. – 2003. – № 3 (1). – S. 170-172.

5. Terleev A.A., Luchinina V.A., Sosnovskaya O.V. i dr. Resheniya kollokviuma po paleontologicheskim ostatkam iz dokembrijskih i perekhodnyh vend-kembrijskih ot-lozhenij zapadnoj chasti Altae-Sayanskoj skladchatoj oblasti (Kuzneckij Alatau, Gor-naya Shoriya) // Geologiya i geofizika. Prilozh. k zhurn. Novosti paleontologii i stra-tigrafii. – 2002. – Vyp. 5. – S. 158-160.

6. Korzhnev V.N. Biostratigrafiya pozdnego dokembriya Altae-Sayanskoj oblasti v raz-rezah vend-kembrijskih otlozhenij Gornogo Altaya // Izv. Alt. otd-ya RGO. – 2015. – № 1 (36). – S. 69-75.

7. Korzhnev V.N. Stratigrafiya kembrijskih otlozhenij severo-vostochnoj chasti Gornogo Altaya // Vestn. Tomskogo un-ta. – 2012. – № 363. – S. 196-203.

8. Turkin Yu.A., Fedak S.I. Geologiya i strukturno-veshchestvennye kompleksy Gor-nogo Altaya. – Tomsk, 2008. – 460 s.

9. Kungurcev L.V. Tektonicheskaya zonal'nost' i istoriya geologicheskogo razvitiya severnoj chasti Ozerno-Kuzneckoj megazony s pozicij tektoniki litosfernyh plit // Rezul'taty regional'nyh geologo-geofizicheskih issledovanij Sibiri. – Novosi-birsk, SNIIGGiMS, 1989. – S. 73-85.

10. Korzhnev V.N Sarasinskaya svita nizhnego kembriya Gornogo Altaya // Izv. Alt. otd. RGO. – 2018. – № 4 (51). – C. 37-62.

11. Pospelov A.G., Boyarinov A.S., Konyaev I.A. Granica dokembriya i kembriya v za-padnoj chasti Altae-Sayanskoj oblasti // Tr. SNIIGGiMSa. Vyp. 290. Aktual'nye vo-prosy dokembriya Sibiri – Novosibirsk, 1981. – S. 56-61.

12. Koreshkov K.N. Repina L.N. i dr. Problemy biostratigrafii i paleontologii nizhnego kembriya Sibiri. – M.: Nauka, 1972. – 296 s.

13. Dobrecov N.L., Simonov V.A., Buslov M.M. Paleoaziatskij i Tihij okeany: sravnitel'nyj analiz magmatizma i geodinamiki // Evolyuciya tektonicheskih proces-sov v isto-rii Zemli. T. 1. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN Filial «Geo», 2004. – S. 150-152.

14. Krivchikov V.A., Selin P.F., Rusanov G.G. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii 1 : 200 000. Ser. Altajskaya. L. M 45-I (Soloneshnoe): ob"yasnit. zapiska. – SPb: VSEGEI, 2001. – 183 s.

15. Tikunov Yu.V. Geohimiya devonskih vulkanitov ostrovoduzhnogo tipa central'noj i zapadnoj chastej Gornogo Altaya. – Novosibirsk: Izd-vo OIGGM SO RAN, 1994. – 54 s.

16. Turkin Yu.A., Gusev A.I., Fedak S.I. i dr. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii, m-b 1 : 200 000. Ser. Altajskaya. L. M-45-Sh (Chemal): ob"yasnit. zapiska. – SPb.: Izd-vo VSEGEI, 2001.

17. Korzhnev V.N. O smene psilofitovoj flory propaporotnikovoj v emse v Gor-nom Altae // Vestn. Tomskogo un-ta. – 2011. – № 353. – S. 205-211.

18. Korzhnev V.N. Paleogeografiya poyavleniya komponentov flory protopteridievogo ti-pa // Stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya. – 2014. – T. 22. – № 5. – S. 22-35. – Kor-zhnev V.N. The Appearance of the Elements of the Protopteridis Floras: Paleogeographic Constraints // MAIK Nauka/Interperiodica: Stratigraphy and Geological Correlation. – 2014. – Vol. 22. – No. 5. – P. 465-478.

19. Korzhnev V.N. Osadochnye formacii – indikatory geodinamicheskih obstanovok (na primere Gornoaltajskogo segmenta rifej-paleozojskogo Paleoaziatskogo okeana) // Izv. Tomskogo politekhnicheskogo un-ta. – 2005. – Tom 308. – № 4. – S. 39-42.

20.Slovar' Amerikanskogo Geologicheskogo Universiteta (AGI).

21.Turkin Yu.A., Fedak S.I. Geologiya i strukturno-veshchestvennye kompleksy Gornogo Altaya. – Tomsk, 2008. – 460 s.

22.Elkin E.A., Baharev N.K., Izoh N.G. i dr. Devonskie otlozheniya Salaira, Rudnogo i Gornogo Altaya: Putevoditel' polevoj ekskursii Mezhdunarodnoj konferencii «Devonskie nazemnye i morskie obstanovki ot kontinenta k shel'fu». – Novosibirsk: IGIG OIGGM SMO RAN, 2005. – 82 s.

ABOUT THE PROBLEMS OF STRATIGRAPHY

VENDIAN AND PALEOZOIC OF THE NORTH ALTAI

V.N. Korzhnev

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

The Vendian and lower Paleozoicis well studied. Controversial is the age of revenue and Charysh Suite. Fractional dismemberment lithologic-stratigraphic sections of the Ordovician and Silurian cannot be extended to the entire territory structure-facies zones due to weak paleontologicheskii of isoindole. The Devonian deposits are the most difficult to study. This is due to the focal distribution of volcanism, frequent changes in marine conditions continental, both laterally and vertically and complex allochthonous structure of the territory. The dismemberment and correlation of Devonian deposits is controversial in some cases. It isestablished that the Basargin location of the middle Devonian flora has elements protopteridae lower EMC age.

Key words: Vend, Paleozoic, stratigraphy, Mountain Altai.

Received November 16, 2019

Раздел 3 ГИДРОЛОГИЯ. КЛИМАТ

Section 3 HYDROLOGY. CLIMATE

УДК 556.552

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА СТОК ПОЛОВОДЬЯ ГОРНОЙ РЕКИ (НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА РЕКИ АНУЙ)

В.П.Галахов[1,2], С.Ю.Самойлова[1], Е.В. Мардасова[2]
[1]*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: galahov@iwep.ru*
[2]*Алтайский государственный университет, Барнаул*

Выполнена оценка суммы осадков и проанализированы условия формирования снежного покрова и промерзания грунта в бассейне р. Ануй для зимних периодов с 1967 по 2006 гг. Получена статистически значимая связь полученных сумм зимних осадков с величиной талого стока в створе р. Ануй – свх. Ануйский. На основе сранительного анализа весеннего половодья бассейна р. Ануй и соседнего бассейна р. Чарыш показано влияние крупных геоморфологических единиц на слой талого стока. Для р. Чарыш, имеющей значительную долю предгорной равнины в общей площади бассейна, осеннее промерзание является одним из лимитирующих факторов формирования стока половодья. Для р. Ануй, бассейн которой до створа свх. Ануйский представляет собой низкогорья и среднегорья, влияния осеннего промерзания на сток половодья не обнаружено.

Ключевые слова: зимние осадки, снежный покров, Чарыш, Ануй, осеннее промерзание, половодье, талый сток.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15603
Дата поступления 15.01.2020

В последние десятилетия на реках басейна Верхней Оби наблюдается увеличение повторяемости опасных гидрологических явлений, связанных с затоплениями территорий населенных пунктов в период весеннего половодья и дождевых паводков [1]. Главной задачей при прогнозировании талого стока является оценка снегозапасов в водосборном бассейне, т.к. до 70 % стока половодья формируется талыми водами [2]. Традиционно в гидрологических исследованиях величину зимних осадков (снегозапасы) в горных бассейнах увязывают с абсолютной высотой пунктов наблюдений [2-5]. К сожалению, в горах Алтая водоразделы и склоны горных хребтов, где формируются максимальные снегозапасы, не охвачены сетью инструментальных наблюдений, а их распределение зачастую подчиняется другим закономерностям [6-7].

Ранее разработана методика, позволяющая оценить сумму зимних осадков в горных бассейнах, расположенных в условиях недостатка гидрометеорологической информации [7]. Методика успешно использована в гидрологических расчетах и среднесрочных прогнозах стока половодья, в частности, для р. Чарыш [8-10]. Исследование половодья на р. Чарыш [9-10] показало, что

важную роль в процессе формирования максимальных уровней играет начальный период снегонакопления. Если снежный покров, формирующийся до начала значительных морозов составляет более 20-25 см толщины и значительного промерзания грунтов не наблюдается, то в весенний период в замыкающем створе свх. Чарышский наблюдаются максимальные уровни на 1 метр ниже по сравнению с годами, когда метеорологические условия способствуют промерзанию. Очевидно, условия формирования снежного покрова и промерзание грунтов в бассейне р. Чарыш оказывают значительное влияние на интенсивность поступления талых вод в речную сеть, что в целом для горных рек не характерно [2]. Предположительно, связано с тем, что значительная (до 40 %) часть бассейна Чарыша до створа свх. Чарышский представляет собой предгорную равнину. Поскольку сток рек низкогорья (Чарыш, Ануй, Песчаная, Алей) частично формирует заполнение поймы Оби от Фоминского до Барнаула, необходимо на примере другой реки (другое соотношение крупных морфологических единиц: предгорной равнины и гор) проверить влияние промерзания на сток половодья. Цель данной работы – оценить влияние условий формирования снежного покрова на сток половодья р. Ануй в створе свх. Ануйский.

Объект исследования

Бассейн р. Ануй расположен на северном макросклоне Алтайской горной области, ограничен с запада Бащелакским и с востока Ануйским хребтами. Длина реки составляет 327 км, общая площадь бассейна – 6930 км², площадь водосбора до створа совхоз Ануйский – 4870 км^2. В отличие от бассейна р. Чарыш, водосбор р. Ануй до створа свх. Ануйский целиком представляет собой низкогорья и среднегорья (рис. 1-2). Предгорная равнина, площадью около 2 тыс. км^2, находится ниже по течению. Средняя высота водосбора 790 м, на водоразделе абсолютные высоты достигают 2300 м и более. Средний многолетний расход воды составляет 31,1 м^3/с.

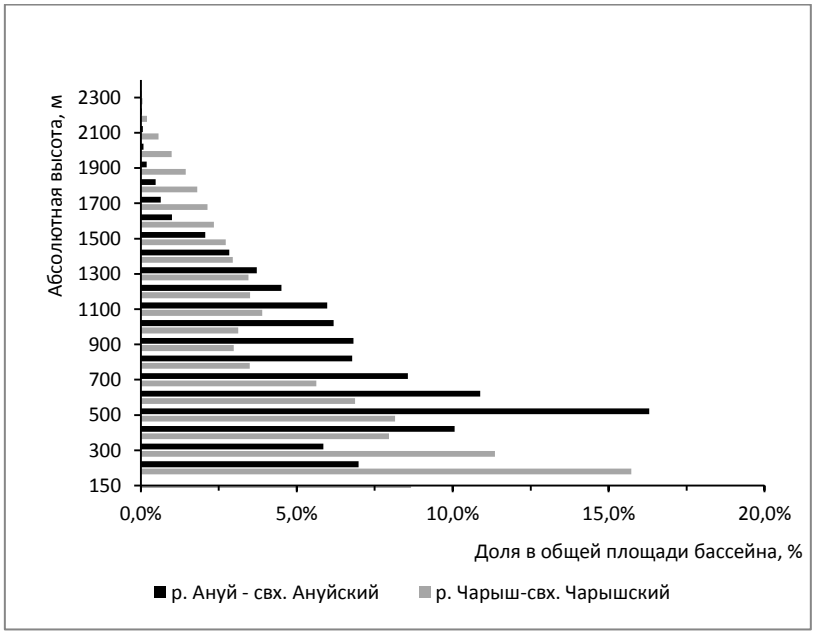


Рис. 1. Распределение пощади бассейнов рек Чарыш и Ануй по высотным зонам

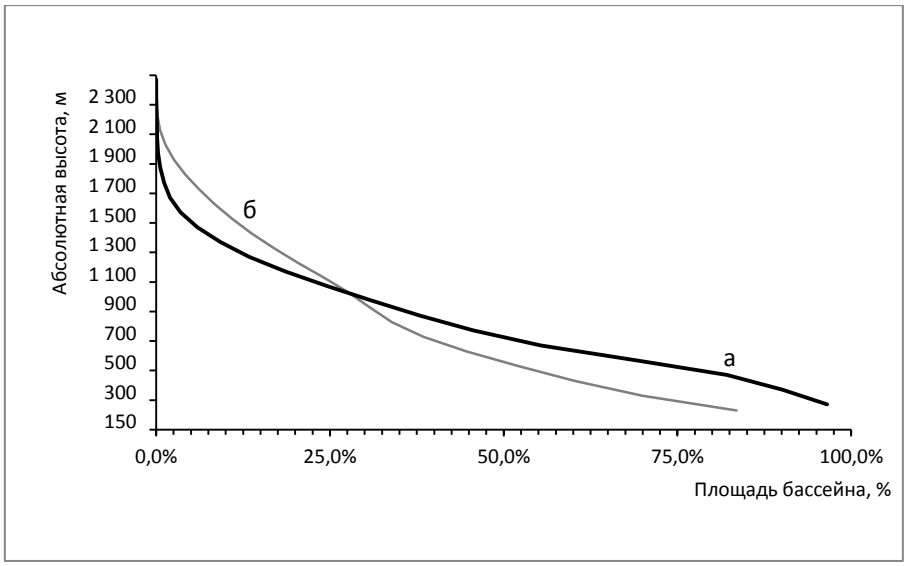


Рис. 2. Гипсографическая кривая бассейнов р. Ануй до створа свх. Ануйский (а) и р. Чарыш до створа свх. Чарышский (б)

Половодье многопиковое, длится с конца марта до конца июня, максимума достигает в третьей декаде апреля. Максимальный расход – 462 м^3/с (1966), в среднем за половодье проходит от 42 до 71 % годового стока. Средний уклон реки до створа свх. Ануйский – 5,1 ‰, Лесистость бассейна – 20 % [11-12]. Большую часть низкогорной части водосбора занимают лесостепные и лесные подтаежные ландшафты. В среднегорной зоне распространены лесные горно-таежные, подтаежные и лесостепные ландшафты [13].

Исходные данные и методы исследования

В данной работе расчет сумм осадков за зимний период производился при помощи модели движения воздушных масс при пересечении ими орографических барьеров, представленной в работе «Условия формирования и расчет максимальных снегозапасов в горах» [7]. На основе данной модели для бассейнов рек Ануй и Чарыш были рассчитаны орографические добавки к скорости вертикальных движений при формировании твердых осадков (рис. 3). Матрица позволяет интерполировать данные наблюдений на метеостанциях и постах на всю территорию бассейна с учетом орографической добавки.

В бассейне р. Ануй в разное время функционировали четыре гидрологических поста в населенных пунктах Белый Ануй, Солонешное, свх. Ануйский и Старотырышкино и одна метеостанция в с. Солонешное. Поэтому для расчетов привлекались данные ближайших гидрометеороогчисеких станций и постов (рис. 3). Для расчетов был выбраны периоды с 1968 по 1974 гг. (включает экстремальные по водности годы: 1969 г. – близкий к максимальному, 1974 г. – близкий к минимальному) и с 1981 по 1988 гг. (за этот период имеются «Метеорологические ежемесячники», и можно включить в расчеты полей твердых осадков данные гидрометеологичесиких постов).

Расчет количества твердых осадков за холодный период выполнялся на основе сумм месячных осадков с 1 ноября по 31 марта. При определении суммы твердых осадков расчитывалось соотношение снегозапасов по данным ландшафтных снегомерных съемок и по осадкомеру, таким образом, оценивалась необходимость внесения поправки на метелевый перенос. Так, ГМС Краснощеково имеет коэффициент метелевого переноса близкий к единице, т.е.,

метелевой концентрации не наблюдается. ГМС с. Чарышское также имеет постоянный из года в год коэффициент (0,6-0,7). Скорее всего, это также связано с отсутствием метелевой концентрации. По ГМС Усть-Калманка коэффициент изменяется в разные годы от 0,43 до 0,76 (табл. 1).

При этом обнаружена статистически значимая зависимость коэффициента метелевого переноса от высоты снежного покрова (рис. 4). Данная зависимость использована для учета влияния метелевой концентрации на постах предгорной равнины, расположенных в аналогичных условиях: Старотырышкино, Точильное, свх. Ануйский и Сычевка, т.к. данных снегомерных съемок по этим пунктам недостаточно.

Результаты работы

1. Оценка связи суммы твердых осадков с абсолютной высотой пунктов наблюдения. Как указывалось выше, в гидрологических исследованиях сумму осадков традиционно увязывают с абсолютной высотой пунктов наблюдений. На первом этапе мы попытались проверить эту закономерность для зимних осадков в бассейне р. Ануй (рис. 5). Коэффициент детерминации между средней многолетней суммой твердых осадков и высотой пунктов неблюдений составил 0,58. Однако для отдельных лет в подавляющем большинстве случаев (табл. 2) эта связь статистически не значима.

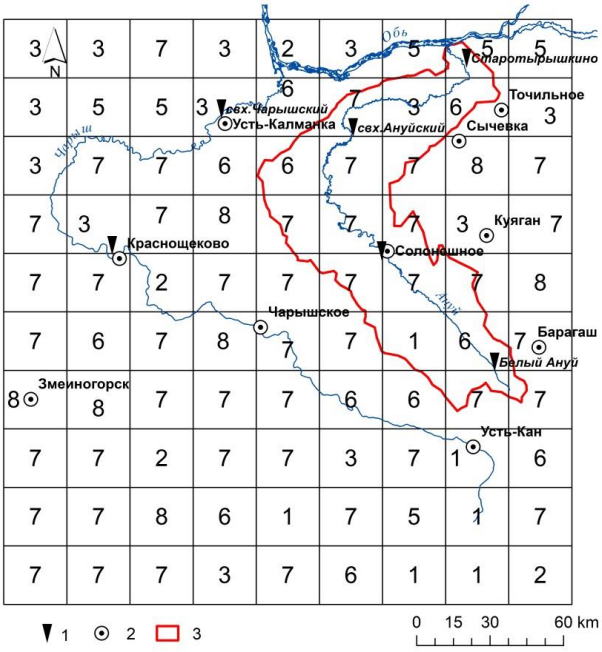


Рис. 3. Матрица орографической добавки к скорости вертикальных движений за счет орографии в бассейне реки Ануй до устья:

1 – от –1,0 до –0,5; 2 – от –0,5 до –0,1; 3 – от –0,1 до –0,01; 4 – от –0,01 до 0; 5 – от 0 до 0,01; 6 – от 0,01 до 0,1; 7 – от 0,1 до 0,5; 8 – от 0,5 до 1,0 м/сек. Шаг сетки 25 км. Показаны метеостанции и посты в пределах исследуемых бассейнов: 1 – гидрологические, 2 – метеорологические; 3 – границы бассейнов.

Таблица 1

Коэффициент на ветровую аккумуляцию ГМС Усть-Калманка

Год	Дата W max	W max, мм	Сумма X, мм	Поправочный коэффициент
1968-1969	20 марта	76	178,7	0,43
1972-1973	20 марта	71	132,7	0,54
1974-1975	10 февраля	24	31,7	0,76
1975-1976	20 марта	81	119,0	0,68
1978-1979	15 марта	82	173,2	0,47

Примечание: приводятся данные на основе имеющихся материалов [14].

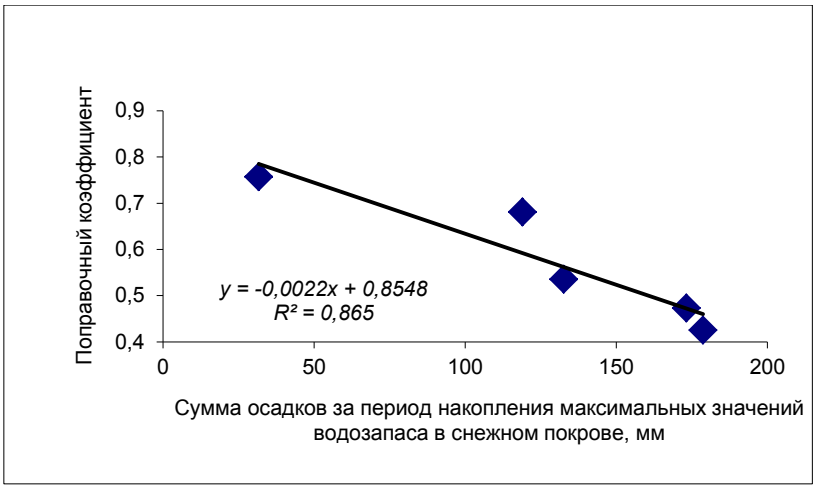


Рис. 4. Зависимость поправочного коэффициента на метелевую аккумуляцию от величины осадков по осадкомеру (ГМС Усть-Калманка)

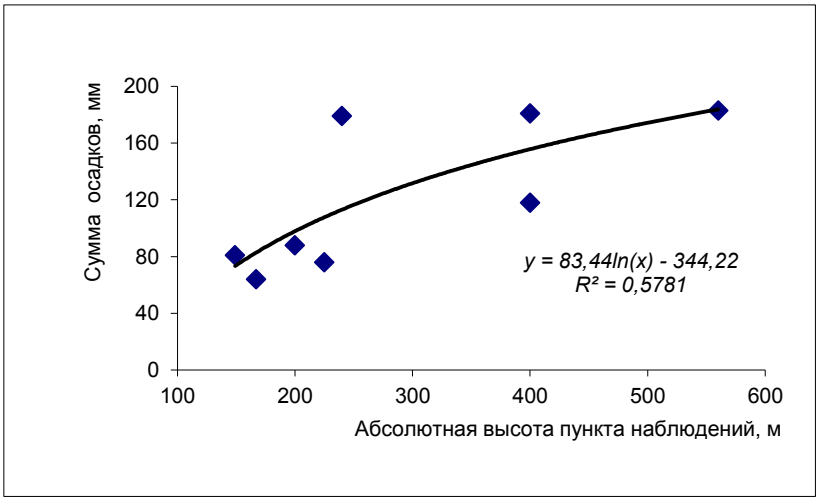


Рис. 5. Зависимость средней многолетней суммы зимних осадков от абсолютной высоты **X** = f(H) в бассейне р. Ануй (с учетом метелевого переноса).

Таблица 2

Коэффициенты детерминации между суммой зимних осадков и абсолютной высотой пунктов наблюдений

Год	R^2	Год	R^2	Год	R^2
1968	0,32	1973	0,10	1984	0,10
1969	0,21	1974	0,00	1985	0,14
1970	0,86	1981	0,03	1986	0,36
1971	0,06	1982	0,53	1987	0,05
1972	0,46	1983	0,29	1988	0,26

Кроме того, максимальная абсолютная высота в бассейне, охваченная инструменталными наблюдениями (пост Куяган), составляет 560 м, в то время как перевальные точки из бассейна Ануя в бассейн Чарыша составляют около 1500-2000 м, а отдельные вершины на водораздельных гребнях достигают 2400 м. Таким образом, интерполяция ежегодных зимних осадков в исследуемых бассейнах на основе их зависимости от абсолютной высоты не представляется возможной.

2. Оценка сумм твердых осадков в бассейне р. Ануй. Вторым этапом были расчитаны суммы твердых осадков для каждого зимнего сезона с использованием матрицы орографической добавки к скорости вертикальных движений (рис. 1). Величины зимних осадков (с ноября по март) определялись по следующим метеостанциям и постам (табл. 3).

Таблица 3

Список станций и постов, используемых для расчета суммы зимних осадков

Станция или пост	Орографическая добавка (V z), м/сек
Усть-Калманка	0,0
Краснощеково	0,3
Чарышское	0,41
Солонешное	0,25
Старотырышкино	0,05
Точильное	0,055
Совхоз Ануйский	0,1
Сычевка	0,2
Куяган	0,2

Таблица 4

Коэффициенты детерминации между суммой зимних осадков и орографической добавкой

Год	R^2			Год	R^2
1968	0,53	1973	0,21	1984	0,18
1969	0,35	1974	0,41	1985	0,30
1970	0,26	1981	0,52	1986	0,34
1971	0,01	1982	0,59	1987	0,05
1972	0,75	1983	0,52	1988	0,20

По материалам наблюдений для каждого зимнего сезона строились корреляционные графики: сумма зимних осадков функция орографической добавки и составлялись уравнения регрессии. В качестве примера приведена зависимость суммы зимних осадков от орогрфической добавки к скорости вертикальных движений $\Sigma X = f(V_z)$ для зимы 1973-1974 гг. (рис. 6).

Поскольку в бассейне р. Ануй величины наблюденных сумм зимних осадков за отдельный год не имеют большой амплитуды (на рис. 6 – 60-100 мм), то в большинстве случаев статистическая связь с орографической добавкой может отсутствовать (табл. 4). Поэтому средняя сумма осадков за зиму оценивалась как средневзвешенное из материалов наблюдений. Полученные суммы твердых осадков были соотнесены с величиной стока за период половодья (табл. 5).

3. Оценка связи стока половодья и суммы твердых осадков в бассейне р. Ануй. Для вычисления слоя стока половодья для каждого года строились комплексные графики, включающие графики изменения среднесуточных расходов по гидрологическому посту в свх. Ануйский, среднесуточных температур и количества осадков по ГМС Солонешное, находящейся в центре бассейна.

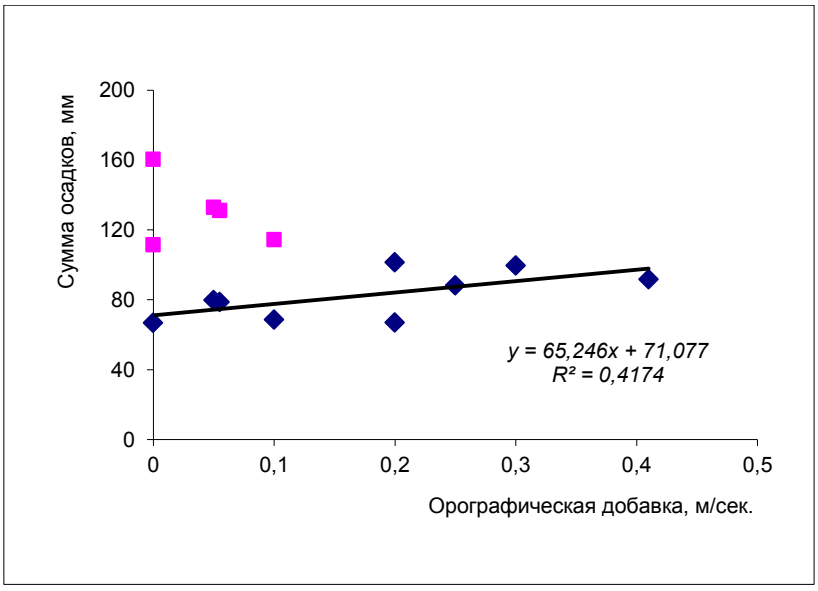


Рис. 6. Зависимость суммы зимних осадков зимой 1973-1974 г. в бассейне реки Ануй от орогрфической добавки к скорости вертикальных движений:

квадратики – сумма зимних осадков для метеостанций и постов без учета метелевой концентрации (Усть-Калманка, Старотырышкино, Точильное, свх. Ануйский, Сычевка).

Для периода с 1968-1974 гг. использовались данные «Основных гидрологических характеристик» (ОГХ) [11-12]. В ряде лет со значительным количеством весенних осадков наблюдается увеличение стока за счет дождевых паводков. Выделение дождевых паводков на спаде половодья осуществлялось методом их «срезки», поэтому величина слоя стока за половодье по сравнению с данными ОГХ уменьшалась (табл. 5).

Несмотря на то, что в отдельные годы (табл. 4) коэффициент детерминации между суммой зимних осадков и орографической добавкой не соответствует статистическим нормам, конечный результат оказался вполне удовлетворительным.

На основе полученных материалов построен график связи суммы зимних осадков и слоя стока весеннего половодья со «срезкой» паводков (рис. 7). Коэффициент детерминации составил 0,68.

Таблица 5

Сумма осадков за зиму, расчитанная с помощью матрицы орографической добавки к скорости вертикальных движений и слой стока за половодье, 1968-1974 и 1981-1988 гг.

Год	Σ X (11-03), мм	h, мм		Дата паводков
		ОГХ	без паводков	
1968	112,3	113	107	с 15 по 23 мая
1969	158,3	225	225	–
1970	74,9	118	79	с 13 мая по 5 июня
1971	86,9	126	115	9-15 и 18-30 мая
1972	93,6	90	90	–
1973	101,2	161	140	с 16 мая по 8 июня
1974	75,7	62	62	
1981	88,25	63,3	63,3	–
1982	69,58	63,2	60,7	с 6 по 13 мая
1983	65,76	82,3	78,2	с 24 мая по 6 июня
1984	64,54	56,7	49,1	с 19 мая по 5 июня
1985	79,7	92,2	92,2	–
1986	–	91,0	93,7	7-11 мая и 3-10 июня
1987	–	95,5	97,2	17-21 и 24-28 мая
1988	–	98,0	109,7	с 15 мая по 10 июня

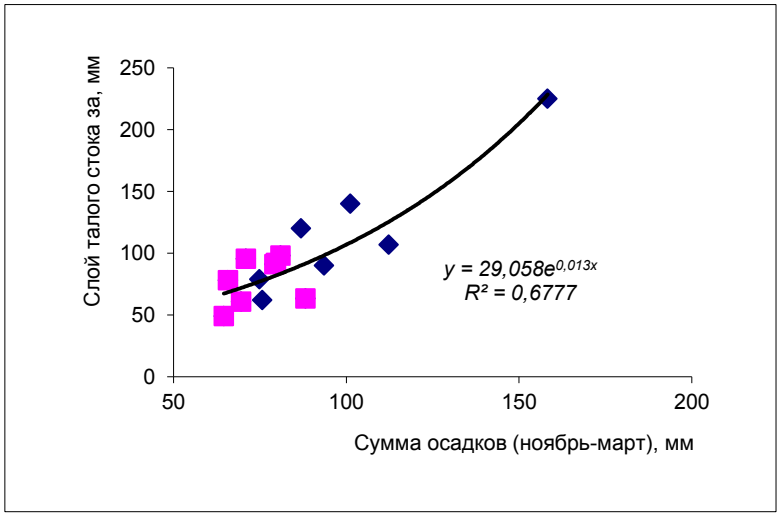


Рис. 7. Сумма зимних осадков и слой стока весеннего половодья (со срезкой паводков):
1968-1974 – ромбики, 1981-1988 – квадратики.

Обсуждение результатов

Ранее [10] при прогнозе максимальных уровней половодья на р. Чарыш (свх. Чарышский) было установлено, что важную роль в процессе их формирования играет начальный период снегонакопления, который, в свою очередь, определяет условия промерзания грунтов. В данной работе мы попытались рассмотреть, каким образом этот фактор может повлиять на слой талого стока р. Ануй.

Для этого были проанализированы условия формирования снежного покрова для каждого года, при этом учитывалась сумма выпавших осадков на начальной фазе образования устойчивого снежного покрова по ГМС Солонешное и высота снежного покрова (рассчитывалась с учетом плотности осевшего снега) до наступления занчительных (ниже 10°С) морозов. В качестве периода проверки, по аналогии с бассейном р. Чарыш, выбраны 1990-2000 и 2006 гг. Период суммирования ограничим похолоданием в 11°С (табл. 6).

В соответствии с исследованиями в бассейне р. Чарыш [10] отсутствием значительного промерзания характеризуются зимы 1994-1995, 1996-1997, 2005-2006 гг. Как видно из таблицы 6, и в бассейне р. Ануй эти зимы выделяются большой толщиной снега перед значительными морозами. Однако слой стока половодья в эти годы не был меньше обычного (рис. 8).

Таблица 6

Условия начала формирования снежного покрова по ГМС Солонешное

Год	Даты первых снегопадов	Сумма осадков, мм	Толщина снежного покрова при ρ =0,15 г/см^3, см
1990	12-16 ноября	18,3	12
1991	1-4 ноября	15,7	10
1992	3-4 ноября	17,0	11
1993	1-7 ноября	15,2	10
1994	7-10 ноября	29,2	19
1995	15-16 ноября	4,9	3
1996	19-26 октября	34,3	23
1997	12 ноября	6,9	5
1998	11-13 ноября	9,5	6
1999	9-21 ноября	8,8	6
2000	22 октября – 4 ноября	24,3	16
2005	3-17 ноября	39,6	26

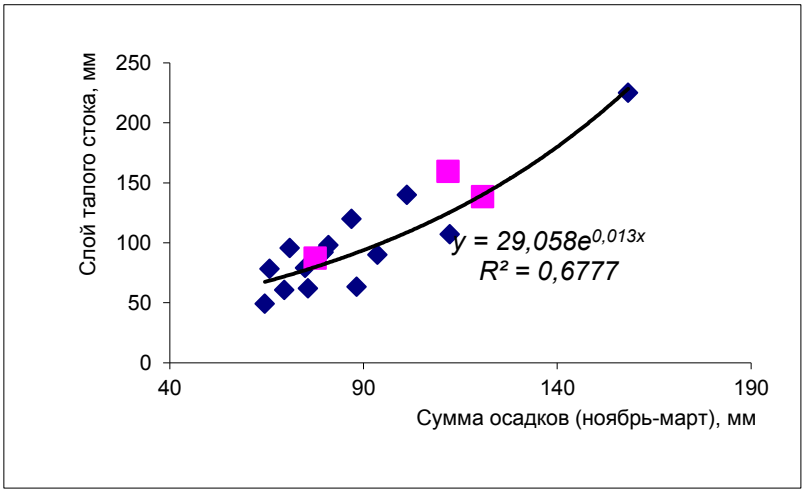


Рис. 8. Сумма зимних осадков и слой стока весеннего половодья р. Ануй (со срезкой паводков):
ромбики – 1968-1974, 1981-1985 гг.; квадратики – 1994-1995, 1996-1997, 2005-2006 гг.

Очевидно, в бассейне р. Ануй метеорологические условия на начальной стадии формирования снежного покрова не оказывают существенного влияния на поступление талых вод в речную сеть в период половодья.

Выводы

1. Проанализирована связь средней многолетней суммы зимних осадков в бассейне р. Ануй по гидрометеорологическим станциям и постам с их абсолютной высотой. Несмотря на то, что коэффициент детерминации составил 0,57, в подавляющем большинстве случаев для отдельных лет сватистически значимой связи не обнаруживается. Таким обазом, использование высотных зависимостей для оценки твердых осадков в данном бассейне некорректно.

2. Использование орографической добавки к скорости вертикальных движений для расчета суммы зимних осадков более предпочтительно. Это подтверждается тесной зависимостью между полученными суммами твердых осадков и слоем стока половодья.

3. В отличие от бассейна р. Чарыш, значительную часть площади которого (до 40 %) занимает предгорная равнина, в горном бассейне р. Ануй условия формирования снежного покрова в осенний период (октябрь-ноябрь) и промерзание грунтов не оказывают существенного влияния на сток половодья.

Авторы выражают благодарность О.В. Ловцкой за помощь в поиске исходных данных.

Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта 0383-2019-0003 и благодаря финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-05-00007).

Список литературы:

1. Пузанов А.В., Зиновьев А.Т., Безматерных Д.М., Резников В.Ф., Трошкин Д.Н. Опасные гидрологические явления в бассейне Верхней Оби: Современные тенденции и прогнозирование // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2018. – № 4. – С. 69-77.

2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – М.: Гидрометеоиздат, 1974. – 422 с.

3. Харшан Ш.А. Долгосрочные прогнозы стока горных рек Сибири // Тр. Гидрометцентра СССР. Вып.65. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 211 с.

4. Мухин В.М. методитческие основы физико-статистических видов краткосрочных прогнозов стока горных рек // Тр. Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2013. – № 349. – С. 5-46.

5. Ревякин В.С., Кравцова В.И. Снежный покров и лавины Алтая. – Томск. Изд-во Томского университета, 1977. – 216 с.

6. Снежно-водно-ледниковые ресурсы бассейна Верхней Оби и прогнозы стока весеннего половодья. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1986. – 254 с.

7. Галахов В.П. Условия формирования и расчет максимальных снегозапасов в горах. – Новосибирск: Наука, 2003. – 104 с.

8. Галахов В.П. Условия формирования половодья малой горной реки (по исследованиям в бассейне р. Майма) // Изв. АО РГО. – 2015. – № 3 (38). – С. 35-40.

9. Галахов В.П., Попов Е.С., Мардасова Е.В., Плехова А.В. Прогноз максимальных уровней реки Чарыш в период снеготаяния // Изв. АО РГО. – 2016. – № 3. – С. 38-44.

10.Галахов В.П., Мардасова Е.В., Люцигер Н.В.,Самойлова С.Ю. Влияние осеннего промерзания на максимальные уровни бассейна реки Чарыш // Изв. АО РГО. – 2018. – № 2 (49). – С. 54-57.

11.Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики (за 1963-1970 гг. и весь период наблюдений). Т. 15. Алтай, Западная Сибирь и Северный Казахстан. Вып. 1. Верхняя и Средняя Обь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1975. – 543 с.

12.Ресурсы поверхностных вод. Основные гидрологические характеристики. Т. 15, Вып. 1 (1971-1975). Верхняя и Средняя Обь. – Л.: Гидрометеоиздат, 1979. – 488 с.

13.Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). Карта. М-б 1:500000. – Новосибирск, 2011.

14.Справочник по климату СССР. Вып. 20. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 333 с.

References

1. Puzanov A.V., Zinovyev A.T., Bezmaternykh D.M., Reznikov V.F., Troshkin D.N. Opasnye gidrologicheskiye yavleniya v basseyne Verkhney Obi: Sovremennye tendentsii i prognozirovaniye // Vodnoye khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravleniye. – 2018. – № 4. – S. 69-77.

2. Apollov B.A., Kalinin G.P., Komarov V.D. Kurs gidrologicheskikh prognozov. – M.: Gidrometeoizdat, 1974. – 422 s.

3. Kharshan Sh.A. Dolgosrochnye prognozy stoka gornykh rek Sibiri // Tr. Gidromettsentra SSSR. Vyp.65. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 211 s.

4. Mukhin V.M. metoditcheskiye osnovy fiziko-statisticheskikh vidov kratkosrochnykh prognozov stoka gornykh rek // Tr. Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatelskogo tsentra Rossyskoy Federatsii. – 2013. – № 349. – S. 5-46.

5. Revyakin V.S., Kravtsova V.I. Snezhny pokrov i laviny Altaya. – Tomsk. Izd-vo Tomskogo universiteta, 1977. – 216 s.

6. Snezhno-vodno-lednikovye resursy basseyna Verkhney Obi i prognozy stoka vesennego polovodya. – Tomsk: Izd-vo Tom. un-ta, 1986. – 254 s.

7. Galakhov V.P. Usloviya formirovaniya i raschet maksimalnykh snegozapasov v gorakh. – Novosibirsk: Nauka, 2003. – 104 s.

8. Galakhov V.P. Usloviya formirovaniya polovodya maloy gornoy reki (po issledovaniyam v basseyne r. Mayma) // Izv. AO RGO. – 2015. – № 3 (38). – S. 35-40.

9. Galakhov V.P., Popov Ye.S., Mardasova Ye.V., Plekhova A.V. Prognoz maksimalnykh urovney reki Charysh v period snegotayaniya // Izv. AO RGO. – 2016. – № 3. – S. 38-44.

10.Galakhov V.P., Mardasova Ye.V., Lyutsiger N.V.,Samoylova S.Yu. Vliyaniye osennego promerzaniya na maksimalnye urovni basseyna reki Charysh // Izv. AO RGO. – 2018. – № 2 (49). – S. 54-57.

11.Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Osnovnye gidrologicheskiye kharakteristiki (za 1963-1970 gg. i ves period nablyudeny). T. 15. Altay, Zapadnaya Sibir i Severny Kazakhstan. Vyp. 1. Verkhnyaya i Srednyaya Ob. – L.: Gidrometeoizdat, 1975. – 543 s.

12.Resursy poverkhnostnykh vod. Osnovnye gidrologicheskiye kharakteristiki. T. 15, Vyp. 1 (1971-1975). Verkhnyaya i Srednyaya Ob. – L.: Gidrometeoizdat, 1979. – 488 s.

13.Chernykh D.V., Samoylova G.S. Landshafty Altaya (Respublika Altay i Altaysky kray). Karta. M-b 1:500000. – Novosibisrk, 2011.

14. Meteorologicheskij ezhegodnik. Vyp. 20. Nablyudeniya gidrometeorologicheskih stancij i postov nad snezhnym pokrovom (snegos'emki).

EFFECT OF A RATIO OF LARGE MORPHOLOGICAL UNITS OF A MOUNTAIN BASIN ON SNOWMELT RUNOFF

V.P. Galakhov[1,2], S.Yu. Samoilova[1], E.V. Mardasova[2]

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

[2]Altai State University, Barnaul

The influence of large morphological units of the mountain basin on runoff depth is shown due to the comparative analysis of spring flood in the Charysh and Anuy mountain catchments.

Key words: Altai Krai, Charysh, Anuy, autumn freezing, flood runoff depth.

Received January 15, 2020

УДК [556.51+911.5]: 519.85

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ПОЛОВОДЬЯ ГОРНЫХ РЕК

Ю.Б. Кирста, О.В. Ловцкая
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул
E-mail: kirsta@iwep.ru, kirsta2007@mail.ru, lov@iwep.ru, lov_olga@inbox.ru

На примере 34 средних и малых рек Алтае-Саянской горной страны разработана универсальная имитационная модель прогноза речного стока в период половодья. Входными факторами модели служат месячные осадки и среднемесячные температуры воздуха. Метеорологические характеристики рассчитываются в процентах от их среднемноголетних значений и усредняются по всей площади исследуемой территории. Сток прогнозируется на три месяца вперед с трехкратно меньшей дисперсией, чем у прогноза по среднемноголетнему значению. Качество прогноза характеризуется критерием Нэша-Сатклиффа NSE >0,68 и является очень высоким для долгосрочных прогнозов половодья.

Ключевые слова: системно-аналитическое моделирование, половодье, прогноз, горные реки, Алтай, Саяны.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15604
Дата поступления 3.03.2020

Решение проблем эффективного использования речного стока в условиях потепления климата и увеличения числа экстремальных погодных явлений требует разработки адекватных прогнозных моделей этого стока. Такие модели дают возможность оценивать риски наводнений, включая катастрофические, заблаговременно принимать меры по предотвращению их неблагоприятных последствий и обеспечивать устойчивое водоснабжение населения в целом [1]. Модели должны учитывать изменения метеорологических, геоморфологических и других факторов среды во времени и/или пространстве, и после выявления наиболее важных из них давать количественный прогноз гидрологического режима рек [2-4]. Данная задача резко осложняется для горных территорий вследствие их сложного орографического строения, не менее сложной пространственно-временной структуры метеорологических полей и редкой сети метеостанций [5-7]. Нами предлагается универсальная математическая модель для долгосрочного прогноза речного стока в период весенне-летнего половодья. Согласно данным гидрологических наблюдений половодье составляет более половины годового объема стока горных рек, и его прогноз имеет крайне важное значение для борьбы с наводнениями и управления водными ресурсами горных территорий в целом.

Большинство современных прогнозных моделей половодья и речных паводков разработаны для конкретной реки и дают краткосрочный оперативный прогноз с заблаговременностью в несколько дней. Они могут использовать статистические методы обработки метеорологических или гидрологических данных, системы физически обоснованных уравнений гидрологических процессов, ГИС-технологии или все методы одновременно [8-15]. ГИС применяется для учета пространственного распределения данных, визуализации результатов расчетов, моделирования отдельных процессов и других целей. Статистические методы в отдельности не обеспечивают точность, требующуюся для современного управления вод-

ными ресурсами. Поэтому, для характеристики гидрологических процессов в речных бассейнах привлекаются дифференциальные уравнения гидродинамики и математической физики, дополняемые по мере необходимости имитационными уравнениями [16]. Дифференциальные уравнения требуют подробной пространственно распределенной информации об осадках, температурах воздуха, испаряемости, подземных водоносных горизонтах, морфометрии, уклонах, свойствах водонасыщенных почв и трещиноватых пород, показателях сопротивлению течения на склонах и в русловой сети, и т.д. и т.п. Из-за отсутствия подобной информации для горных территорий использование дифференциальных уравнений препятствует увеличению заблаговременности и хорошему качеству прогнозов, а поэтому становится нецелесообразным.

Применяемый нами метод системно-аналитического моделирования [17-19] позволяет обойти изложенные выше проблемы и построить имитационные балансовые модели с адекватным описанием реальных гидрологических процессов. Адекватность будем понимать аналогично [20] как соответствие модели физическим принципам и законам, дополненных принятыми в их рамках допущениями. При этом не будем описывать процессы через дифференциальные уравнения математической физики, характеризующие потоки массы, импульса и различных форм энергии.

Системно-аналитическое моделирование

Метод системно-аналитического моделирования (САМ) позволяет выявить и количественно описать основные процессы и их связь с факторами среды в различных природных системах [17, 19, 21-22]. В настоящей работе САМ применяется для поиска и количественной оценки связей речного стока с метеорологическими факторами, морфометрией и ландшафтной структурой речных бассейнов. САМ позволяет выделить информацию об этих связях из рядов экспериментальных данных подобно экспертно-аналитическому методу [23].

Имитационная балансовая модель для долгосрочного прогноза весенне-летнего половодья строится в виде системы алгебраических уравнений. Функциональные зависимости между речным стоком и факторами среды находятся через гидрологически обоснованные подбор и корректировку уравнений, обеспечивающих минимальное расхождение (минимальную квадратичную невязку) между прогнозируемыми и наблюдаемыми значениями стока за многолетний период. Параметры модели (ее идентификация) находятся через решение обратной математической задачи с помощью оптимизационных методов пакета программ MATLAB путем подстановки в уравнения данных наблюдений за стоком. При этом у тестируемого варианта модели оценивается получаемая для него квадратичная невязка. Модель считается построенной, когда найдена такая система уравнений, которая обеспечивает наименьшее значение невязки.

В САМ форма искомых зависимостей от факторов среды заранее не фиксируется. Отметим, что у дифференциальных уравнений эта форма фиксирована самим выбором тех или иных уравнений. С этой целью применяли универсальную тестовую функцию *H*, задаваемую выражением:

$$H(X1, X2, Y1, Y2, Z1, Z2, X) = \begin{cases} Y1 + Z1(X - X1), & \text{если } X < X1 \\ \frac{Y2-Y1}{X2-X1}(X - X1) + Y1, & \text{если } X1 \le X < X2 \\ Y2 + Z2(X - X2), & \text{если } X \ge X2 \end{cases}, \quad X1 \ne X2 \quad (1)$$

где *X1*, *X2*, *Y1*, *Y2*, *Z1*, *Z2* – параметры; *X* – какая-либо переменная модели. Функция *H* является непрерывной кусочно-линейной функцией, состоящей из трех произвольных линейных фрагментов (рис. 1).

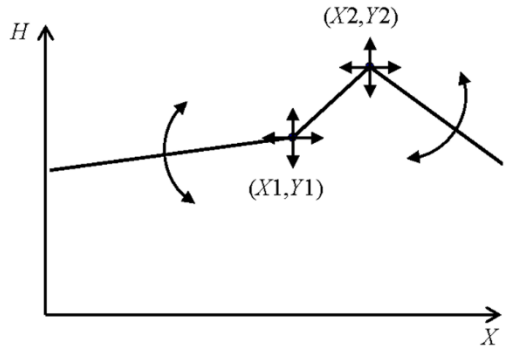


Рис. 1. Непрерывная кусочно-линейная функция *H(X1,X2,Y1,Y2,Z1,Z2,X)* из трех линейных фрагментов с произвольно изменяемыми параметрами (1)

Из рисунка 1 видно, что функция может использоваться для аппроксимации различных зависимостей между переменными, если изменять значения ее параметров в (1). Любые математические модели, включая прогнозные, требуют проверки их точности. С этой целью нами предложен универсальный критерий, позволяющий оценивать адекватность любых расчетных методов и моделей путем сравнения рядов наблюдаемых и рассчитанных характеристик [22, 24-25]:

$$A = \frac{1}{\sqrt{2}} \frac{S_{\text{разн}}}{S_{\text{набл}}}, \qquad (2)$$

где A – критерий адекватности; $S_{\text{разн}}$ – стандартное (среднеквадратичное) отклонение для разности сравниваемых расчетного/прогнозного и наблюдаемого рядов, $S_{\text{набл}}$ – стандартное отклонение для наблюдаемого ряда, $\frac{1}{\sqrt{2}}$ – введенный множитель.

Согласно (2) критерий A представляет собой погрешность модели, нормированную на стандартное отклонение наблюдаемого ряда данных. Для адекватных математических моделей и прогнозных методов среднее значение невязки между прогнозируемыми и наблюдаемыми данными можно считать равным нулю из-за его малости по сравнению с $S_{\text{разн}}$. Значения A могут меняться от нуля до единицы и выше:

– близкие к 0 – это идентичность сравниваемых рядов и абсолютная точность прогноза;

– $1/\sqrt{2}$ = 0,71 – пороговое значение, при превышении которого метод/модель становится неадекватным и для прогноза лучше использовать среднее значение характеристики;

– близкие к 1 – сравниваемые ряды имеют одинаковые дисперсии и нулевую ковариацию, что дает $S_{\text{разн}} \approx \sqrt{2} S_{\text{набл}}$ согласно правилами сложения дисперсий случайных величин; это означает, что прогноз эквивалентен случайным вариациям характеристики около ее средней величины с дисперсией и стандартным отклонением, соответствующими наблюдаемому ряду; метод случайных вариаций нередко применяется в математических моделях для создания «естественного» разброса значений входных факторов;

– больше 1 – дисперсия расчетного ряда больше чем у наблюдаемого при их нулевой ковариации, т.е. использовать проверяемый метод/модель не целесообразно.

Критерий A в (2) аналогичен известным показателям качества моделей RSR (RMSE-observation Standard deviation Ratio, где RMSE – Root Mean Square Error [26-27]) и NSE (*Nash-Sutcliffe model Efficiency coefficient* – коэффициент Нэша-Сатклиффа [27]). Величина A связана с RSR и NSE зависимостями RSR = $A\sqrt{2}$ и NSE = 1–RSR^2 = 1–2A^2. По сравнению с RSR и NSE, диапазон применения критерия A более широк и дополнительно включает оценку адекватности прогнозов по статистически средней величине [28].

У математических моделей есть другая важная характеристика – это их чувствительность к вариациям факторов среды [29-30]. Например, при известной чувствительности речного стока к температурам воздуха и осадкам можно спрогнозировать многолетние изменения этого стока в условиях глобального потепления климата. Нами предложен про-

стой метод количественной оценки чувствительности моделей с использованием критерия адекватности *A* [25, 31]:

$$FS = (A')^2 - (A)^2 = \frac{(S'_{\text{разн}})^2 - (S_{\text{разн}})^2}{2(S_{\text{набл}})^2} = \frac{2(S_{\text{факт}})^2}{2(S_{\text{набл}})^2} = \frac{(S_{\text{факт}})^2}{(S_{\text{набл}})^2}, \quad (3)$$

где *FS* – чувствительность модели к естественным вариациям выбранного входного фактора; *A* – критерий (2); *A′* – значение *A*, получаемое при подстановке наблюдаемых значений этого фактора, перемешанных между собой случайным образом и, очевидно, имеющих прежнее статистическое распределение и дисперсию; $(S_{\text{разн}})^2$ – дисперсия для разности расчетного и наблюдаемого значений выходной переменной (речного стока); $(S'_{\text{разн}})^2$ – эта же дисперсия при подстановке в прогнозную модель наблюдаемых значений входного фактора, перемешанных между собой случайным образом; $(S_{\text{факт}})^2$ – вклад естественных вариаций этого фактора в дисперсию выходной переменной (речного стока); $(S_{\text{набл}})^2$ – дисперсия наблюдаемых значений выходной переменной, используемая для нормировки *FS*.

Чувствительность *FS* близка по смыслу к известной статистической характеристике «процент объясненной дисперсии», а также коэффициенту детерминации R^2. В уравнении (3) дисперсия, обусловленная ошибками наблюдений за входным фактором, будет присутствовать и в $(S'_{\text{разн}})^2$ и в $(S_{\text{разн}})^2$. Поэтому она не будет влиять на значение *FS* из-за ее взаимного вычитания в числителе (3) [31]. Тем самым *FS* оценивает чувствительность модели *непосредственно к природным вариациям входного фактора*, исключая ошибки его наблюдений. Очевидно, *FS* характеризует также относительную значимость факторов среды для модели. Как и критерий *A*, *FS* может быть выражена через показатели RSR и NSE. Учитывая равенство $\text{RSR} = A\sqrt{2}$, имеем $FS = [(\text{RSR}')^2 - (\text{RSR})^2]/2$. Аналогичным образом получаем *FS* = (NSE – NSE′)/2. Подобно *A′* в (3), показатели RSR′ и NSE′ равны соответственно RSR и NSE, полученным через использование перемешанных случайным образом наблюдаемых значений выбранного входного фактора вместо их первоначального порядка.

Исходные материалы

Рассматриваемая в настоящей работе Алтае-Саянская горная страна расположена между 50° и 56° с.ш., 82° и 104° в.д. [32]. Она представляет собой часть мирового водораздела между гумидной областью Северного Ледовитого океана и аридной бессточной областью Центральной Азии. Ее площадь превышает 2 млн км^2. Преобладающие высоты хребтов горных систем составляют 200-2500 м, достигая на Алтае 3500-4500 м. Режим стока рек зависит весной от таяния снежного покрова, а в летне-осенний период – от количества выпадающих осадков. Доля снеговой составляющей в стоке половодья достигает 50 % и более. Страна отличается большим разнообразием климатических условий, определяющих многообразие ее ландшафтов: гляциально-нивальных, тундровых, альпийских и субальпийских лугов, лесных, степных и полупустынных [33]. Например, годовое количество осадков на северных склонах гор на высотах более 3000 м составляет 1200-2500 мм, на середине склонов – до 600 мм, а у подножья – около 200 мм.

Выполнение САМ опиралось на наблюдения за речными стоками, проведенные на территории Алтае-Саянской горной страны Гидрометеорологической службой СССР и России в 1951-2016 гг. Для исследования было выбраны 34 средние и малые реки, для которых были определены границы водосборных бассейнов (рис. 2). Большое количество одновременно анализируемых в ходе САМ бассейнов позволило нивелировать их специфические особенности и определить общие (универсальные) для всей горной территории

закономерности гидрологических процессов.

Учитывая особенности внутригодовой динамики метеорологических факторов и речного стока, мы выделили четыре гидрологических периода/сезона: зимняя межень (XII-III месяцы), весенне-летнее половодье (IV-VI), летняя межень (VII-VIII), осенняя межень с возможными паводками при сильных дождях (IX-XI). Ежедневные данные о водном стоке на каждом из 34 речных створов усреднялись по периоду весенне-летнего половодья (второй сезон) для каждого года, когда проводились наблюдения. В среднем по створам сток в половодье составлял порядка 140 м^3/с и значительно превышал сток в остальные сезоны года (10, 50, 30 м^3/с – для первого, третьего и четвертого сезонов, соответственно).

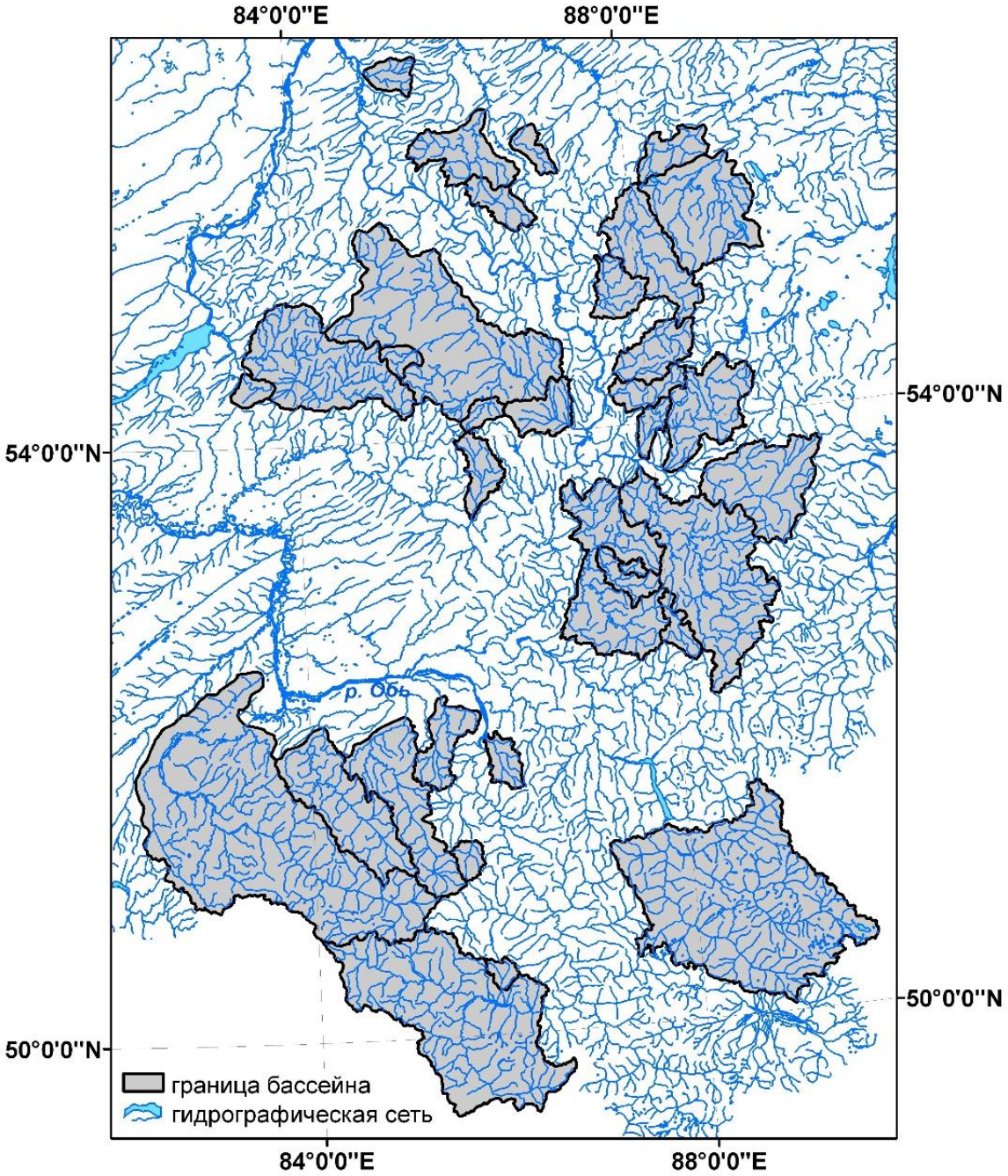


Рис. 2. Карта-схема расположения 34 модельных речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны [18]

Для учета ландшафтной структуры речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны выполнена типизация ландшафтных выделов, отражающая условия формирования гидрологического и гидрохимического речных стоков, в т.ч. высотно-поясную и структурно-ярусную неоднородность территории [34]. Всего выделено 12 типов ландшафтов и отдельно 13-й аквальный ландшафт, имеющий незначительную площадь (табл. 1). Каждый ландшафт рассматривался как самостоятельная типологическая группа геосистем со своими гидрологическими характеристиками, дающая определенный вклад в общий сток с речного бассейна.

Для всех 34 речных бассейнов рассчитаны высоты и площади выделенных ландшафтов. Исходным картографическим материалом служили карта «Ландшафты Алтая (Алтайский край и Республика Алтай)» [35], «Ландшафтная карта Алтайского края» масштаба 1:500 000 [36], а также топографические карты масштаба 1:200 000. Перечисленные картографические источники использованы для создания цифровых версий карт в программной среде ArcGIS 10.2. Характеристики ландшафтной структуры речных бассейнов, в частности, площадь бассейнов, средняя высота и относительная площадь ландшафтов в каждом речном бассейне, вычислялись на основе TIN моделей, построенных с помощью модуля 3D Analyst.

Общая климатическая характеристика Алтае-Саянской горной страны приведена в таблице 2. Более детальные статистические характеристики климата можно найти в [37]. На территории большинства анализируемых речных бассейнов регулярные метеорологические наблюдения отсутствовали. Нами показано, что многолетняя динамика среднемесячных температур воздуха, как и месячных осадков, будет одинакова для больших пространств, если эти факторы выражать в процентах/долях от среднемноголетних значений соответствующих месяцев [38-39]. Такая динамика относительных/нормированных значений факторов оказалась одинаковой также для всей территории Алтае-Саянской горной страны [24, 28]. Для ее расчета мы использовали данные 11 реперных метеостанций (табл. 3) за 1951-2016 гг.

Таблица 1

Высота и относительная площадь ландшафтов Алтае-Саянской горной страны с вкладом текущих осадков в речной сток весенне-летнего половодья

Ландшафт (типологическая группа геосистем)	Средняя высота, м БС	Средняя относительная площадь[1]	Доля[2] текущих осадков в весенне-летнем половодье
Гляциально-нивальные высокогорья	2448	1,2	0,23
Гольцово-альпинотипные высокогорья и среднегорья, псевдогольцовые низкогорья	1446	9,5	0,35
Тундрово-степные и криофитно-степные высокогорья	2329	0,4	0,56
Лесные высокогорья, среднегорья и низкогорья	742	44,1	0,33
Экспозиционно-лесостепные и степные высокогорья и среднегорья	1213	1,8	0,69
Лесостепные, степные низкогорья и предгорья	415	15,9	0,24
Межгорные котловины с различными вариантами степей и лесостепей	720	5,2	0,31
Степные и лесостепные подгорные и возвышенные аккумулятивные равнины	268	8,8	0,31
Недренируемые слабопроточные интразональные и интрапоясные ландшафты	1501	1,3	0,93
Долины горных рек	563	9,0	0,00
Долины равнинных рек	229	2,0	0,37
Лесные возвышенные и подгорные равнины	263	0,7	0,36
Аквальные ландшафты	1400	0,03	0,69

Примечание: 1 – от площади речного бассейна (%); 2 – для осадков (IV-VI) в стоке половодья [18, 22].

Сначала рассчитали многолетнюю помесячную динамику относительных значений температур воздуха и осадков для каждой станции в отдельности. Для холодного периода года наименьшее различие относительных среднемесячных температур между 11 станциями имело место при их выражении в процентах относительно среднемноголетних температур за январь, а для теплого – за июль. У относительных значений осадков для всех месяцев года это оказался июль. Взяв затем средние по 11 станциям, получили пространственно усредненную помесячную динамику указанных факторов. Последняя адекватно отражала реальную метеорологическую обстановку на любом участке Алтае-Саянской горной страны, независимо от координат и высоты станций над уровнем моря (табл. 3). Отсутствие зависимости от меняющейся по территории высоты было особенно важным, т.к. позволило охарактеризовать динамику относительных среднемесячных температур и месячных осадков сразу по всей площади каждого бассейна, перепад высот в которых достигал 2000 м. Более того, эта динамика была одинаковой для всех речных бассейнов. Таким образом, для периода 1951-2016 гг. были рассчитаны 66×12 = 792 относительных значения для температур и столько же для осадков. Отметим, что для перехода к описанию многолетней помесячной динамики температур и осадков в градусах Цельсия и миллиметрах соответственно достаточно знать только их среднемноголетние месячные значения для характеризуемого участка.

Адекватность относительных климатических характеристик была оценена с помощью критерия *A*. Сравнение их рассчитанных (по реперным станциям) и наблюдаемых (по другим, не реперным станциям) многолетних помесячных рядов по критерию (2) дало A_T=0,39 для температур воздуха и A_P=0,62 для осадков в среднем по всем месяцам года [24, 28]. Значениями *A* воспользуемся позже при оценке адекватности прогнозной модели половодья.

Таблица 2

Среднемноголетние значения температур воздуха и осадков Алтае-Саянской горной страны, 1951-2016 гг.

Климатическая характеристика	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура, °С	–16,1	–14,7	–7,7	2,6	10,4	15,8	17,8	15,4	9,6	2,1	–7,2	–13,3
Осадки, мм	21,7	19,5	22,9	40,6	59,4	70,6	83,5	72,5	50,0	51,0	41,0	30,3

Таблица 3

Географические характеристики реперных метеостанций

Метеостанция	Индекс ВМО	Широта	Долгота	Высота, м БС
Бийск-Зональная[1]	29939	52° 41'	84° 56'	222
Змеиногорск[2]	36038	51° 09'	82° 10'	354
Камень-на-Оби[1]	29822	53° 49'	81° 16'	127
Кара-Тюрек[2]	36442	50° 02'	86° 27'	2601
Кузедеево[3]	29849	53° 20'	87° 11'	293
Кызыл-Озек[2]	36055	51° 54'	86° 00'	324
Ребриха[1]	29923	53° 05'	82° 20'	218
Славгород[1]	29915	52° 58'	78° 39'	125
Солонешное[2]	36045	51° 38'	84° 20'	409
Усть-Кокса[2]	36229	50° 16'	85° 37'	977
Яйлю[2]	36064	51° 46'	87° 36'	482

Примечание: 1 – прилегающие к Горному Алтаю равнины; 2 – Горный Алтай; 3 – Кузнецкая межгорная котловина.

Поскольку в качестве входных метеорологических факторов модели использовались относительные значения температур воздуха и осадков, необходимо было выполнить аналогичную процедуру и с речным стоком. Для этого наблюдаемые величины стока были разделены на отвечающие им среднемноголетние значения в каждом бассейне. Тем самым от единиц измерения стока в $м^3/с$ перешли к безразмерным единицам относительного/нормированного стока. Такая нормировка позволила создать единую однородную выборку данных по стокам всех 34 речных бассейнов, пригодную для САМ. Аналогично, площади ландшафтов в каждом бассейне ($км^2$) были переведены в доли/проценты делением на площадь этого бассейна. Высоты расположения ландшафтов нами не изменялись.

В целом, имеющаяся база данных для САМ половодья включала следующие характеристики 34 речных бассейнов: гидрологические (1630 величин нормированного речного стока в среднем за весенне-летнее половодье), метеорологические (792+792=1584 относительных месячных значений температур воздуха и осадков), ландшафтные (352 значения площадей и высот).

Построение прогнозной модели половодья

Подобно регрессионному анализу, для успешного применения САМ необходимо, чтобы массив фактических данных о динамике анализируемого процесса значительно превышал число параметров в уравнениях конструируемой модели [19]. Тогда имеем 1630 значений речного стока, что позволяет ввести в модель порядка 150 параметров. В то же время число речных бассейнов составляет 34. Тогда имеем 1630 значений речного стока, что позволяет ввести в модель порядка 1630/10≈160 параметров. В то же время число речных бассейнов составляет 34. Поэтому, при описании конкретной зависимости стока от какой-либо характеристики бассейнов, например, от высоты расположения их ландшафтов, можно использовать только 34/10≈3 параметра. То же самое касается зависимости стока от температуры и осадков, если идентификацию параметров модели проводить, например, по 33-летнему периоду наблюдений. Ограничение тремя параметрами для кусочно-линейной функции *H* (рис. 1) означает, что она должна включать только два линейных фрагмента. Такое условие реализовано согласно (1) как зависимость *H(X1*, *X1*, 1, 1, *Z1*, *Z2*, *X)*.

Прогноз среднего речного стока в течение весенне-летнего половодья (IV-VI) выполнялся для каждого года периода 1984-2016 гг. по данным о температурах воздуха и осадков за предшествующие половодью IX-III месяцы. Параметры прогнозной модели определялись через решение обратной математической задачи с помощью оптимизационных методов. Для их расчета использовались наблюдаемые относительные стоки одновременно всех 34 рек за скользящий 33-летний идентификационный период, предшествующий прогнозируемым годам. Найденные параметры применялись для прогноза стока в течение следующих трех лет. Для последующих лет их значения рассчитывались заново уже по следующему идентификационному периоду, сдвинутому на три года вперед.

В ходе САМ были проверены различные варианты уравнений, описывающих формирование стока в половодье под воздействием факторов среды. В результате построена прогнозная модель половодья с 39 параметрами, дающая наименьшую квадратичную невязку между прогнозируемыми и наблюдаемыми стоками. Ее общее/универсальное для всех речных бассейнов, имитационное балансовое уравнение имеет вид:

$$Q^i = (c_1, c_2, 1{,}1, c_3, c_4, P_1) \times \{\sum_k a_k S_k^i P_1 H(c_9, c_{10}, 1{,}1, c_{11}, c_{12}, h_k^i) + \sum_k b_k S_k^i P_2 H(c_5, c_6, 1{,}1, c_7, c_8, T_2) \times H(c_9, c_{10}, 1{,}1, c_{11}, c_{12}, h_k^i)\} + d, \qquad (4)$$

где Q^i – средний нормированный сток за весенне-летний гидрологический сезон (половодье, IV-VI) для замыкающего створа бассейна i = 1-34; первая и вторая суммы в правой части (4) отвечают вкладу осеннего сезона предыдущего года и зимнего сезона текущего года соответственно; a_k, b_k – параметры, характеризующие вклады k-го ландшафта в речной сток за соответствующие сезоны, k=1-13 (табл. 1); S_k^i – относительная площадь k-го ландшафта в бассейне i; h_k^i – высота этого же ландшафта, м БС; P_1, P_2 – отклонения относительных значений месячных осадков от их среднемноголетних значений в среднем за осенний сезон предыдущего года и зимний сезон текущего года, соответственно; T_2 – отклонение относительной среднемесячной температуры воздуха от ее среднемноголетнего значения в среднем за зимний сезон; H – кусочно-линейная функция (1); c_{1-4}, c_{5-8}, c_{9-12} – параметры, характеризующие соответственно влияние осенних осадков P_1 и зимних температур T_2 на величину стока в половодье, и влияние высоты ландшафтов h_k^i на количество выпадающих осадков; d – постоянная доля нормированного стока ($d \leq 1$), одинаковая для всех речных бассейнов.

В правой части (4) суммируются вклады каждого ландшафта в сток Q^i речного бассейна i. В первом слагаемом (4) вклад k-го ландшафта формируется осадками P_1 осеннего сезона предыдущего года и зависит от его гидрологических особенностей (параметр a_k), площади S_k^i и высоты h_k^i (влияющей на количество осадков). Во втором слагаемом (4) вклад k-го ландшафта формируется осадками P_2 зимнего сезона и зависит от особенностей этого ландшафта (параметр b_k), его площади S_k^i, температуры T_2 (определяющей испарение с поверхности снежного покрова) и высоты расположения ландшафтов h_k^i. Множитель $H(c_1, c_2, 1{,}1, c_3, c_4, P_1)$ характеризует влагообмен между почвой и снежным покровом зимой, который зависит от формирования сплошной ледяной прослойки в верхнем слое почвы осенью при обильных осадках P_1 [19].

Для расчета параметров через решение обратной задачи использовали данные наблюдений за речными стоками 1951-2016 гг. Левая часть (4) заменялась на наблюдаемые значения стоков, отвечающие очередному скользящему 33-летнему идентификационному периоду. Эти значения, количеством от 200 до 1000, давали систему из того же числа уравнений, которая решалась оптимизационными методами MATLAB для определения значений параметров как неизвестных переменных. При решении указанной системы определялась идентификационная квадратичная невязка, характеризующая расхождение между рассчитываемыми и наблюдаемыми в 33-летнем идентификационном периоде стоками. Данные о стоках, приводящие к значительному расхождению расчетного и наблюдаемого значений, исключались из этой невязки. Случайные расхождения могли возникать для отдельных речных бассейнов в конкретный год из-за (а) значительного отличия между усредненным по метеостанциям значением метеорологического фактора и реально имеющими место флуктуациями этого фактора, (б) технических ошибок записи данных или других подобных причин. Обнаружение случайных расхождений осуществлялось путем сравнения расчетного и наблюдаемого стоков по известному «правилу трех сигм» для нормального распределения. Отметим, что для САМ отклонение расчетных характеристик от эксперименталь-ных/наблюдаемых значений близко к нормальному, как это имеет место для адекватных математических моделей. Ошибкой формально считались те наблюдения за стоком в отдельные годы в том или ином бассейне, которые выходили за пределы утроенного среднего квадратичного отклонения (утроенного квадратного корня из квад-

ратичной невязки) от расчетной величины. Данным образом исключалось до 4 % данных. Очевидно, что исключенные данные могли быть достоверными и отвечать реальным флуктуациям температур воздуха или осадков в бассейне. В то же время их исключение не влияло на САМ вследствие их незначительного количества. Из изложенного следует, что, выполняемые прогнозы речного стока имеют достоверность не хуже 100–4=96 %, т.е. не хуже общепринятой 95 % достоверности статистических оценок.

Качество прогнозной модели стока весенне-летнего половодья (4) оценивалось по периоду 1984-2016 гг. с помощью критерия адекватности *A* в (2). Данный период был разделен на короткие трехлетние интервалы. Для каждого из них выполнялся свой прогноз по модели (4) с параметрами, найденными по предшествующему (скользящему) 33-летнему идентификационному периоду. При расчете критерия *A* использовалось стандартное отклонение $S_{\text{разн}}$, характеризующее невязку между прогнозируемыми и наблюдаемыми нормированными речными стоками. Для прогнозов по периоду 1984-2016 гг. было доступно 381 нормированных значений наблюдаемых стоков по всем 34 речным бассейнам. Очевидно, что такая выборка, вместе с аналогичной выборкой прогнозных стоков, достаточна для достоверных статистических оценок. Согласно расчетам адекватность модели (4) составила *A*=0,65. Отметим, что таким же значением *A* характеризовался прогноз речных стоков в зимнем сезоне, который осуществлялся по метеорологическим данным предшествующих летнего и осеннего сезонов [18, 22]. Полученное значение *A*=0,65 меньше пороговой величины 0,71 (см. разъяснения к уравнению (2)), отвечающей тривиальной прогнозной модели из статистически среднего значения характеристики. Таким образом, нам удалось учесть в (4) предшествующие метеорологические условия, влияющие на объем стока половодья в речных бассейнах Алтае-Саянской горной страны. Отметим, что прогноз речных стоков выполнялся по пространственно усредненным данным метеостанций, находящихся вне речных бассейнов. Ниже проанализирована возможность более точного прогноза весенне-летнего половодья по метеорологическим наблюдениям непосредственно в бассейнах.

Обсуждение результатов моделирования

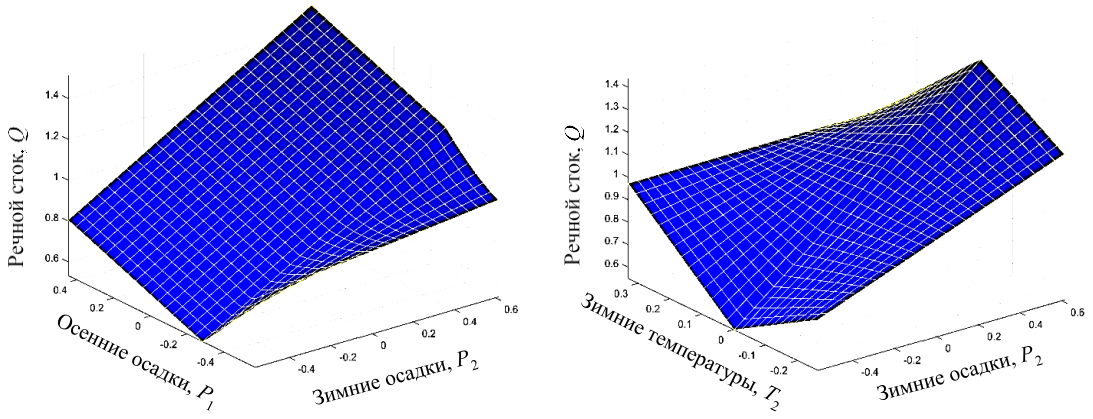
Большинство математических моделей водного стока создаются по данным, полученным для одного речного бассейна. В подобных случаях охарактеризовать влияние на сток каждого ландшафта бассейна как отдельной природной гидрологической системы крайне затруднительно. Каждому ландшафту будет отвечать по одному значению высоты или иной характеристики. Построение же функции зависимости стока от этой характеристики лишь по одной точке невозможно. Кроме того, из модели будет невозможно исключить индивидуальные особенности анализируемого бассейна, что ограничивает ее применение для другой территории. В нашем случае значения параметров модели (4) характеризуют одновременно 34 бассейна, синхронно анализируемых в САМ и значительно отличающихся по орографии, почвенно-растительному покрову и климату. Иначе говоря, разработанная модель является универсальной и может применяться для прогнозов половодья рек по всей Алтае-Саянской горной стране. Отметим, что прогнозируемые по модели (4) стоки с 34 речных бассейнов (табл. 1) нормированы на свои среднемноголетние значения в бассейнах. Умножая стоки на эти значения, мы легко их переводим в $м^3/с$. Также отметим, что из уравнения (4) легко рассчитать стоки с отдельных ландшафтов в каждом бассейне.

Зависимость половодья от метеорологических факторов. На рисунке 3

представлена типичная зависимость речного стока в весенне-летнее половодье от входных климатических факторов модели (4), полученная в ходе САМ. Мы видим естественную пропорциональность стока Q количеству зимних осадков P_2. Также видим достаточно сложную зависимость стока от осенних осадков P_1 и зимних температур T_2.

Рассмотрим сначала поведение стока Q при незначительных зимних осадках $P_2 < 0$. Существенное уменьшение осенних осадков $P_1 < -0{,}3$ (рис. 3*а*) или снижение зимней температуры $T_2 < 0$ (рис. 3*б*) ведет к увеличению стока Q. Это объясняется все более глубоким промерзанием почв (до двух-трех метров [40]) в течение зимы из-за небольшого снежного покрова ($P_2 < 0$). Весной при таянии снега глубокое промерзание способствует формированию в верхних слоях почв ледяной прослойки, препятствующей инфильтрации талой воды в почвы [19, 40]. В результате вода без задержки скатывается со склонов гор в реки и увеличивает объем половодья. При росте осенних осадков $P_1 > -0{,}3$ (рис. 3*а*) ледяная прослойка образуется уже в переходной период осень-зима и захватывает все большую площадь почв. За зиму она нарастает за счет диффузии парообразной влаги вверх из глубоких слоев почв [19]. Весной она опять препятствует инфильтрации талых вод и увеличивает сток Q. В свою очередь, при повышении зимних температур $T_2 > 0$ (рис. 3*б*) рост стока Q может объясняться двумя причинами: (а) более активным таянием снежного покрова на всех высотах из-за слабо промерзших почв, (б) большей влажностью последних из-за их меньшего иссушения зимой вследствие уменьшенного градиента температур между теплой почвой и воздухом.

При больших зимних осадках $P_2 > 0$ снижение зимней температуры $T_2 < 0$ (рис. 3*б*) ведет к уменьшению стока Q. Это связано с тем, что температура снежной толщи и почвогрунтов понижается, что ведет к задержке таяния снега весной и смещению части стока половодья на лето. При повышении $T_2 > 0$ сток Q опять уменьшается вследствие: (а) более медленного промерзания почвогрунтов, ведущего к оттоку почвенной влаги в нижние слои почвогрунтов [41] и далее ее уходу в зимний речной сток, (б) увеличивающихся потерь влаги на испарение с поверхности снежного покрова.



а *б*

Рис. 3. Зависимость стока р. Катунь в весенне-летнее половодье от температур воздуха и осадков за предшествующие сезоны года:

показаны отклонения характеристик в долях от их среднемноголетних значений согласно уравнению (4);
а – сток Q (IV-VI мес.) как функция осадков P_1 (IX-XI) и P_2 (XII-III),
б – сток Q как функция температур T_2 (XII-III) и осадков P_2 .

Чувствительность прогнозной модели к вариациям факторов. Другая важная характеристика прогнозной модели (4) – ее чувствительность *FS* к вариациям факторов среды – позволяет количественно оценить значимость этих факторов для выполняемых прогнозов весенне-летнего половодья. Поскольку *FS* в (3) выражается в долях от дисперсии наблюдаемых значений выходной переменной $(S_{\text{набл}})^2$, то *FS* можно выражать в процентах через ее умножение на 100. Оценка чувствительности стоков половодья, выполненная по рядам рассчитанных и наблюдаемых речных стоков Q^i в (4), дана в таблице 4.

Согласно таблице 4 чувствительность разработанной модели стока (4) к вариациям факторов среды уменьшается в ряде: все осадки, осенние осадки P_1, гидрологические характеристики ландшафтов a_k, b_k, зимние осадки P_2, температура воздуха T_2, высота расположения ландшафтов. Как и следовало ожидать, наибольшую чувствительность модель имеет к двум факторам – осадкам и гидрологическим особенностям ландшафтов. Наименьшую чувствительность она имеет к высотам расположения ландшафтов, хотя зависимость количества осадков (мм) от высоты весьма значительна [42]. Это независимым образом подтверждает адекватность описания метеорологической обстановки по территории Алтае-Саянской горной страны с помощью относительных значений осадков и температур воздуха.

Особо остановимся на малом значении чувствительности половодья FS_T =1,1 % к вариациям зимних температур T_2 (табл. 4). Величина T_2 рассчитывается как отклонение относительных среднемесячных температур от среднемноголетней нормы в среднем за четыре месяца (XII-III). Поэтому межгодовые вариации T_2 весьма малы, а значит, будет мало и их влияние на сток половодья. С другой стороны, в редкие годы отклонения T_2 могут быть значительны и существенно менять этот сток (рис. 3б).

5.3. Оценка точности прогнозов половодья в одном речном бассейне. При выполнении прогнозов весенне-летнего половодья в одном речном бассейне его ландшафтная структура, высоты и площади ландшафтов постоянны, а значит, могут быть исключены из модели (4). Тогда уравнение (4) примет упрощенный вид:

$$Q = H(c_1, c_2, 1{,}1, c_3, c_4, P_1)\{aP_1 + bP_2H(c_5, c_6, 1{,}1, c_7, c_8, T_2)\} + d, \quad (5)$$

где используются те же обозначения, что и в (4), но уже для одного речного бассейна. Параметры c_{1-4}, c_{5-8} имеют прежние значения, установленные для (4) в ходе САМ.

Таблица 4

Чувствительность прогнозной модели половодья (4) к природным вариациям факторов

Характеристика	Значение
Адекватность *A* модели (4) в долях единицы согласно уравнению (2)	0,65
Стандартное отклонение[1] $S_{\text{набл}}$ наблюдаемых речных стоков *Q*	0,30
Чувствительность[2] FS_P к вариациям осадков P_1 и одновременно P_2	34
Чувствительность FS_{P1} к осенним осадкам P_1	21
Чувствительность FS_L к вариациям ландшафтной структуры речных бассейнов[3]	16
Чувствительность FS_{P2} к зимним осадкам P_2	10
Чувствительность FS_T к зимним температурам воздуха T_2	1,1
Чувствительность FS_h к высотам расположения ландшафтов h_k^i	0,2

Примечание: 1 – рассчитано как среднее стандартное (среднеквадратичное) отклонение для нормированных наблюдаемых стоков 34 речных бассейнов; одновременно соответствует среднему стандартному отклонению в долях (или в процентах при умножении на 100 %) от ненормированных наблюдаемых стоков; 2 – оценено согласно (3) и выражено в процентах от дисперсии наблюдаемых речных стоков $(S_{набл})^2$; 3 – рассчитано путем случайного перемешивания значений гидрологических характеристик ландшафтов a_k и независимо b_k в (4) между всеми бассейнами, k=1-12.

Три параметра *a, b, d* в (5) должны рассчитываться с помощью САМ заново по данным наблюдений половодья в анализируемом бассейне за предшествующий скользящий 33-летний идентификационный период. Эти три параметра затем используются при выполнении прогнозов половодья в течение следующих трех лет. После этого они рассчитываются заново по следующему 33-летнему идентификационному периоду.

Допустим, что имеется один речной бассейн с данными метеорологических наблюдений, выполненных непосредственно на его территории. Адекватность прогнозов половодья по модели (5), которую обозначим A_0, будет отличаться от адекватности A (табл. 4) у модели (4). Это связано с тем, что в (5) нет влияния гидрологических особенностей ландшафтов 34 различных бассейнов, которые увеличивают дисперсию рассчитываемых и наблюдаемых стоков. В (5) также нет влияния ошибок в значениях температур воздуха и осадков, возникающих из-за их пространственного усреднения по всей территории Алтае-Саянской горной страны (рис. 2). Очевидно, A_0 является более важной характеристикой, чем A, т.к. прогноз половодья почти всегда нужен для конкретной реки – при угрозе наводнения или нарушения водоснабжения местного населения.

Чувствительность модели (4) к вариациям факторов среды (табл. 4) позволяет оценить адекватность A_0 прогнозов весенне-летнего половодья по метеорологическим наблюдениям, проводимым непосредственно в речном бассейне. Ежегодно меняющимися входными факторами модели (4) служат среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки. Эти факторы одинаковы для всей территории Алтае-Саянской горной страны в результате их пространственного усреднения, характеризующегося критерием адекватности (2) по каждому месяцу года [24]. Рассмотрим из чего складывается дисперсия невязки $(S_{\text{разн}})^2$ у стоков, прогнозируемых с помощью (4).

У математических моделей сложноорганизованных природных систем дисперсия невязки выходной переменной слагается из дисперсий, обусловленных погрешностями наблюдений и вариациями учитываемых факторов [19, 25, 43;]. Учитывая такое сложение и уравнения (2), (3), можно выделить те компоненты дисперсии невязки $(S_{\text{разн}})^2$ у модели (4) [25, 31], которые отсутствуют в дисперсии невязки у упрощенной модели (5). Исключая их из невязки для (4), находим оставшийся компонент, характеризующий A_0. Используя введенную в (2) и (3) нормировку как дисперсии $(S_{\text{разн}})^2$, так и чувствительности FS на $(S_{\text{набл}})^2$, получаем:

$$2A^2 = \left(S_{\text{разн}}\right)^2 / (S_{\text{набл}})^2 \approx FS_L + FS_P \times 2A_P^2 + FS_T \times 2A_T^2 + 2A_0^2 , \quad (6а)$$

где A – адекватность (2) для модели (4); $(S_{\text{разн}})^2$ – дисперсия невязки между прогнозируемыми и наблюдаемыми стоками; $(S_{\text{набл}})^2$ – дисперсия наблюдаемых стоков; FS_L – вклад в $(S_{\text{разн}})^2$ от вариаций гидрологических характеристик (a_k, b_k) ландшафтов (табл. 4); FS_P, FS_T – вклады в $(S_{\text{разн}})^2$ от природных вариаций осадков и температур воздуха соответственно (табл. 4); $2A_P^2$, $2A_T^2$ – доли в дисперсиях природных вариаций соответственно осадков и температур воздуха, формируемые ошибками их пространственного усреднения; A_P, A_T – адекватность (2) для этих же климатических факторов; A_0 – искомый компонент дисперсии $(S_{\text{разн}})^2$, характеризующий адекватность упрощенной модели (5) для одного речного бассейна (см. выше). Подставляя в (6а) значения в долях единицы A = 0,65, FS_L = 0,16, FS_P = 0,34, FS_T = 0,011 (табл. 4) и усредненные по своим месячным значениям для осеннего и зимнего сезонов A_P = 0,73, A_T = 0,32 [24], легко находим значение A_0:

$$2\times(0,65)^2 \approx 0,16 + 0,34\times2(0,73)^2 + 0,011\times2(0,32)^2 + 2A_0^2 \text{ или } A_0 \approx 0,40. \quad (6б)$$

Если рассматривается какой-либо типичный речной бассейн, то для него адекватность A_0 останется той же, что и в уравнениях (6) для всех 34 бассейнов. Это обусловлено тем, что выборки нормированных наблюдаемых стоков для типичного бассейна и для 34 бассейнов имеют одинаковые статистические характеристики ($S_{\text{набл}}$) и отличаются лишь своими объемами. Поэтому мы можем использовать значение $A_0 \approx 0{,}40$ из (6б) также и для оценки качества модели (5) для отдельного бассейна. A_0 рассчитано из уравнения (6а), где отброшены члены, учитывающие относительно малое влияние высот ландшафтов h_k^i на относительные осадки, а также погрешностей определения h_k^i, S_k^i, и расчета параметров c_{9-12} в модели (4). Это означает, что реальное значение A_0 будет меньше 0,40, т.е. окончательная оценка адекватности прогнозной модели (5), использующей данные метеорологических наблюдений в бассейне, $A_0 < 0{,}40$.

Найдем, насколько модель (5) уменьшает дисперсию $(S_{\text{разн}})^2$ у невязки прогнозируемых стоков половодья в сравнении с дисперсией $(S_{\text{разн}})^2 = (S_{\text{набл}})^2$ у тривиального прогноза по среднемноголетнему значению наблюдаемых стоков. Имея уравнения (2), (6а) и $A_0 < 0{,}40$, получаем уменьшение дисперсии невязки прогнозов более чем в три раза:

$A_0^2 = (S_{\text{разн}})^2 / 2(S_{\text{набл}})^2 < (0{,}40)^2$ или $(S_{\text{разн}})^2 < 0{,}32(S_{\text{набл}})^2$.

Также несложно рассчитать другую характеристику качества математических моделей – коэффициент Нэша-Сатклиффа NSE. Прогноз половодья по модели (5) в речном бассейне с выполняемыми в нем метеорологическими наблюдениями будет характеризоваться $\text{NSE}_0 = 1 - 2A_0^2$ (см. выше). Подстановка $A_0 < 0{,}40$ дает $\text{NSE}_0 > 0{,}68$. Значение $\text{NSE}_0 > 0{,}68$ отвечает хорошему ($0.65 < \text{NSE} \leq 0.75$) качеству «описательных» гидрологических моделей [27], а для моделей долгосрочного прогноза стока рек является уникально высоким. При этом выполняется прогноз речного стока на весь период весенне-летнего половодья (IV-VI), т.е. на три месяца вперед.

Заключение

Предложенное системно-аналитическое моделирование (САМ) сложноорганизованных природных систем является эффективным методом разработки их адекватных математических моделей. В рамках САМ осуществляются количественные оценки адекватности/точности и чувствительности моделей к вариациям факторов среды путем расчета вкладов этих вариаций в дисперсию невязки между рассчитываемыми и наблюдаемыми значениями выходной переменной модели. На основе этих оценок выделяются и анализируются отдельные компоненты указанной дисперсии. Такой анализ дает более объективную и полную характеристику качества математических моделей по сравнению с традиционным критерием RSR (отношение невязки расчетов к стандартному отклонению данных наблюдений) или коэффициентом Нэша-Сатклиффа $\text{NSE}=1-\text{RSR}^2$.

С помощью САМ проанализирован сток с 34 речных бассейнов Алтае-Саянской горной страны, охватывающей территорию более 2 млн км^2. Разработана универсальная имитационная балансовая модель (4)–(5), обеспечивающая прогноз речного стока на три месяца вперед, соответствующих периоду весенне-летнего половодья. Для прогнозов используются относительные (нормированные на среднемного-летние значения) среднемесячные температуры воздуха и месячные осадки за осенне-зимний период года. Относительные значения этих факторов более адекватно отражают их сложное распределение по территории горной страны и, поэтому, использованы для повышения точности гидрологических расчетов. В ходе САМ на основе данных об осенне-зимних осадках, температурах воздуха и наблюдаемых стоков количественно охарактеризовано влияние на весенне-летнее половодье осенне-зимне-весен-

него промерзания и оттаивания почвогрунтов. Чувствительность модели (4)–(5) к факторам среды уменьшается в последовательности: осенние осадки, ландшафтная структура речных бассейнов, зимние осадки, зимние температуры воздуха, высоты ландшафтов. Прогнозируемый сток половодья нормирован аналогично метеорологическим данным и переводится в $м^3/с$ путем умножения на свою среднемноголетнюю величину.

Модель стока половодья (5) имеет в три раза уменьшенную дисперсию невязки прогнозов в сравнении с дисперсией тривиального прогноза по среднемноголетнему значению наблюдаемых стоков. Качество прогнозов характеризуется критерием Нэша-Сатклиффа $NSE_0 > 0{,}68$ и является весьма высоким для моделей долгосрочных гидрологических прогнозов. Достижение такого качества возможно при использовании в (5) температур воздуха и осадков, наблюдаемых непосредственно в характеризуемом речном бассейне. Универсальность модели обеспечивает возможность ее практического применения для рек Алтае-Саянской горной страны, а при дополнительной идентификации (уточнении значений ее параметров) и для рек других горных территорий, с целью прогноза наводнений, наполнения горных водохранилищ весной или водообеспеченности местного населения весной.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (проект № 0383-2019-0005), при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-220019 р_а).

Список литературы

1. Deng X., Singh R.B., Liu J., Güneralp B. Water use efficiency and integrated water resource management for river basin // Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C. – 2015. – 89-90. – P. 1-2.

2. Singh M., Singh R.B., Hasan M.I. (eds.). Landscape Ecology and Water Management: Proceedings of IGU Rohtak Conference. Vol. 2. – Tokyo: Springer, 2014. – 361 p.

3. Zhang L. Design and implementation of a mountain torrent disaster warning system based on the distributed hydrological model // Chemical Engineering Transactions. – 2015. – 46. – P. 775-780.

4. Паромов В.В., Шумилова К.А., Гордеев И.Н. Условия формирования половодья большой водности и прогноз наводнения на реке Абакан // Изв. Томского политехнического ун-та. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – 327 (11). – С. 57-67.

5. Владимиров А.М. Факторы, определяющие возникновение экстремальных расходов и уровней воды половодья // Уч. записки Российского государственного гидрометеорологического ун-та. – 2009. – 9. – С. 22-39.

6. Rössler O., Froidevaux P., Börst U., et al. Retrospective analysis of a nonforecasted rain-on-snow flood in the Alps – a matter of model limitations or unpredictable nature? // Hydrology and Earth System Sciences. – 2014. – 18. – P. 2265-2285.

7. Ruiz-Villanueva V., Badoux A., Rickenmann D., et al. Impacts of large flood along a mountain river basin: the importance of channel widening and estimating the large wood budget in the upper Emme River (Switzerland) // Earth Surface Dynamics. – 2018. – 6. – P. 1115-1137.

8. Tao J., Wu D., Gourley J., et al. Operational hydrological forecasting during the IPHEx-IOP campaign – Meet the challenge // J. of Hydrology. – 2016. – 541. – P. 434-456.

9. Corripio J.G., López-Moreno J.I. Analysis and Predictability of the Hydrological Response of Mountain Catchments to Heavy Rain on Snow Events: A Case Study in the Spanish Pyrenees // Hydrology. – 2017. – 4(2). – P. 20.

10. Casagrande L., Tomasella J., dos Santos Alvalá R.C., et al. Early flood warning in the Itajai-Acu River basin using numerical weather forecasting and hydrological modeling // Natural Hazards. – 2017. – 88. – P. 741-757.

11. Meng X.Y., Sun Z.Q., Zhao H.G., et al. Spring Flood Forecasting Based on the WRF-TSRM Mode // Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette. – 2018. – 25. – 141-151.

12. Musselman K.N., Lehner F., Ikeda K., et al. Projected increases and shifts in rain-on-snow flood risk over western North America // Nature Climate Change. – 2018. – 8(9). – 808-812.

13. Belyakova P.A., Gartsman B.I. Possibilities of flood forecasting in the West Caucasian rivers based on FCM model // Water Resources. – 2018. – 45. – S50-S58.

14. Yu Z., Wu J., Chen X. An approach to revising the climate forecast system reanalysis rainfall data in a sparsely-gauged mountain basin // Atmospheric Research. – 2019. – 220. – 194-205.

15. Zhang G., Cui P., Yin Y., et al. Real-time monitoring and estimation of the discharge of flash floods in a steep mountain catchment // Hydrological processes. – 2019. – 33. – 3195-3212.

16. Румынин В.Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии. – СПб, 2011. – 1158 с.

17. Kirsta Yu.B. System-analytical modelling – Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // Ecol. Modelling. – 2006. – 191**.** – 315-330.

18. Кирста Ю.Б., Пузанов А.В., Ловцкая О.В. и др. Имитационная математическая модель стока средних и малых рек для горных территорий // Изв. Самарского научн. центра РАН. – 2012. – 14 (1). – 2334-2342.

19. Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю. Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2014. – 283 с.

20. Beven K. Towards an alternative blueprint for a physically based digitally simulated hydrologic response modelling system // Hydrological Processes. – 2002. – 16. – 189-206.

21. Кирста Ю.Б. Моделирование пустынных экосистем. – Ашхабад: Ылым, 1986. – 144 с.

22. Kirsta Y., Puzanov A., Rozhdestvenskaya T. Models for Describing Landscape Hydrochemical Discharge in Mountain Countries // Landscape Modelling and Decision Support. Innovations in Landscape Research. – Cham: Springer, 2020. – P. 163-178.

23. Tardy Y., Bustillo V., Boeglin J.-L. Geochemistry applied to the watershed survey: hydrograph separation, erosion and soil dynamics: A case study: the basin of the Niger River, Africa // Applied Geochemistry. – 2004. – 19. – 469-518.

24. Кирста Ю.Б. Пространственное обобщение климатических характеристик для горных территорий // Мир науки, культуры, образования. – 2011. – 3 (28). – 330-337.

25. Kirsta Yu. B., Puzanov A. V. System-analytical simulation of hydrochemical runoff of mountain rivers: Case study of dissolved iron // Water Resources. – 2019. – 46 (2). – 199-208.

26. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation // Transactions of the ASABE. – 2007. – 50 (3). – P. 885-900.

27. Koch·M., Cherie N. SWAT-modeling of the impact of future climate change on the hydrology and the water resources in the upper blue Nile river basin, Ethiopia // Proceedings of the 6th Int. Conf. on Water Resources and Environment Research, ICWRER, June 3-7, 2013. – Koblenz, Germany, 2013. – P. 428-523.

28. Kirsta, Y.B., Lovtskaya, O.V. Spatial year-ahead forecast of air temperature and precipitation in large mountain areas // SN Appl. Sci. – 2020. – 2. – Article number: 1044.

29. Iooss B., Lemaître P. A review on global sensitivity analysis methods // Uncertainty management in Simulation-Optimization of Complex Systems: Algorithms and Applications. – Springer US, 2015. – 264 p.

30. Song X., Zhang J., Zhan C., et al. Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications // J. of Hydrology. – 2015. – 523. – P. 739-757.

31. Кирста Ю.Б. Чувствительность моделей речного стока к факторам среды и ее количественная оценка // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2015. – 17 (6). – 97-103.

32. Раковская Э.М., Давыдова М.И. Физическая география России. Ч. 2. Азиатская часть, Кавказ и Урал. – М.: ГИЦ «Владос», 2001. – 304 с.

33. Физико-географическое районирование СССР: характеристика региональных единиц. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1968. – 576 с.

34.Кирста Ю.Б., Лубенец Л.Ф., Черных Д.В. Типизация ландшафтов для оценки речного стока в Алтае-Саянской горной стране // Устойчивое развитие горных территорий. – 2011. – 2 (8). – 51-56.

35.Черных Д.В., Самойлова Г.С. Ландшафты Алтая (Алтайский край и Республика Алтай). Карта. – Новосибирск: ФГУП Новосибирская картографическая фабрика, 2011.

36.Цимбалей Ю.М. Ландшафтная карта Алтайского края. Карты // Фондовые материалы ИВЭП СО РАН, 2011.

37.Изменение климата и его воздействие на экосистемы, население и хозяйство российской части Алтае-Саянского экорегиона: оценочный доклад // Всемирный фонд дикой природы (WWF России). – М., 2011. – 168 с.

38.Kirsta Yu.B. System-analytical modelling – Part II: Wheat biotime run and yield formation. Agroclimatic potential, Le Chatelier principle, changes in agroclimatic potential and climate in Russia and the U.S. // Ecol. Modelling. – 2006. – 191. – 331-345.

39.Кирста Ю.Б. Прогноз климата и агроклиматического потенциала Сибирского федерального округа до 2020 г. // Проблемы региональной экологии. – 2011. – 3. – 22-30.

40.Танасиенко А.А., Путилин А.Ф., Артамонова В.С. Экологические аспекты эрозионных процессов: Аналит. обзор / ГПНТБ СО РАН, Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН. Сер. Экология. Вып. 55. – Новосибирск, 1999. – 89 с.

41.Николаев А.Н., Скачков Ю.Б. Влияние снежного покрова и температурного режима мерзлотных почв на радиальный прирост деревьев Центральной Якутии // Журн. СФУ. Биология. – 2012. – 5 (1). – P. 43-51.

42.Селегей В.В., Селегей Т.С. Телецкое озеро. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 143 с.

43.Миркин Б.М., Розенберг Г.С. Фитоценология. Принципы и методы. – М.: Наука, 1978. – 212 с.

References

1. Deng X., Singh R.B., Liu J., Güneralp B. Water use efficiency and integrated water resource management for river basin // Phys. Chem. Earth, Parts A/B/C. – 2015. – 89-90. – P. 1-2.

2. Singh M., Singh R.B., Hasan M.I. (eds.). Landscape Ecology and Water Management: Proceedings of IGU Rohtak Conference. Vol. 2. – Tokyo: Springer, 2014. – 361 p.

3. Zhang L. Design and implementation of a mountain torrent disaster warning system based on the distributed hydrological model // Chemical Engineering Transactions. – 2015. – 46. – P. 775-780.

4. Paromov V.V., Shumilova K.A., Gordeev I.N. Usloviya formirovaniya polovod`ya bol`shoj vodnosti i prognoz navodneniya na reke Abakan // Izv. Tomskogo politexnicheskogo un-ta. Inzhiniring georesursov. – 2016. – 327 (11). – S. 57-67.

5. Vladimirov A.M. Faktory`, opredelyayushhie vozniknovenie e`kstremal`ny`x rasxodov i urovnej vody` polovod`ya // Uch. zapiski Rossijskogo gos.gidrometeorolo-gicheskogo un-ta. – 2009. – 9. – S. 22-39.

6. Rössler O., Froidevaux P., Börst U., et al. Retrospective analysis of a nonforecasted rain-on-snow flood in the Alps – a matter of model limitations or unpredictable nature? // Hydrology and Earth System Sciences. – 2014. – 18. – P. 2265-2285.

7. Ruiz-Villanueva V., Badoux A., Rickenmann D., et al. Impacts of large flood along a mountain river basin: the importance of channel widening and estimating the large wood budget in the upper Emme River (Switzerland) // Earth Surface Dynamics. – 2018. – 6. – P. 1115-1137.

8. Tao J., Wu D., Gourley J., et al. Operational hydrological forecasting during the IPHEx-IOP campaign – Meet the challenge // J. of Hydrology. – 2016. – 541. – P. 434-456.

9. Corripio J.G., López-Moreno J.I. Analysis and Predictability of the Hydrological Response of Mountain Catchments to Heavy Rain on Snow Events: A Case Study in the Spanish Pyrenees // Hydrology. – 2017. – 4(2). – P. 20.

10.Casagrande L., Tomasella J., dos Santos Alvalá R.C., et al. Early flood warning in the Itajai-Acu River basin using numerical weather forecasting and hydrological modeling // Natural Hazards. – 2017. – 88. – P. 741-757.

11. Meng X.Y., Sun Z.Q., Zhao H.G., et al. Spring Flood Forecasting Based on the WRF-TSRM Mode // Tehnicki Vjesnik-Technical Gazette. – 2018. – 25. – 141-151.
12. Musselman K.N., Lehner F., Ikeda K., et al. Projected increases and shifts in rain-on-snow flood risk over western North America // Nature Climate Change. – 2018. – 8(9). – 808-812.
13. Belyakova P.A., Gartsman B.I. Possibilities of flood forecasting in the West Caucasian rivers based on FCM model // Water Resources. – 2018. – 45. – S50-S58.
14. Yu Z., Wu J., Chen X. An approach to revising the climate forecast system reanalysis rainfall data in a sparsely-gauged mountain basin // Atmospheric Research. – 2019. – 220. – 194-205.
15. Zhang G., Cui P., Yin Y., et al. Real-time monitoring and estimation of the discharge of flash floods in a steep mountain catchment // Hydrological processes. – 2019. – 33. – 3195-3212.
16. Rumy`nin V.G. Geomigracionny`e modeli v gidrogeologii. – SPb: Nauka, 2011. – 1158 s.
17. Kirsta Yu.B. System-analytical modelling – Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // Ecol. Modelling. – 2006. – 191. – 315-330.
18. Kirsta Yu.B., Puzanov A.V., Lovczkaya O.V. i dr. Imitacionnaya matematicheskaya model` stoka srednix i maly`x rek dlya gorny`x territorij // Izv. Samarskogo nauchn. centra RAN. – 2012. – 14 (1). – 2334-2342.
19. Kirsta Yu.B., Kirsta B.Yu. Informacionno-fizicheskij zakon postroeniya e`volyucionny`x sistem. Sistemno-analiticheskoe modelirovanie e`kosistem. – Barnaul: Izd-vo Alt. gos. un-ta, 2014. – 283 s.
20. Beven K. Towards an alternative blueprint for a physically based digitally simulated hydrologic response modelling system // Hydrological Processes. – 2002. – 16. – 189-206.
21. Kirsta Yu.B. Modelirovanie pusty`nny`x e`kosistem. – Ashxabad: Y`ly`m, 1986. – 144 s.
22. Kirsta Y., Puzanov A., Rozhdestvenskaya T. Models for Describing Landscape Hydrochemical Discharge in Mountain Countries // Landscape Modelling and Decision Support. Innovations in Landscape Research. – Cham: Springer, 2020. – P. 163-178.
23. Tardy Y., Bustillo V., Boeglin J.-L. Geochemistry applied to the watershed survey: hydrograph separation, erosion and soil dynamics: A case study: the basin of the Niger River, Africa // Applied Geochemistry. – 2004. – 19. – 469-518.
24. Kirsta Yu.B. Prostranstvennoe obobshhenie klimaticheskix xarakteristik dlya gorny`x territorij // Mir nauki, kul`tury`, obrazovaniya. – 2011. – 3 (28). – 330-337.
25. Kirsta Yu. B., Puzanov A. V. System-analytical simulation of hydrochemical runoff of mountain rivers: Case study of dissolved iron // Water Resources. – 2019. – 46 (2). – 199-208.
26. Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., et al. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulation // Transactions of the ASABE. – 2007. – 50 (3). – P. 885-900.
27. Koch·M., Cherie N. SWAT-modeling of the impact of future climate change on the hydrology and the water resources in the upper blue Nile river basin, Ethiopia // Proceedings of the 6th Int. Conf. on Water Resources and Environment Research, ICWRER, June 3-7, 2013. – Koblenz, Germany, 2013. – P. 428-523.
28. Kirsta, Y.B., Lovtskaya, O.V. Spatial year-ahead forecast of air temperature and precipitation in large mountain areas // SN Appl. Sci. – 2020. – 2. – Article number: 1044.
29. Iooss B., Lemaître P. A review on global sensitivity analysis methods // Uncertainty management in Simulation-Optimization of Complex Systems: Algorithms and Applications. – Springer US, 2015. – 264 p.
30. Song X., Zhang J., Zhan C., et al. Global sensitivity analysis in hydrological modeling: Review of concepts, methods, theoretical framework, and applications // J. of Hydrology. – 2015. – 523. – P. 739-757.
31. Kirsta Yu.B. Chuvstvitel`nost` modelej rechnogo stoka k faktoram sredy` i ee kolichestvennaya ocenka // Izv. Samarskogo nauchnogo centra RAN. – 2015. – 17 (6). – 97-103.
32. Rakovskaya E.M., Davy`dova M.I. Fizicheskaya geografiya Rossii. Ch. 2. Aziatskaya chast`, Kavkaz i Ural. – M.: GICz «Vlados», 2001. – 304 s.

33.Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie SSSR: xarakteristika regional`ny`x edinicz. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta, 1968. – 576 s.

34.Kirsta Yu.B., Lubenecz L.F., Cherny`x D.V. Tipizaciya landshaftov dlya ocenki rechnogo stoka v Altae-Sayanskoj gornoj strane // Ustojchivoe razvitie gorny`x territorij. – 2011. – 2 (8). – 51-56.

35.Cherny`x D.V., Samojlova G.S. Landshafty` Altaya (Altajskij kraj i Respublika Altaj). Karta. – Novosibirsk: FGUP Novosibirskaya kartograficheskaya fabrika, 2011.

36.Cimbalej Yu.M. Landshaftnaya karta Altajskogo kraya. Karty` // Fondovy`e materialy` IVE`P SO RAN, 2011.

37.Izmenenie klimata i ego vozdejstvie na e`kosistemy`, naselenie i xozyajstvo rossijskoj chasti Altae-Sayanskogo e`koregiona: ocenochny`j doklad // Vsemirny`j fond dikoj prirody` (WWF Rossii). – M., 2011. – 168 s.

38.Kirsta Yu.B. System-analytical modelling – Part II: Wheat biotime run and yield formation. Agroclimatic potential, Le Chatelier principle, changes in agroclimatic potential and climate in Russia and the U.S. // Ecol. Modelling. – 2006. – 191. – 331-345.

39.Kirsta Yu.B. Prognoz klimata i agroklimaticheskogo potenciala Sibirskogo federal`nogo okruga do 2020 g. // Problemy` regional`noj e`kologii. – 2011. – 3. – 22-30.

40.Tanasienko A.A., Putilin A.F., Artamonova V.S. E`kologicheskie aspekty` e`rozionny`x processov: Analit. obzor / GPNTB SO RAN, In-t pochvovedeniya i agroximii SO RAN. Ser. E`kologiya. Vy`p. 55. – Novosibirsk, 1999. – 89 s.

41.Nikolaev A.N., Skachkov Yu.B. Vliyanie snezhnogo pokrova i temperaturnogo rezhima merzlotny`x pochv na radial`ny`j prirost derev`ev Central`noj Yakutii // Zhurn. SFU. Biologiya. – J. of Siberian Federal University. Biology. – 2012. – 5 (1). – R. 43-51.

42.Selegej V.V., Selegej T.S. Teleczkoe ozero. – L.: Gidrometeoizdat, 1978. – 143 s.

43.Mirkin B.M., Rozenberg G.S. Fitocenologiya. Principy` i metody`. – M., 1978. – 212 s.

UNIVERSAL SIMULATION MODEL OF LONG-TERM FLOOD FORECAST FOR MOUNTAIN RIVERS

Y.B. Kirsta, O.V. Lovtskaya

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

The universal simulation model for forecasting streamflow during high water has been developed by the example of 34 medium and small rivers of the Altai-Sayan mountain country. The input factors of the model are monthly precipitation and average monthly air temperatures. Meteorological parameters are calculated as a percentage of their long-term average values with further averaging for the whole study area. We predict streamflow for 3 months ahead with three times less variance than that for forecasting the average long-term value. The forecast quality is characterized by the Nash-Sutcliffe index NSE >0,68 that is very high for long-term flood predictions.

Key words: system-analytical modeling, snowmelt flood, forecast, mountain rivers, Altai, Sayan.

Received March 3, 2020

УДК 556.555.2

Раздел 4 ЭКОЛОГИЯ. ФЛОРА. ФАУНА

Section 4 ECOLOGY. FLORA. FAUNA

УДК 535.8+556.5+574.5

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ СВЕТА НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР РАЗНОГО ТРОФИЧЕСКОГО СТАТУСА

О.Б. Акулова, В.И. Букатый
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул
E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukaty@mail.ru

Представлены экспериментальные данные по исследованию влияния сроков хранения проб на изменчивость спектрального показателя ослабления света и спектрального показателя поглощения света желтым веществом на примере озер разного трофического статуса. Работа выполнена в 2018-2019 гг. на пресноводных озерах: Лапа, Красиловское (Алтайский край) и Телецкое (Республика Алтай). На основании результатов экспериментов по исследованию динамики спектрального показателя ослабления света и спектрального показателя поглощения света желтым веществом через различные промежутки времени после взятия проб в озерах и анализа погрешностей измерения можно сделать вывод, что полученные кривые остаются практически неизменными в пределах доверительных интервалов рассчитанных ошибок.

Ключевые слова: спектральный показатель ослабления света, спектральный показатель поглощения света желтым веществом, относительная прозрачность по диску Секки, трофический статус, хлорофилл, фосфор.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15605
Дата поступления 18.02.2020

Известно, что оптические свойства различных природных водоемов можно изучать в лаборатории, с помощью погружаемых приборов, а также дистанционными методами. Главным преимуществом погружаемых и дистанционных измерительных приборов является то, что они позволяют вести непрерывные измерения, в то время как отбор проб может производиться лишь с определенных глубин в отдельные моменты времени. Конечно, это обстоятельство существенно ограничивает применимость лабораторных методов для исследования изменчивости гидрооптических характеристик в пространстве и во времени, но используемые при этом приборы обладают, как правило, более высокой точностью измерений, чем погружаемые. Также определенным достоинством лабораторных измерений является возможность сравнительного исследования характеристик фильтрованных и нефильтрованных образцов, что позволяет экспериментально оценить влияние различных активных компонентов (чистой воды, взвеси, желтого вещества и хлорофилла) на оптические свойства природной воды. В настоящее время лабораторные измерения исполь-

зуются в основном для исследования спектральных и угловых зависимостей гидрооптических характеристик. Дистанционные методы, которые можно проводить с борта судна и летательных аппаратов, дают возможность в короткий срок получить информацию о распределении оптических характеристик на больших по размерам акваториях, но они имеют также и существенные ограничения. Эти методы дают информацию лишь о поверхностном слое, толщина которого в различных водоемах не превышает нескольких десятков метров. Поэтому их не следует рассматривать как замену традиционных методов [1-4]. Таким образом, исследования оптических свойств различных природных водоемов должны основываться на комплексном использовании дистанционных и контактных методов.

Цель данного эксперимента обусловлена тем, что в настоящее время отсутствуют ГОСТы на методы определения первичных гидрооптических характеристик, среди которых спектральные показатели поглощения, рассеяния и ослабления света в природной воде, коэффициент пропускания слоя водной среды, относительная прозрачность и др. Следует отметить, что проведение измерений спустя определенного времени после взятия проб воды вызвано необходимостью отработки методики исследования на предмет адекватности результатов последовательных экспериментов.

Материалы и методы исследования

Для обоснования достоверности результатов измерений спектральной прозрачности воды в лабораторных условиях нередко возникает вопрос о необходимости их проведения спустя нескольких часов и даже суток после отбора проб в разнотипных водоемах. В качестве объектов исследования выбраны пресноводные озера: Лапа, Красиловское и Телецкое. Водоемы отличаются по происхождению и положению в ландшафте, по морфологии, проточности и степени трофности, т.е. являются разнотипными.

Озеро-старица Лапа по происхождению и положению в ландшафте относится к пойменным озерам и принадлежит к придаточной системе правобережной поймы реки Оби. Оно расположено (53°37′08″ N, 83°83′21″ E) в окрестностях г. Барнаула, является непроточным и может сообщаться с рекой только в период весеннего половодья.

Озеро Красиловское расположено (53°18′77″ N, 84 3544″ E) на юге Западно-Сибирской равнины, в зоне сочленения так называемых боровых террас с четвертой террасой правобережья Верхней Оби на абсолютной высоте 220 м. Оно находится в 60 км от краевого центра (Косихинский район Алтайского края). Питание водоема происходит за счет поверхностных и грунтовых вод. Озеро является бессточным.

Телецкое озеро (координаты: между 51°21′46″ и 51°48′36″ N, между 87°14′40″ и 87°50′54″ E) расположено в северо-восточной части Горного Алтая. Это самое глубокое озеро в Западной Сибири, оно занимает 39 место среди глубочайших озер мира. Телецкое озеро – пресноводный, слабоминерализованный, богатый кислородом, холодноводный, проточный горный водоем со снеговым, дождевым и подземным питанием.

Исследования гидрооптических характеристик (показателя ослабления света водой $\varepsilon(\lambda)$, показателя поглощения света желтым веществом $\kappa_{жв}(\lambda)$ и относительной прозрачности Z, измеренной с помощью диска Секки) по акватории Телецкого озера выполнили летом (с 1 по 5 июля 2019 г.) в период экспедиции, организованной Институтом водных и экологических проблем СО РАН. Отбор проб воды с поверхностного слоя озера брали батометром с борта научно-исследовательского судна. В лаборатории провели 504 отдельных измерений спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды в области спек-

тра 400-800 нм на спектрофотометре ПЭ-5400УФ; использовали стеклянные кюветы с рабочей длиной 50 мм.

Отбор проб воды с поверхностного слоя (глубина 10-15 см, т.е. расстояние от границы раздела вода – атмосфера) озер Лапа и Красиловское осуществили 3 и 7 мая 2018 г., соответственно. Здесь применили кварцевые кюветы с рабочей длиной 10 мм. Спектральные измерения провели в лаборатории с помощью спектрофотометра типа ПЭ-5400УФ. Основные технические характеристики этого прибора: спектральный диапазон – 190-1000 нм, погрешность установки длины волны не более 1 нм, предел допускаемой абсолютной погрешности при измерении спектральных коэффициентов пропускания при T (315-1000 нм) – 0,5 %. Для всех проб выполнили по два измерения (до и после их фильтрации через мембраны «Владипор» с диаметром пор 0,22 мкм) в диапазоне 400-800 нм с шагом 30 нм. Для определения спектральной прозрачности (коэффициента пропускания) воды применили спектрофотометрический метод, в основу которого, как известно, положен принцип измерения отношения двух интенсивностей световых потоков, проходящих через объемы с исследуемой и эталонной средами. В качестве последней использовали дистиллированную воду высокой очистки – контрольный образец, по отношению к которому производили измерения. Расчеты $\varepsilon(\lambda)$ (при натуральном основании логарифма) провели по формуле:

$$\varepsilon(\lambda) = (1/L) \cdot \ln(1/T(\lambda)), \qquad (1)$$

вытекающей из закона Бугера, где L − длина кюветы, $\mathrm{T}(\lambda) = I(\lambda)/I_0(\lambda)$− прозрачность в относительных единицах, $I(\lambda)$, $I_0(\lambda)$ − интенсивности прошедшего и падающего света, соответственно, λ – длина волны света.

Показатель поглощения света желтым веществом $\kappa_{жв}(\lambda)$ определили после измерения спектральной прозрачности исследуемой озерной воды, очищенной от взвеси фильтрованием с использованием мембран «Владипор». Фильтрационная установка представляет собой воронку, наполняемую исследуемой природной водой, на дне которой расположено «гнездо» для мембранного фильтра. Воронка соединяется с колбой Бунзена, в которой обеспечивается вакуум порядка 10^{-1}-10^{-2} мм. рт. ст. с помощью форвакуумного насоса. Максимальная абсолютная погрешность измерений показателя ослабления света и показателя поглощения света желтым веществом для озер Лапа и Красиловское составила 0,5 м$^{-1}$, для оз. Телецкое – 0,1 м$^{-1}$.

Относительный спектральный вклад оптически активных компонентов озерной воды (взвеси, желтого вещества, хлорофилла «а» и чистой воды) в $\varepsilon(\lambda)$ в поверхностном слое исследуемых водоемов рассчитали с использованием модифицированной спектральной модели показателя ослабления света [5], которая впервые предложена О.В. Копелевичем в работе [4] и имеет вид:

$$\varepsilon(\lambda) = \kappa_{\text{хл}}(\lambda) + \kappa_{\text{жв}}(\lambda) + \sigma_{\text{мол}}(\lambda) + \sigma_{\text{вз}}(\lambda) + \kappa_{\text{чв}}, \qquad (2)$$

где $\kappa_{хл}(\lambda)$ и $\kappa_{жв}(\lambda)$ – спектральные показатели поглощения хлорофиллом «а» и желтым веществом, соответственно, $\sigma_{мол}(\lambda)$ – спектральный показатель молекулярного рассеяния чистой водой, $\sigma_{вз}(\lambda)$ – спектральный показатель рассеяния взвесью, $\kappa_{чв}(\lambda)$ – спектральный показатель поглощения чистой водой. При анализе выражения (2) необходимо иметь в виду, что при экспериментальном определении $\varepsilon(\lambda)$ можно получить неверный результат в зависимости от функциональных особенностей прибора. В нашем приборе (спектрофотометр ПЭ-5400УФ) при измерениях $T(\lambda)$ используется однолучевая фотометрическая схема, когда сравнивается световой поток, прошедший через эталонный образец (чистая вода) и световой поток, прошедший через исследуемую среду. Поэтому вычисляемый показатель ослабления по формуле (1) не содержит данные о показателе ослабления чистой водой $\varepsilon_{чв}(\lambda)=\kappa_{чв}(\lambda)+\sigma_{мол}(\lambda)$. Таким обра-

зом, в формуле (2) значения $\varepsilon(\lambda)$, полученные из измерений на спектрофотометре, должны суммироваться со значениями $\varepsilon_{чв}(\lambda)$, взятых из справочных данных [6-7], что и выполнено в исследованиях.

Показатель поглощения хлорофиллом «а» рассчитали по формуле, взятой из работы [4]:

$$\kappa_{\text{хл}}(\lambda) = \kappa_{\text{уд.хл}}(\lambda) \cdot C_{\text{хл}}. \quad (3)$$

Здесь $C_{хл}$ – концентрация хлорофилла «а», в мг/м^3, $\kappa_{уд.хл}(\lambda)$ – удельный показатель поглощения хлорофиллом «а», в м^2/мг, его значения приведены в работе [2]. Для расчетов $\kappa_{чв}(\lambda)$ использовали табличные данные из работы [6], для $\sigma_{мол}(\lambda)$ – [7].

Как видно из выражения (2) спектральное ослабление света описано с помощью трехпараметрической модели. В отличие от ранее выполненных работ, где параметр $\sigma_{вз}(\lambda)$ определяется экспериментально, а $\kappa_{жв}(\lambda)$ находится как разность между измеренным $\varepsilon(\lambda)$ и суммой остальных параметров, нами рекомендован другой подход. Так как в эксперименте определяли параметр $\kappa_{жв}(\lambda)$, то спектральный показатель рассеяния взвесью $\sigma_{вз}(\lambda)$ можно найти из выражения (2) по формуле:

$$\sigma_{\text{вз}}(\lambda) = \varepsilon(\lambda) - [\kappa_{\text{хл}}(\lambda) + \kappa_{\text{жв}}(\lambda) + \sigma_{\text{мол}}(\lambda) + \kappa_{\text{чв}}(\lambda)]. \quad (4)$$

Оценка ошибок определения спектрального показателя ослабления света

В соответствии с формулой (1) погрешность определения величины $\varepsilon(\lambda)$ обусловлена систематической относительной погрешностью измерения коэффициента пропускания $(\Delta T/T)\cdot 100$ % с помощью спектрофотометра (по паспорту прибора), систематической погрешностью определения длины кюветы $(\Delta L/L)\cdot 100$ % и случайной погрешностью измерений коэффициента пропускания.

Коэффициент пропускания равен $T=\overline{T}\pm\Delta T$, где $\overline{T}$ – среднее значение спектрального коэффициента пропускания (спектральной прозрачности), ΔT – суммарная абсолютная ошибка (погрешность) определения коэффициента пропускания. Вначале находится среднее значение $\overline{T}$ в случае многократных измерений (в эксперименте n=4), затем вычисляется стандартное отклонение $S_{\overline{T}}$ для среднего значения $\overline{T}$. Для заданной значимости (по-другому, надежности) α=0,95 и числа измерений n определяется коэффициент Стьюдента $t_{\alpha n}$=3,18, с помощью которого находится полуширина доверительного интервала для случайной погрешности измерения

$$\Delta T_{\text{сл}} = t_{\alpha n} \cdot S_{\overline{T}}. \quad (5)$$

Затем вычисляется полуширина систематической погрешности $\Delta T_{сист}$ по формуле:

$$\Delta T_{\text{сист}} = (0{,}5\% \cdot T)/100\ \%, \quad (6)$$

где величина 0,5 % взята из паспорта прибора.

Вычисляется абсолютное значение результирующей погрешности величины ΔT как

$$\sqrt{(\Delta T_{\text{сл}})^2 + (\Delta T_{\text{сист}})^2}. \quad (7)$$

Тогда погрешность определения $\varepsilon(\lambda)$ без учета погрешности определения длины кюветы будет иметь вид

$$|\Delta\varepsilon| = 1/L \cdot 1/T \cdot \Delta T. \quad (8)$$

Подставляя в эту формулу $\Delta T_{сл}^2=(t_{\alpha n}\cdot S_{\overline{T}})^2=(3{,}2\cdot 0{,}1\ \%)^2$, $\Delta T_{сл}^2=(0{,}5\ \%\cdot T/100\ \%)^2$, при L=10 мм, при T=80-90 % имеем полуширину доверительного интервала, равную $\Delta\varepsilon\approx$0,7-0,8 м$^{-1}$. Таким образом, полный доверительный интервал рассчитанных погрешностей составляет 1,4-1,6 м$^{-1}$.

Для погрешности определения длины кюветы паспортные данные отсутствуют, но можно предположить, что абсолютная ошибка для используемых кювет составляет около 0,01 мм, что также может вносить дополнительную погрешность.

Дополнительно определили стандартным спектрофотометрическим методом согласно ГОСТ 17.1.4.02-90 концентрацию хлорофилла «а» $C_{хл}$ в ацетоновых экстрактах водорослей фитопланктона, концентрацию общего азота

$N_{общ}$ – ГОСТ 33045-2014, общего углерода $C_{общ}$ – ГОСТ 31958-2012 и концентрацию общего фосфора $P_{общ}$ в соответствии с РД 52.24.387-2006.

Трофический статус в период исследования оценили с применением трофического индекса *TSI* (Trophic State Index) Карлсона [8] и с использованием значений спектрального показателя ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ [9]. В основу расчетов *TSI* положены тесные корреляции между параметрами водной среды: прозрачностью (*Z*), концентрацией хлорофилла ($C_{хл}$) и содержанием общего фосфора ($P_{общ}$). В результате расчетов получено, что трофический статус оз. Лапа можно охарактеризовать, в основном, как эвтрофный, оз. Красиловского – эвтрофно-гиперэвтрофный, оз. Телецкое – олиготрофный с элементами мезотрофии.

Результаты и обсуждение

В исследуемый период значения спектрального показателя ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ (рассчитан при натуральном основании логарифма) в диапазоне 400-800 нм в пробах воды, отобранных на различных глубинах озера Лапа варьировали в широких пределах 3,8-20,7 $м^{-1}$, озера Красиловское – 4,3-50,8 $м^{-1}$. Среднее значение относительной прозрачности, измеренной с помощью диска Секки за исследуемый период составило для озер Лапа и Красиловское − 49 и 98 см, соответственно.

Значения концентраций хлорофилла «а» на разных глубинах озер за период наблюдений изменялись для оз. Лапа в пределах от 2,0 до 14,0 мг/$м^3$, а для оз. Красиловское − от 27,0 до 34,6 мг/$м^3$. Среднее значение концентрации общего фосфора в поверхностном слое озера Лапа за исследуемый период составило 60,0 мг/$м^3$, общего азота – 1270,0 мг/$м^3$, общего углерода – 7500,0 мг/$м^3$, для аналогичных гидрохимических показателей озера Красиловское – 100,0 мг/$м^3$, 930,0 мг/$м^3$, 1000,0 мг/$м^3$, соответственно.

В результате расчетов относительного спектрального вклада основных оптически активных компонентов воды (чистой воды, взвеси, желтого вещества и хлорофилла) установлено, что максимальный вклад в $\varepsilon(\lambda)$ на озерах Лапа и Красиловское вносит желтое вещество (ЖВ) и взвесь (табл. 1).

На рисунках 1-2 представлены результаты экспериментальных данных по динамике показателя ослабления света от длины волны λ для оз. Лапа. В данном случае пробы отобрали 3 мая 2018 г., затем измерили их в указанное на рисунках время ежедневно. При отработке данной методики измерений пробы хранились в холодильнике при температуре 4-6°С. На рисунке 3 приведены результаты экспериментальных данных по изменению показателя поглощения света желтым веществом от длины волны λ для озера Красиловское по описанной выше методике.

Таблица 1

Относительный спектральный вклад компонентов озерной воды в показатель ослабления света на исследуемых озерах весной 2018 г., %

Длина волны λ, нм	Показатели поглощения			Показатели рассеяния	Показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$, $м^{-1}$
	$\frac{\kappa_{чв}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\kappa_{жв}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\kappa_{хл}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	$\frac{\sigma_{вз}(\lambda)+\sigma_{мол}(\lambda)}{\varepsilon(\lambda)}$	
Озеро Лапа (при $C_{хл}$= 14,0 мг/$м^3$)					
430	0,1	83,1	6,7	10,1	16,6
550	0,5	78,5	0,8	20,2	10,7
670	5,0	73,2	6,5	15,3	8,6
Озеро Красиловское (при $C_{хл}$= 34,6 мг/$м^3$)					
430	0,1	70,4	13,4	16,1	20,6
550	0,7	60,0	2,8	36,5	8,0
670	7,0	50,0	22,3	20,7	6,2

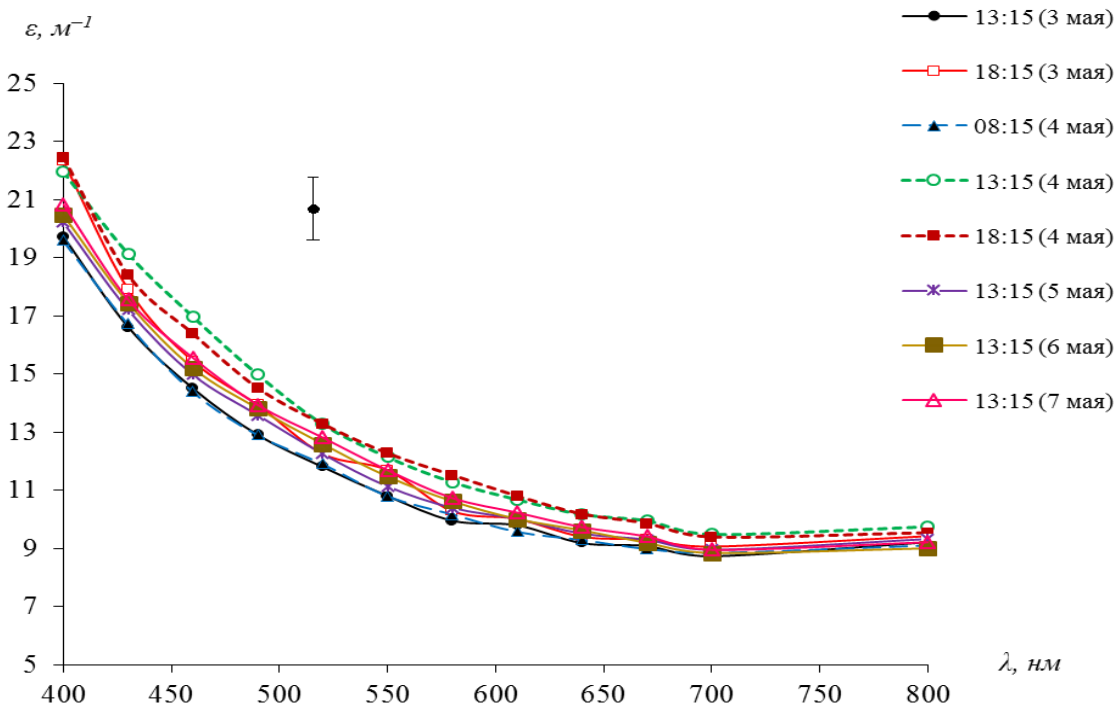


Рис. 1. Изменения показателя ослабления света от длины волны в пробах воды из поверхностного слоя оз. Лапа, 3 мая 2018 г.

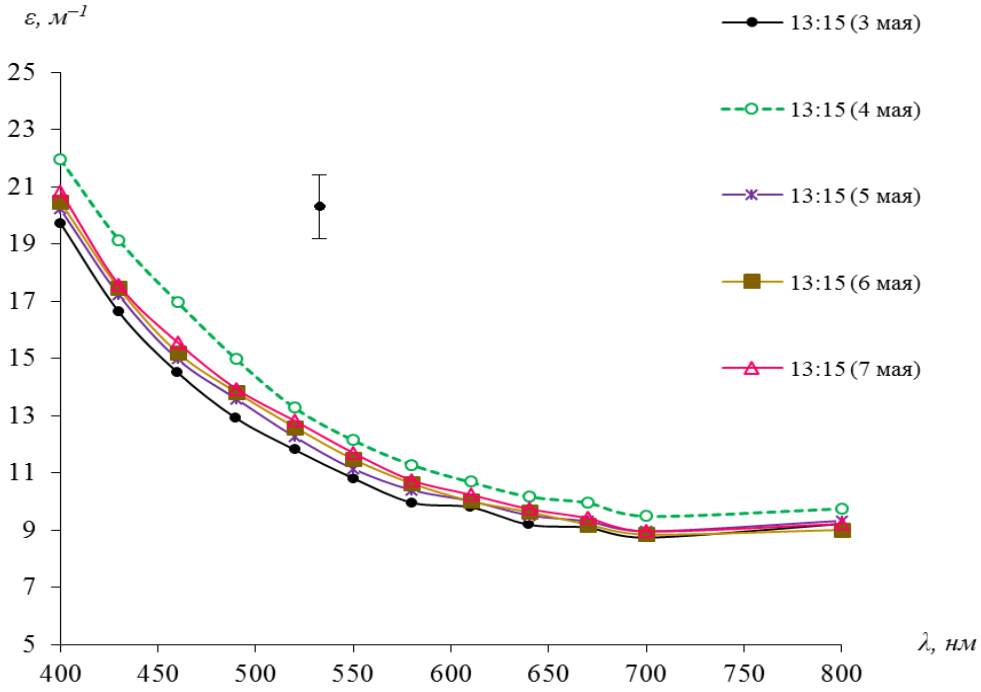


Рис. 2. Изменения спектрального показателя ослабления света в пробах воды из поверхностного слоя оз. Лапа за одинаковый промежуток времени, 3-7 мая 2018 г.

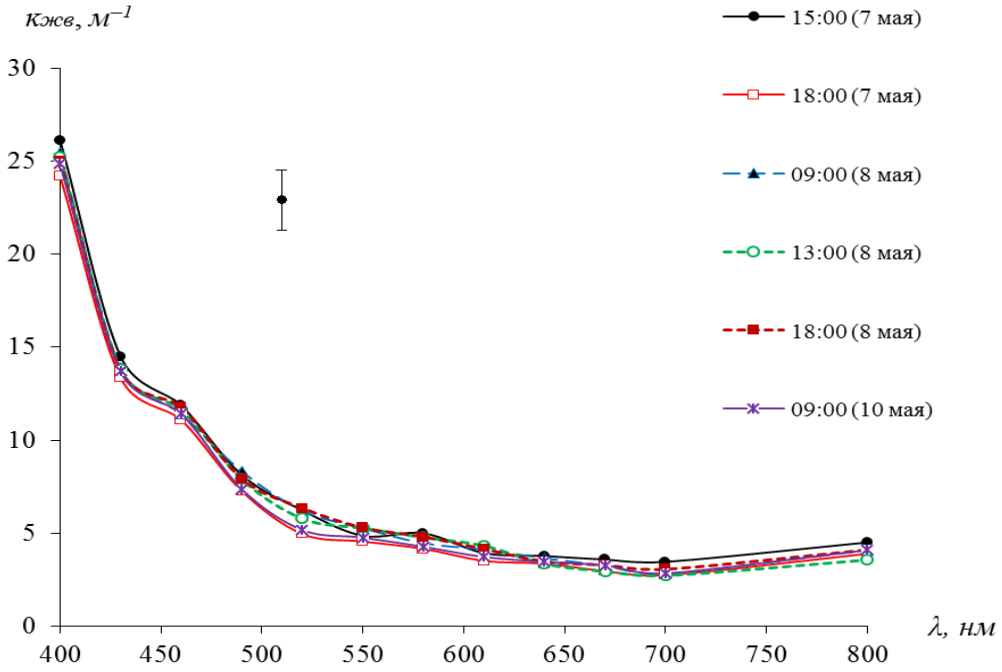


Рис. 3. Изменения показателя поглощения света желтым веществом от длины волны в пробах воды из поверхностного слоя оз. Красиловское, 7 мая 2018 г.

На Телецком озере в различных точках отбора проб значения $\varepsilon(\lambda)$ в области спектра 400-800 нм за исследуемый период находились в диапазоне 0,2-4,5 м$^{-1}$, $\kappa_{жв}(\lambda)$ – 0,1-3,9 м$^{-1}$ (рассчитаны при натуральном основании логарифма). Например, на длине волны 430 нм значения $\varepsilon(\lambda)$ варьировали в пределах 1,2-4,0 м$^{-1}$, на λ=550 нм – 0,4-2,6 м$^{-1}$. Величины относительной прозрачности, измеренной с помощью диска Секки за исследуемый период, находились в диапазоне 0,8-11,0 м со средним значением 5,4 м. Концентрация хлорофилла «а» $C_{хл}$ за время наблюдений варьировала в пределах от 0,1 до 1,8 мг/м^3, средняя величина составила 0,6 мг/м^3.

В результате расчетов спектрального вклада оптически активных компонентов озерной воды в спектральный показатель ослабления света $\varepsilon(\lambda)$ для поверхностного слоя озера Телецкое в различных точках отбора проб получено, что наибольшее оптическое влияние на суммарное ослабление оказывают также желтое вещество и взвесь. Наибольший вклад ЖВ при λ=430 нм приходится на пелагиаль озера, напротив рек Чулюш, Кыга и Кокши, где он составляет 87,1, 85,7 и 85,1 %, соответственно. При длине волны 550 нм вклад желтого вещества варьирует в пределах от 50,0 % (пелагиаль напротив р. Б. Корбу и в районе Каменного залива, соответственно) до 95,4 % (пелагиаль напротив р. Чулюш). Взвесь дает максимальный вклад в показатель ослабления света при λ=430 нм в точке 025 (пелагиаль напротив р. Адамыш) и составляет 31,5 %. Вклад взвеси возрастает до 41,9 % (точка 113 – пелагиаль напротив Каменного залива) при λ=550 нм. Чистая вода вносит несущественный вклад в ослабление света при λ=430 нм на всех точках и составляет не более 0,4 %, но резко увеличивается в зеленой области спектра – до 14,1 % при λ=550 нм. Вклад хлорофилла при λ=430 нм находился в диапазоне от 0,6 до 8,5 %, при λ=550 нм – 0,1-1,8 %. Молекулярное рассеяние света чистой водой в исследуемом спектральном интервале не вносит ощутимый вклад и составляет около 0,1 %.

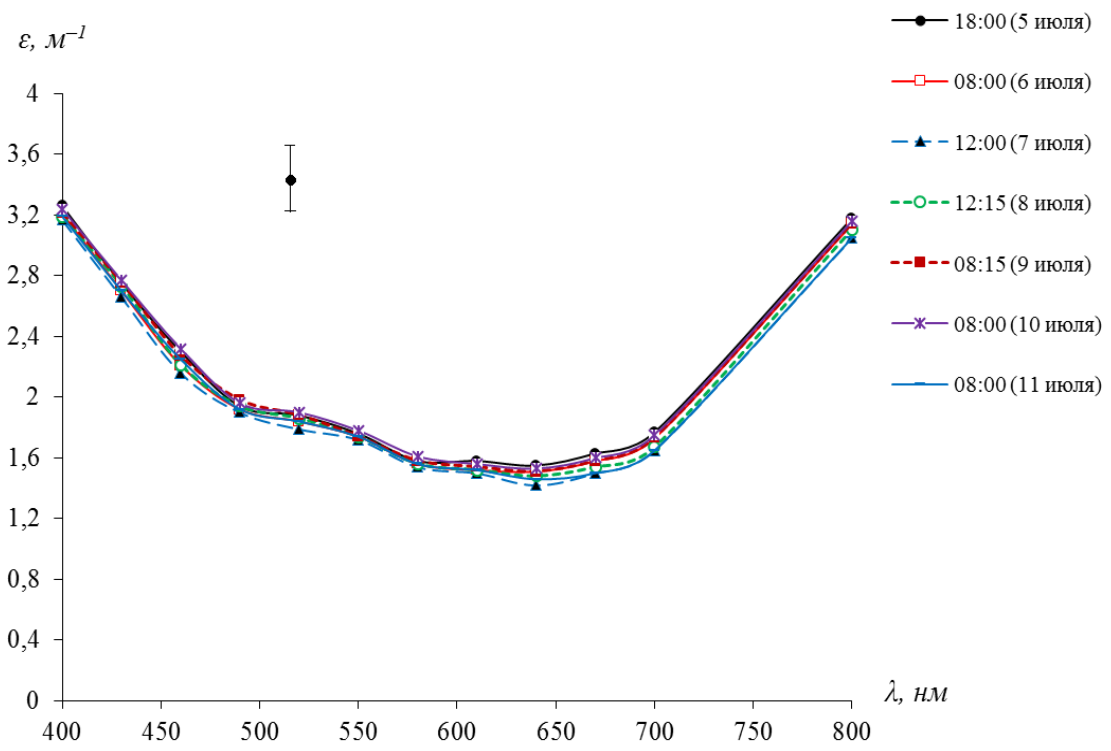


Рис. 4. Изменения показателя ослабления света от длины волны в пробах воды из поверхностного слоя оз. Телецкое в точке 021 – пелагиаль озера, напротив устья реки Кокши, лето 2019 г.

На рисунке 4 представлены спектральные кривые показателя ослабления света для поверхностного слоя Телецкого озера в точке 021 – пелагиаль озера, напротив устья реки Кокши (координаты: 51°56′67″ N, 87°66′76″E). В этом случае пробы отобрали 3 июля 2019 г., а измерения $\varepsilon(\lambda)$ провели последовательно с 5 по 11 июля в указанное на рисунке время. Пробы в промежутке между измерениями также находились в холодильнике.

Выводы

На основании результатов эксперимента по исследованию динамики спектрального показателя ослабления света через различные промежутки времени после взятия проб в озерах и анализа погрешностей измерения можно сделать вывод, что полученные кривые соответствуют доверительным интервалам рассчитанных ошибок, т.е. практически они совпадают.

Также можно отметить, что применение кювет спектрофотометра ПЭ-5400УФ с длиной хода менее 50 мм нельзя использовать для изучения оптических свойств природных вод с их высокой прозрачностью (например, оз. Телецкое).

Данные результаты подтверждают возможность использования гидрооптических характеристик при исследовании разнотипных озер для наблюдения за распространением уровня загрязнения воды, качественной оценки содержания взвешенных и растворенных веществ и, следовательно, для контроля экологического состояния природных вод.

Результаты работы могут быть использованы при междисциплинарных гидрологических исследованиях прежде всего интерпретации данных по гидрооптике, гидробиологии и гидрохимии, прогнозе распространения антропогенных загрязнений в водоемах разного типа.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН (№ гос. регистрации проекта АААА-А17-117041210241-4).

Выражаем благодарность заведующему лабораторией гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН А.Т. Зиновьеву за организацию экспедиции на озеро Телецкое в 2019 г., ведущему инженеру А.А. Коломейцеву за помощь в отборе проб озерной воды в 2018 г. при весенних полевых выездах, сотрудникам ХАЦ ИВЭП СО РАН под руководством д-ра хим. наук Т.С. Папиной за предоставленные данные измерений концентрации общего углерода, азота и фосфора для всех исследуемых озер.

Список литературы

1. Показеев К.В., Чаплина Т.О., Чашечкин Ю.Д. Оптика океана: учеб. – М., МАКС Пресс, 2010. – 216 с.

2. Апонасенко А.Д. Количественные закономерности функциональной организации водных экосистем в связи с их дисперсной структурой: дис… докт. физ.-мат. наук. – Красноярск, 2001. – 316 с.

3. Шифрин К.С. Введение в оптику океана. – Л., 1983. – 278 с.

4. Оптика океана // Физическая оптика океана. – М., 1983. – Т. 1. – 371 с.

5. Акулова О.Б. Разработка методов и измерительно-вычислительного комплекса для оценки экологически значимых гидрооптических характеристик пресноводных водоемов (на примере озер Алтайского края): дис… канд. тех. наук. – Барнаул, 2015. – 176 с.

6. Pope R.M., Fry E.S. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements // Applied Optics. 1997. – V. 36. – № 33. – P. 8710-8723.

7. Smith R.C., Baker K.S. Optical properties of the clearest natural waters (200-800 nm) // Applied Optics. 1981. – V. 20. – № 2. – P. 177-184.

8. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. − V. 22. − № 2. – P. 361-369.

9. Климатические условия и гидрооптические характеристики пресноводных озер Алтайского края / И.А. Суторихин, В.И. Букатый, Н.Ф. Харламова, О.Б. Акулова. – Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2016. – 162 с.

References

1. Pokazeev K.V., Chaplina T.O., Chashechkin Yu.D. Optika okeana: ucheb. – M., MAKS Press, 2010. – 216 s.

2. Aponasenko A.D. Kolichestvennye zakonomernosti funkcional'noj organiza-cii vodnyh ekosistem v svyazi s ih dispersnoj strukturoj: dis… dokt. fiz.-mat. nauk. – Krasnoyarsk, 2001. – 316 s.

3. Shifrin K.S. Vvedenie v optiku okeana. – L., 1983. – 278 s.

4. Optika okeana // Fizicheskaya optika okeana. – M., 1983. – T. 1. – 371 c.

5. Akulova O.B. Razrabotka metodov i izmeritel'no-vychislitel'nogo kompleksa dlya ocenki ekologicheski znachimyh gidrooptricheskih harakteristik presnovodnyh vodoemov (na primere ozer Altajskogo kraya): dis… kand. tekh. nauk. – Barnaul, 2015. – 176 s.

6. Pope R.M., Fry E.S. Absorption spectrum (380-700 nm) of pure water. II. Integrating cavity measurements // Applied Optics. 1997. – V. 36. – № 33. – P. 8710-8723.

7. Smith R.C., Baker K.S. Optical properties of the clearest natural waters (200-800 nm) // Applied Optics. 1981. – V. 20. – № 2. – P. 177-184.

8. Carlson R.E. A trophic state index for lakes // Limnology and Oceanography. 1977. − V. 22. − № 2. – P. 361-369.

9. Klimaticheskie usloviya i gidrooptricheskie harakteristiki presnovodnyh ozer Altajskogo kraya / I.A. Sutorihin, V.I. Bukatyj, N.F. Harlamova, O.B. Akulova. – Novosibirsk, Izd-vo SO RAN, 2016. – 162 s.

STUDY OF SPECTRAL LIGHT ATTENUATION BY THE EXAMPLE OF LAKES WITH DIFFERENT TROPHIC STATUS

O.B. Akulova, V.I. Bukatiy
Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul
E-mail: akulova8282@mail.ru, v.bukaty@mail.ru

The paper presents experimental data on temporal dynamics of spectral light attenuation and spectral light absorption by yellow matter on the example of lakes with different trophic status. The research is based on the analysis of findings of hydro-optical studies (2018-2019) of three freshwater lakes, i.e. Lapa, Krasilovskoye (Altai Krai) and Teletskoye (the Altai Mountains). Experiments on studying dynamics of spectral light attenuation and spectral light absorption by yellow matter at different intervals after water sampling from lakes and measurement error analysis suggest that the obtained curves remain practically unchanged within the confidence intervals for calculated errors.

Keywords: spectral light attenuation, spectral light absorption by yellow matter, relative transparency by Secchi disk, trophic status, chlorophyll, phosphorus.

Received February 18, 2020

УДК 574.587(571.61)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МАКРОЗООБЕНТОСЕ РЕКИ БОЛЬШАЯ ПЁРА

О.Н. Вдовина, Д.М. Безматерных
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул
E-mail: olgazhukova1984@yandex.ru, bezmater@iwep.ru

В сентябре 2013, июне 2014, мае и июне 2017 гг. исследованы состав и структура сообществ донных макробеспозвоночных р. Большая Пёра (приток р. Зея, бассейн р. Амур). Донная фауна включает 48 видов из пяти классов животных. Доминирующей таксономической группой на изученных участках реки были хирономиды. На основе исследования состава и структуры макрозообентоса методами биоиндикации (индекс Шеннона, TBI, EBI, BMWP, IBGN) оценено экологическое состояние реки. Выявленные особенности сезонной динамики макрозообентоса обусловлены муссонным характером функционирования экосистемы р. Б. Пёра.

Ключевые слова: зообентос, биоиндикация, река Большая Пёра.
DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15606
Дата поступления 18.01.2020

Большая Пёра – река в Шимановском и Свободненском районах Амурской области, берет свое начало на Амуро-Зейском плато, является правым притоком р. Зеи [1]. Значительная часть бассейна реки расположена в пределах позиционного района космодрома «Восточный». Степень изученности донных беспозвоночных водотоков территории крайне незначительна. Наиболее хорошо исследованы организмы зообентоса Зейского водохранилища и бассейна верхнего течения р. Зеи [2-6]. Из-за прошедшего мощного дождевого паводка в 2013 г. целесообразно было провести дополнительные исследования в меженный период и сопоставить с исследованиями, проведенными в послепаводковый период [7].

Материал и методы исследований

Зообентос на реке Б. Пёра был обследован в сентябре 2013 г. и июне 2014 г. (на двух участках в районе ЗАТО Циолковский и выше впадения руч. Золотой), в мае и июне 2017 г. (район с. Усть-Пёра, выше и ниже строящегося моста), было отобрано 16 количественных и 6 качественных проб зообентоса (табл. 1). Материал для исследований собирали и обрабатывали по стандартным гидробиологическим методикам [8]. Количественные пробы отбирали дночерпателем ГР-91 с площадью захвата 0,007 м^2 (по две повторности). Пробы промывали через «капроновый газ» (размер ячеи 350 х 350 мкм) и фиксировали 70 % этиловым спиртом. После установления постоянного веса животных разбирали по систематическим группам, затем просчитывали и взвешивали на торсионных весах ВТ-500. Определение материала проводили по «Определителю пресноводных беспозвоночных России» [9] и «Определителю насекомых Дальнего Востока России» [10]. Для оценки экологического состояния были рассчитаны следующие биотические индексы: Trent Biotic Index, Extended Biotic Index, Biological Monitoring Working Party Index, Indece Biologique Global Normalize, а также индекс видового разнообразия по Шеннону [11].

Результаты исследований и их обсуждение

Первые данные о зообентосе водотоков бассейна р. Б. Пёра были получены в

сентябре 2013 г. в период летне-осеннего дождевого паводка [7, 12-13]. В 2013 г. на исследованном участке реки выявлено 10 видов гидробионтов из 5 таксономических групп (по 3 вида поденок и ручейников, 2 – хирономид, по 1 виду брюхоногих моллюсков и комаров-болотниц) (табл. 2). Видовой состав зообентоса было бедным (от 1 до 3 видов в пробе). Значения численности (0,07-0,71 тыс. экз./м^2) и биомассы (0,07-1,7 г/м^2) были также небольшие, по численности и биомассе доминировали хирономиды и поденки. Уровень развития зообентоса «предельно низкий» или «очень низкий», что соответствует олиготрофному типу водоема по шкале С.П. Китаева [14]. Воды согласно биотическим индексам относились к «плохому» классу качества (табл. 3). Низкий уровень развития, бедность видового разнообразия сообщества свидетельствовали о неблагоприятных условиях для развития зообентоса в р. Б. Пёра.

В июне 2014 г. в период межени изучение зообентоса водотоков бассейна р. Б. Пёра было продолжено [15-21]. На исследованном участке реки выявлено более высокое видовое разнообразие донных беспозвоночных, отмечено 19 видов зообентонтов из 9 таксономических групп (7 видов хирономид, по 3 вида поденок и ручейников, и по 1 виду комаров-болотниц, губок, стрекоз, мошек, брюхоногих и двустворчатых моллюсков). Значения численности (0,07-4,58 тыс. экз./м^2) и биомассы (0,57-5,51 г/м^2), как правило, были невысоки (табл. 3). Уровень развития зообентоса «очень низкий», что соответствует олиготрофному типу водоема. Вода согласно биотическому индексу TBI на различных участках реки относилась к II-III классам качества (чистые – умерено загрязненные воды). По опубликованным гидрохимическим данным известно, что для изученного участка реки характерно повышенное содержание нитратов и аммония (классы качества воды – «загрязненная» и «грязная»), по $БПК_5$ (до 2,4 мг О/дм^3) – «умеренно загрязненная» [22]. Таким образом, показатель TBI показывает завышенное качество воды. Значения остальных индексов в большей степени соответствуют гидрохимическим проказателям.

Таблица 1

Условия отбора проб макрозообентоса

Период исследований	Количество проб	Глубина, м	Температура воды, °С	Прозрачность, м	Скорость течения, м/с	Характер грунта
Участок реки в районе ЗАТО Циолковский						
2013, сентябрь	3	1,2	7,2	0,8	0,8	ил с песком и детритом
2014, июнь	2	0,7	20,2	до дна	0,40	песок с дресвой и мелким щебнем
Участок реки выше впадения руч. Золотой						
2013, сентябрь	3	1,2	7,9	до дна	1,0	дресва
2014, июнь	2	0,6	19,6	до дна	0,10	песок с дресвой
Участок реки в районе с. Усть-Пёра, выше строящегося моста						
2017, май	1	1	6	0,2	1,0	заиленный песок
июнь	5	0,3-0,7	15,3	до дна	0,3-0,5	дресва; серый ил с детритом
Участок реки в районе с. Усть-Пёра, ниже строящегося моста						
2017, май	1	1	6,2	0,2	1,0	песок с дресвой
июнь	5	0,3-1	16,5	до дна	0,3-0,5	песок с дресвой; заиленный песок

Таблица 2

Таксономический состав зообентоса водотоков бассейна р. Б. Пёра

	2013	2014	2017	Таксоны	2013	2014	2017
ТИП PORIFERA				Сем. Hydropsychidae			
КЛАСС DEMOSPONGIA				*Aefhaloptera* sp. (?)			+
Сем. Spongillidae				*Hydropsyche* sp.	+		
Spongillidae ind.		+		Сем. Limnephilidae			
ТИП ANNELIDA				*Dicosmoecus* sp.	+	+	
КЛАСС OLIGOCHAETA				Сем. Phryganeidae			+
Сем. Tubificidae				*Semblis atrata* (Gmelin)	+		
Limnodrilus sp.			+	Сем.Rhyacophilidae			
ТИП MOLLUSCA				*Rhyacophila* sp.			+
КЛАСС BIVALVIA				Отряд Diptera			+
Dahurinaia sp.		+	+	Сем. Limoniidae			
КЛАСС GASTROPODA				*Dicronota* sp.			
Anisus stroemi (Westerlund)	+	+	+	*Hexatoma* sp.		+	
ТИП ARTHROPODA				*Phylidorea (P.) fulvonervosa* (Schum.)	+		
КЛАСС INSECTA				Сем. Tipulidae			
Отряд Ephemeroptera				*Tipula* sp.			+
Сем. Baetidae				Сем. Simulidae			
Baetis gr. rhodani		+		*Simulium* sp.		+	
Cloen (P.) albistermum (Novikova)	+			Сем. Ceratopogonidae			
Сем. Caenidae				*Malochohelea* sp.			+
Brachycercus sp.				*Palpomia linaeta* (Meig)			+
Сем. Ephemerellidae				*Palpomia* sp.			+
*Ephemerella (T.) ignita (*Poda)		+	+	*Probezzia seminigra* (Panzer)			+
Сем. Ephemeridae				Сем. Chironomidae			
Ephemera shengmi Hsu	+			*Acricotopus lucens* Ztt.		+	
Сем. Heptageniidae				*Chironomus* sp.			+
Heptagenia (H.) chinense Ulmer	+			*Clinotanypus* sp.	+		
Rhitrogena sp.			+	*Cladotanitarsus* sp.			+
Сем. Polymitarcyidae				*Demicryptochironomus* sp.		+	
Ephoron sp.		+	+	*Endochironomus stackelbergi* Goetgh.		+	
Сем. Potamanthidae				*Micropsecta sp.*			+
Potamanthus luteus (L.)			+	*Orthocladius (O.) defesus* Makar. Et Macar.		+	
Отряд Odonata				*Polypedilum (U.) paraviceps* Niitsuma		+	
Сем. Gomphidae				*P. (T.) bicrenatum* Mg.			+
Gomphus epophthalmus Selys		+		*P.* (s. str.) *nubeculosum* Mg.			+
Nihonogomphus sp.			+	*Procladius (H.) ferrugineus* Kiffer			+
Отряд Trichoptera				*Psectrocladius* (s. st.) *bisetus* Goetgh		+	
Сем. Brachycentridae				*Robackia* sp.			+
Brachycentrus (S.) bilobatus Martyn.		+	+	*Stictochironomus* sp.			+
Сем. Ecnomidae				*Tanitarsus* sp.			+
Ecnomus sp.		+		*Tanypus punctipennis* Meig.	+	+	
Всего видов					*10*	*19*	*27*

Таблица 3

Основные характеристики и биоиндикационные индексы зообентоса р. Б. Пёра

Период	Число видов	Численность, тыс. экз./м^2	Биомасса, г/м^2	H	TBI	EBI	BMWP	IBGN
Участок реки в районе ЗАТО Циолковский								
2013, сентябрь	7	0,71	1,7	1,3	5 – III	4 – низ.	14 – пл.	12 – поср.
2014, июнь	12	0,35	3,64	1,4	7 – II	7 – невыс.	67 –хор.	9 – поср.
Участок реки выше впадения руч. Золотой								
2013, сентябрь	4	0,07	0,07	1,0	6 – III	1 – пл.	10 – пл.	5– пл.
2014, июнь	10	0,14	0,57	1,0	6 –III	5 – низ.	17 – пл.	9 – поср.
*Участок реки в районе с. Усть-Пёра**								
2017, май	3	0,20	0,1	1,6	5 – III	2 – пл.	10 – пл.	8 – пл.
июнь	23	4,58	5,51	1,3	7 – II	8 – хор.	14 – пл.	7 – пл.

*Примечание: H – индекс видового разнообразия по Шеннону; TBI – Trent Biotic Index; EBI – Extended Biotic Index; BMWP – Biological Monitoring Working Party Index; IBGN – Indece Biologique Global Normalize. Класс качества: II – чистые; III – умеренно загрязненные. Качество воды: выс. – высокое; хор. – хорошее; невыс. – невысокое; низ. – низкое; поср. – посредственное; пл. – плохое. * – точки отбора проб выше и ниже моста находятся близко, поэтому рассматриваются как один участок.*

В мае 2017 г. показатели донных беспозвоночных р. Б. Пёра в большей степени сходны с послепаводковым периодом сентября 2013 г. На исследованном участке реки обнаружено 3 вида зообентонтов из трех таксономических групп. Один вид поденок *Potamanthus luteus* (L.) из семейства Potamanthidae, личинка Hexatoma sp. из семейства комаров-болотниц (Limoniidae) и *Polypedilum* (s. str.) *nubeculosum* из семейства Chironomidae. Все эти виды ранее уже были отмечены в водотоках этого региона. Значения численности зообентоса составляли 0,2 тыс. экз./м^2, биомассы – 0,1 г/м^2. В меженный период (2017, июнь) отмечено более высокое таксономическое разнообразие и более высокие показатели численности и биомассы макрозообентоса, обнаружено 24 вида донных беспозвоночных из трех классов: двустворчатые моллюски – 1 вид, олигохеты – 1 вид и насекомые – 22 вид. Среди насекомых наибольшим разнообразием отличались двукрылые (13 видов, из них хирономид – 7), далее по числу видов следовали поденки (4), ручейники (3) и стрекозы (1). Значения численности и биомассы зообентоса менялись в зависимости от типа грунта. Минимальные значения отмечены на песчанно-дресвянных грунтах, максимальные значения численности и биомассы донных беспозвоночных отмечены на илистых грунтах, высокие значения здесь достигаются за счет массового развития олигохет р. *Limnodrilus*. По большинству биоиндикационных индексов качество воды невысокое.

Заключение

За весь период исследований (2013, 2014, 2017 гг.) в р. Б. Пёра выявлено 48 видов донных беспозвоночных из пяти классов: Demospongia (1 вид), Oligochaeta (1 вид), Bivalvia (1), Gastropoda (1), Insecta (44). Амфибиотические насекомые составили 94 % от числа обнаруженных таксонов, большая их часть (24 вида) принадлежала к отряду двукрылых, также отмечены стрекозы, поденки, и ручейники. Среди двукрылых преобладали личинки хирономид (17 видов), которые также доминировали и по встречаемости (отмечены в 92 % проб).

В мае 2017 г. было отмечено низкое таксономическое разнообразие, небольшие значения численности и биомассы донных беспозвоночных, а также невысокое качество воды реки. Эти показатели зообентоса соответствовали фоновым, в большей степени характерным для послепаводкового периода сентября 2013 г. В июне 2017 г. показатели зообентоса также соответствовали фоновым, в большей степени сходны с меженным периодом 2014 г. По сравнению с данными, полученными в мае, в июне 2017 г. отмечено более высокое таксономическое разнообразие и более высокие показатели численности и биомассы донных беспозвоночных. Сопоставление данных по биоиндикации за разные периоды исследований показало, что более благоприятные для развития зообентоса условия в р. Большая Пёра были в меженный период в 2014 и 2017 гг., чем в послепаводковый период исследования 2013 и в 2017 гг. Данные отличия обусловлены муссонным характером функционирования экосистемы р. Б. Пёра, что характерно для речных сообществ российского Дальнего Востока [23].

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 18. Дальний Восток. – Л.: Гидрометеоиздат, 1966. – 487 с.

2. Гидроэкологический мониторинг зоны влияния Зейского гидроузла. – Хабаровск: ДВО РАН, 2010. – 354 с.

3. Богатов В.В. Влияние гидрологического режима верховьев реки Зеи и ее притоков на динамику бентоса // Гидробиология бассейна Амура. – Владивосток, 1978а. – С. 84-91.

4. Богатов В.В. Влияние паводка на снос бентоса в реке Бомнак (бассейн р. Зеи) // Экология. – 1978б. – № 5. – С. 36-41.

5. Богатов В.В., Сиротский С.Е. Продукция моллюсков и их роль в биоценозах пойменных озер верховьев реки Зеи // Гидробиология бассейна Амура. – Владивосток, 1978. – С. 116-122.

6. Сидоров Д.А. Находка *Asellus martynovi* Birstein, 1947 в Зейском водохранилище // Науч. основы экол. мониторинга водохранилищ: матер. всерос. науч.-практ. конф. Дружининские чтения. – Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. – Вып. 2. – С. 108-109.

7. Безматерных Д.М., Вдовина О.Н. Зообентос водотоков позиционного района космодрома «Восточный» (Амурская область) // Чтения памяти В.Я. Леванидова. – 2014. – Вып. 6. – С. 88-98.

8. Руководства по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 318 с.

9. Определитель пресноводных беспозвоночных России. Т. 1-6. – Л./СПб: ЗИН РАН, 1994-2004.

10. Определитель насекомых Дальнего Востока России. Т. VI. Двукрылые и блохи. Ч. 4. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – 936 с.

11. Семенченко В.П. Экологическое качество поверхностных вод. – Минск: Беларус. Навука, 2010. – 329 с.

12. Вдовина О.Н., Безматерных Д.М. Зообентос правых притоков нижнего течения реки Зеи // Космодром «Восточный» – будущее космической отрасли России: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск, 26-27 ноября 2013 г. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2013. – Т. 1. – С. 173-183.

13. Пузанов А.В., Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Зарубина Е.Ю., Вдовина О.Н., Ким Г.В., Котовщиков А.В., Митрофанова Е.Ю. Современное экологическое состояние водотоков территории космодрома «Восточный» // Космодром «Восточный» – будущее космической отрасли России: матер. II Всерос. науч.-практ. конф. Благовещенск, 26-27 ноября 2013 г. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2013. – Т. 2. – С. 79-88.

14. Китаев С.П. О соотношении некоторых трофических уровней и «шкалах трофности» озер разных природных зон // V съезд Всерос. гидроб. об-ва.: тез. докл. – Куйбышев, 1986. – Ч. 2. – С. 254-255.

15. Вдовина О.Н., Безматерных Д.М. Новые данные о зообентосе водотоков позиционного района космодрома «Восточный» (Амурская область, июнь-июль 2014 г.) // Современное состояние водных биоресурсов: матер. 3-й междунар. конф. – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2014а. – С. 23-25.

16. Вдовина О.Н., Безматерных Д.М. Фауна донных макробеспозвоночных водотоков позиционного района космодрома «Восточный» // Мир науки, культуры, образования. – 2014б. – № 6 (49). – С. 554-559.

17. Безматерных Д.М., Вдовина О.Н. Современное состояние сообществ донных беспозвоночных водотоков позиционного района космодрома «Восточный» // Рыбоводство и рыбное хозяйство. – 2015. – № 1-2. – С. 8-12.

18. Безматерных Д.М., Кириллов В.В., Пузанов А.В., Алексеев И.А., Вдовина О.Н. Оценка современного экологического состояния водотоков позиционного района космодрома «Восточный» как основа создания системы его экологического мониторинга // Биогеохимия техногенеза и современные проблемы геохимической экологии. – Барнаул, 2015. – Т. 1. – С. 292-296.

19.Безматерных Д.М., Кириллов В.В., Пузанов А.В., Алексеев И.А., Вдовина О.Н. Оценка экологического состояния водотоков позиционного района космодрома «Восточный» как основа создания системы его экологического мониторинга // Водные ресурсы Центральной Азии и их использование = Water resources of Central Asia their use: матер. междунар. науч.-практ. конф. – Алматы, 2016. – Т. 1. – С. 276-281.

20.Пузанов А.В., Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Алексеев И.А., Вдовина О.Н., Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Ким Г.В., Котовщиков А.В., Митрофанова Е.Ю., Салтыков А.В. Оценка экологического состояния водотоков позиционного района космодрома «Восточный» // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов: Тр. Четверт. всерос. науч. конф. с междунар. участ., Москва, 15-18 сентября 2015 г. – М.: ИВП РАН, 2015. – С. 253-255.

21.Пузанов А.В., Самброс В.В., Безматерных Д.М., Алексеев И.А., Балыкин Д.Н., Балыкин С.Н., Кузняк Я.Э., Горбачев И.В., Салтыков А.А., Вдовина О.Н. Оценка современного экологического состояния позиционного района космодрома «Восточный» и районов падения отделяемых частей ракет-носителей как основа создания системы их экологического мониторинга // Матер. Всерос. конф. с междунар. участ. «Эволюция биосферы и техногенез», VI Всерос. симп. с междунар. участ. «Минералогия и геохимия ландшафта горно-рудных территорий» и XIII Всерос. чтения памяти акад. А.Е. Ферсмана «Рациональное природопользование», «Современное минералообразование», посвящ. 35-летию ИПРЭК СО РАН (22-28 августа 2016 г., г. Чита). – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2016. – С. 23-25.

22.Пузанов А.В., Кириллов В.В., Безматерных Д.М., Алексеев И.А., Вдовина О.Н., Ермолаева Н.И., Зарубина Е.Ю., Винокурова Г.В., Котовщиков А.В., Митрофанова Е.Ю., Салтыков А.В. Экологическое состояние водотоков позиционного района космодрома «Восточный» // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 66-72.

23.Богатов В.В. Экология речных сообществ российского Дальнего Востока. – Владивосток: Дальнаука, 1994. – 218 с.

References

1. Resursy poverhnostnyh vod SSSR: Gidrologicheskaya izuchennost'. T. 18. Dal'nij Vostok. – L.: Gidrometeoizdat, 1966. – 487 s.

2. Gidroekologicheskij monitoring zony vliyaniya Zejskogo gidrouzla. – Habarovsk: DVO RAN, 2010. – 354 s.

3. Bogatov V.V. Vliyanie gidrologicheskogo rezhima verhov'ev reki Zei i ee pritokov na dinamiku bentosa // Gidrobiologiya bassejna Amura. – Vladivostok, 1978a. – S. 84-91.

4. Bogatov V.V. Vliyanie pavodka na snos bentosa v reke Bomnak (bassejn reki Zei) // Ekologiya. – 1978b. – № 5. – S. 36-41.

5. Bogatov V.V., Sirotskij S.E. Produkciya mollyuskov i ih rol' v biocenozah pojmennyh ozer verhov'ev reki Zei // Gidrobiologiya bassejna Amura. – Vladivostok, 1978. – S. 116-122.

6. Sidorov D.A. Nahodka Asellus martynovi Birstein, 1947 v Zejskom vodohranilishche // Nauch. osnovy ekol. monitoringa vodohranilishch: mater. vseros. nauch.-prakt. konf. Druzhininskie chteniya. – Habarovsk: IVEP DVO RAN, 2005. – Vyp. 2. – S. 108-109.

7. Bezmaternyh D.M., Vdovina O.N. Zoobentos vodotokov pozicionnogo rajona kosmodroma «Vostochnyj» (Amurskaya oblast') // Chteniya pamyati V.Ya. Levanidova. – 2014. – Vyp. 6. – S. 88-98.

8. Rukovodstva po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnyh ekosistem. – SPb.: Gidrometeoizdat, 1992. – 318 c.

9. Opredelitel' presnovodnyh bespozvonochnyh Rossii. T. 1-6. – L./SPb: ZIN RAN, 1994-2004.

10.Opredelitel' nasekomyh Dal'nego Vostoka Rossii. T. VI. Dvukrylye i blohi. Ch. 4. – Vladivostok: Dal'nauka, 2006. – 936 s.

11.Semenchenko V.P. Ekologicheskoe kachestvo poverhnostnyh vod. – Minsk: Bela-rus. Navuka, 2010. – 329 s.

12.Vdovina O.N., Bezmaternyh D.M. Zoobentos pravyh pritokov nizhnego techeniya reki Zei // Kosmodrom «Vostochnyj» – budushchee kosmicheskoj otrasli Rossii: mater. II Vseros. nauch.-prakt. konf. Blagoveshchensk, 26-27 noyabrya 2013 g. – Blagoveshchensk: Izd-vo BGPU, 2013. – T. 1. – S. 173-183.

13.Puzanov A.V., Kirillov V.V., Bezmaternyh D.M., Zarubina E.Yu., Vdovina O.N., Kim G.V., Kotovshchikov A.V., Mitrofanova E.Yu. Sovremennoe ekologicheskoe so-stoyanie vodotokov territorii kosmodroma «Vostochnyj» // Kosmodrom «Vostochnyj» – budushchee kosmicheskoj otrasli Rossii: mater. II Vseros. nauch.-prakt. konf. Blagove-shchensk, 26-27 noyabrya 2013 g. – Blagoveshchensk: Izd-vo BGPU, 2013. – T. 2. – S. 79-88.

14.Kitaev S.P. O sootnoshenii nekotoryh troficheskih urovnej i «shkalah trof-nosti» ozer raznyh prirodnyh zon // V s"ezd Vseros. gidrob. ob-va.: tez. dokl. – Kuj-byshev, 1986. – Ch. 2. – S. 254-255.

15.Vdovina O.N., Bezmaternyh D.M. Novye dannye o zoobentose vodotokov pozicion-nogo rajona kosmodroma «Vostochnyj» (Amurskaya oblast', iyun'-iyul' 2014 g.) // Sov-remennoe sostoyanie vodnyh bioresursov: mater. 3-j mezhdunar. konf. – Novosibirsk: IC «Zolotoj kolos», 2014a. – S. 23-25.

16.Vdovina O.N., Bezmaternyh D.M. Fauna donnyh makrobespozvonochnyh vodoto-kov pozicionnogo rajona kosmodroma «Vostochnyj» // Mir nauki, kul'tury, obrazova-niya. – 2014b. – № 6 (49). – S. 554-559.

40.Bezmaternyh D.M., Vdovina O.N. Sovremennoe sostoyanie soobshchestv donnyh be-spozvonochnyh vodotokov pozicionnogo rajona kosmodroma «Vostochnyj» // Rybo-vodstvo i rybnoe hozyajstvo. – 2015. – № 1-2. – S. 8-12.

17.Bezmaternyh D.M., Kirillov V.V., Puzanov A.V., Alekseev I.A., Vdovina O.N. Ocenka sovremennogo ekologicheskogo sostoyaniya vodotokov pozicionnogo rajona kos-modroma «Vostochnyj» kak osnova sozdaniya sistemy ego ekologicheskogo monitoringa // Biogeohimiya tekhnogeneza i sovremennye problemy geohimicheskoj ekologii. – Barnaul, 2015. – T. 1. – S. 292-296.

18.Bezmaternyh D.M., Kirillov V.V., Puzanov A.V., Alekseev I.A., Vdovina O.N. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya vodotokov pozicionnogo rajona kosmodroma «Vo-stochnyj» kak osnova sozdaniya sistemy ego ekologicheskogo monitoringa // Vodnye re-sursy Central'noj Azii i ih ispol'zovanie = Water resources of Central Asia their use: mater. mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Almaty, 2016. – T. 1. – S. 276-281.

19.Puzanov A.V., Kirillov V.V., Bezmaternyh D.M., Alekseev I.A., Vdovina O.N., Er-molaeva N.I., Zarubina E.Yu., Kim G.V., Kotovshchikov A.V., Mitrofanova E.Yu., Saltykov A.V. Ocenka ekologicheskogo sostoyaniya vodotokov pozicionnogo rajona kosmodroma «Vostochnyj» // Fundamental'nye problemy vody i vodnyh resursov: Tr. Chet-vert. vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchast., Moskva, 15-18 sentyabrya 2015 g. – M.: IVP RAN, 2015. – S. 253-255.

20.Puzanov A.V., Sambros V.V., Bezmaternyh D.M., Alekseev I.A., Balykin D.N., Balykin S.N., Kuznyak Ya.E., Gorbachev I.V., Saltykov A.A., Vdovina O.N. Ocenka so-vremennogo ekologicheskogo sostoyaniya pozicionnogo rajona kosmodroma «Vostochnyj» i rajonov padeniya otdelyaemyh chastej raket-nositelej kak osnova sozdaniya sistemy ih ekologicheskogo monitoringa // Mater. Vseros. konf. s mezhdunar. uchast. «Evolyuciya bi-osfery i tekhnogenez», VI Vseros. simp. s mezhdunar. uchast. «Mineralogiya i geohi-miya landshafta gorno-rudnyh territorij» i XIII Vseros. chteniya pamyati akad. A.E. Fersmana «Ra-cional'noe prirodopol'zovanie», «Sovremennoe mineraloob-razovanie», posvyashch. 35-letiyu

IPREK SO RAN (22-28 avgusta 2016 g., g. Chita). – Ulan-Ude: Izd-vo BNC SO RAN, 2016. – S. 23-25.

21.Puzanov A.V., Kirillov V.V., Bezmaternyh D.M., Alekseev I.A., Vdovina O.N., Ermolaeva N.I., Zarubina E.Yu., Vinokurova G.V., Kotovshchikov A.V., Mitrofanova E.Yu., Saltykov A.V. Ekologicheskoe sostoyanie vodotokov pozicionnogo rajona kosmodroma «Vostochnyj» // Geografiya i prirodnye resursy. – 2017. – № 2. – S. 66-72.

22.Bogatov V.V. Ekologiya rechnyh soobshchestv rossijskogo Dal'nego Vostoka. – Vladivostok: Dal'nauka, 1994. – 218 s.

NEW DATA ON MACROZOOBENTHOS OF BOLSHAYA PYORA RIVER

O.N. Vdovina, D.M. Bezmaternykh
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul
E-mail:olgazhukova1984@yandex.ru, bezmater@iwep.ru

The composition and structure of bottom macroinvertebrate communities from the Bolshaya Pyora river (a tributary of the Zea river, the Amur basin) were studied in September 2013, June 2014, May and June 2017. The bottom fauna includes 48 species from five classes of animals. Chironomids were the dominant taxonomic group in the river sections under study. The ecological state of the B. Pyora river was assessed through studying the composition and structure of macrozoobenthos with the use of bioindication methods (Shannon index, TBI, EBI, BMWP, IBGN). The identified features of macrozoobenthos are related to monsoon nature of the B. Pyora river ecosystem.

Key words: zoobenthos, bioindication, rivers, Bolshaya Pyora.

Received January 18, 2020

УДК 597.4/.5

К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ СЕРЕБРЯНОГО КАРАСЯ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ АЛТАЙ

Г.А. Романенко[1,2]
[1]Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск
[2]Алтайский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО»), Барнаул, E-mail: geo403@yandex.ru

В статье дается характеристика распространения серебряного карася Carassius auratus (Linnaeus, 1758) в водоемах и водотоках Республики Алтай. Провндена оценка происхождения исследованных популяций. Описано три местообитания вида, из которых одно (озеро Камышовое Кош-Агачского района) отмечается впервые. Делается заключение, что расширения ареала серебряного карася в регионе происходит за счет интродукций и последующего саморасселения.

Ключевые слова: Республика Алтай, серебряный карась, среднегорья, Чуя, Телецкое озеро, озеро Теньгинское.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15607
Дата поступления 2.03.2020

До недавнего времени факт обитания серебряного карася (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) в водоемах Горного Алтая отрицался некоторыми исследователями [1]. На сегодняшний день вид действительно встречается в водных объектах региона, однако не ясно, следует ли считать его аборигенным, или же возникновение большинства его современных популяций в границах Республики Алтай является результатом целенаправленной интродукции или недавнего саморасселения [2-4].

А.С. Голубцов и Н.П. Малков [2] со ссылкой на работы [5-8] наиболее вероятным районом обитания аборигенных популяций серебряного карася в пределах республики отмечают систему среднего течения реки Бии (территория Турочакского района). А.А. Маринин с соавторами [9-10] и А.П. Кучин [11] фиксировали нахождение этого вида в озерах Теньгинское (Онгудайский район) и Манжерокское (Майминский район). А.С. Голубцов и Н.П. Малков [2] отмечают присутствие вида в озерах бассейна Чарыша (Усть-Канский район), в прудах в пределах г. Горно-Алтайска, в реке Сайдыс (приток Маймы), в старицах и русле Катуни в районе поселка Майма и ниже по ее течению. По опросным данным летом 2005 г. серебряный карась появился в старичных озерах Чуи в северной части Курайской степи (Кош-Агачский район). В данных водоемах и водотоках этот вид, скорее всего, акклиматизирован человеком. Особи из реки Катунь, вероятно, принадлежат обской популяции. Целью работы было дать характеристику распространения серебряного карася в водных объектах Республики Алтай и оценить происхождение изученных популяций.

Материал и методики

Материал для настоящего исследования был собран в 2017-2019 гг. Систематическое положение объектов ихтиофауны приведено согласно системе Ю.С. Решетникова [12]. Сбор ихтиологического материала проводился методом контрольных обловов набором ставных жаберных сетей с ячеей 22,0-85,0 мм, длительность экспозиции – 12 часов. При сборе, обработке и анализе ихтиологического материала применялись общепризнанные методики [13-14] с современными дополнениями [15]. У серебряного карася измерялись абсолютная и промысловая длина с точно-

стью до 1 мм и масса с точностью до 1 г. Статистическая обработка приведена с использованием пакета программ Microsoft Office 2007.

Результаты и обсуждение

В ходе полевых работ достоверно установлено обитание серебряного карася в трех озерах Республики Алтай: Теньгинское (Онгудайский район), Камышовое (бассейн р. Чуя, Кош-Агачский район), Телецкое (устье р. Чулышман, Улаганский район).

Озеро Теньгинское расположено в центральной части Республики Алтай на территории Онгундайского района в 3 км от с. Озерного (рис. 1). Озеро расположено на склоне Семинского хребта на высоте 1114 м над уровнем моря (среднегорье). Площадь водоема составляет 147,5 га, максимальные глубины – 7,4 м (центральная часть озера), средние – от 1,5-2,0 м. Озеро имеет немного вытянутую сложно-округлую форму, около половины его площади занимает мелководная литоральная часть с глубинами не более 1,5 м. Наиболее глубоководные участки приурочены к центральной части, где глубины нарастают быстро, обрывисто. Грунты представлены дресвой, щебенкой, песком и богатыми органическими веществами илами. Низменные берега, расположенные на северной части водоема, сильно заболочены.

В настоящее время ихтиофауна озера представлена речным окунем (*Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758), линем (*Tinca tinca* Linnaeus, 1758), серебряным карасем и обыкновенной щукой (*Esox lucius* Linnaeus, 1758). Достоверно известно, что серебряный карась интродуцирован в озеро в XX в., и по численности он занимает третье место после речного окуня и линя. В уловах отмечены особи шести возрастных групп, причем преобладают особи семи-восьми лет (табл. 1). Особи отличаются стабильно низкими показателями линейного и весового роста, тем не менее, достигают значительных размерных характеристик (более 1 кг).

Рис. 1. Озеро Теньгинское (Онгудайский район Республика Алтай)

Таблица 1

Характеристика стада серебряного карася в контрольных уловах оз. Теньгинское Онгудайского района, 2018 г.

Возраст	Промысловая длина, мм		Масса, г		Соотношение возрастных групп, %
	M±m	lim	M±m	lim	
6+	296,3±35,1	249,0-365,0	525,0±21,6	482,0-550,0	40,5
7+	260,0±30,0	230,0-290,0	555,0±60,0	422,0-688,0	30,6
8+	285,5±22,4	252,0-323,0	677,2±54,4	518,0-768,0	13,6
9+	270,2±27,8	258,0-359,0	717,7±72,2	586,0-825,0	11,9
10+	290,0	–	965,0	–	1,7
12+	320,0	–	1364,0	–	1,7
Среднее	*289,4±12,5*	*230,0-365,0*	*753,3±95,1*	*422,0-1364,0*	*100,0*

Для популяции на данном этапе характерно полное отсутствие младшевозрастных групп в водоеме, которые ранее в популяции преобладали [16]. Небольшое количество молоди было отмечено на заболоченных участках, впадающих в озеро рек Борбок и Ишагаш (Ижогош). Взрослые особи отмечены в прибрежной зоне до глубин 3-4 м, наиболее массово – вблизи устьев вышеупомянутых рек.

В половом составе преобладали самки в соотношении 2 : 1. Гонады у всех исследованных особей были редуцированы, вследствие воздействия «электролова». Данным фактом в комплексе со значительным выеданием молоди хищниками (речной окунь и щука обыкновенная) также объясняется и отсутствие младших возрастных групп.

Озеро Камышовое расположено в 4 км от с. Кош-Агач (Кош-Агачский район Республики Алтай) в пойме р. Чуя на высоте 1758 м над уровнем моря (рис. 2). Площадь водоема составляет 7,4 га, средние отметки глубин – около 3,5 м, максимальные – 5,4 м (в центральной части озера).

Озеро имеет немного вытянутую с запада на восток форму. Максимальная длина водоема составляет 386 м, ширина – 238 м. Длина береговой линии составляет 1022 м, коэффициент изрезанности – 0,6 (слабоизрезанное). По происхождению озеро Камышовое относится к типу моренных озер. Юго-восточная часть водоема представляет собой мелководную литоральную часть с глубинами не более 1,5-2,0 м. На остальной части озера глубины нарастают быстро, обрывисто. Донные грунты повсеместно представлены валунно-каменисто-галечниковыми фракциями, с глубин 0,4-0,6 м покрытыми легкими илистыми отложениями.

Среди представителей ихтиофауны доминирующее положение занимает алтайский осман Потанина (*Oreoleuciscus potanini* (Kessler, 1879), второстепенное значение имеет серебряный карась (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758). В уловах были представлены особи 3 возрастных групп, преобладали экземпляры пяти-шести лет (табл. 2). Для вида характерна концентрация в юго-восточной мелководной части озера в зарослях высшей водной растительности. Половой состав отличался равным соотношением самцов и самок, абсолютная плодовитость колеблется от 18,0 тыс. икринок (4+) до 273,6 тыс. (6+), относительная плодовитость составляет в среднем 300-500 икринок на 1 г массы тела, средний диаметр икринок – 0,8-0,9 мм, максимальный – 1,2 мм.

Рис. 2. Озеро Камышовое
(Кош-Агачский р-н, Республика Алтай)

Таблица 2

Характеристика стада серебряного карася в контрольных уловах оз. Камышовое (Кош-Агачский район Республика Алтай), 2018 г.

Возраст	Промысловая длина, мм		Масса, г		Соотношение возрастных групп, %
	M±m	lim	M±m	lim	
4+	182,7±3,6	170,0-197,0	109,7±3,6	93,0-122,0	62,8
5+	216,0±5,6	205,0-223,0	187,3±16,9	168,0-221,0	31,4
6+	235,0±7,8	214,0-246,0	309,0±18,2	187,0-319,0	5,8
Среднее	198,1±7,3	170,0-246,0	153,2±22,1	93,0-319,0	100,0

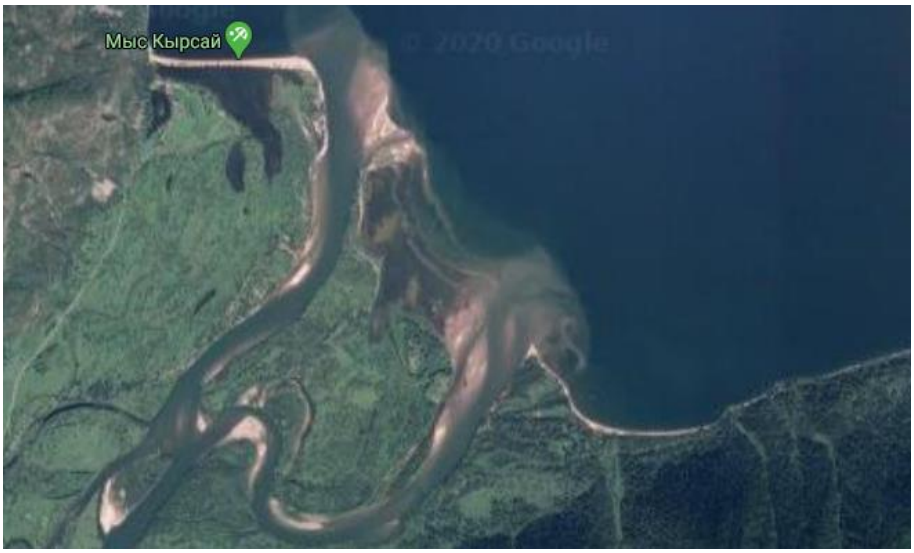


Рис. 3. Дельта реки Чулышман – южная оконечность Телецкого озера
Улаганский район Республики Алтай

Необходимо отметить, что серебряный карась в бассейне верхнего течения реки Чуя отмечен впервые. Н.П. Малков [2] фиксирует факт появления серебряного карася в пойменных водоемах реки Чуя (бассейн р. Катунь) в северной части Курайской степи летом 2005 г., вероятнее всего, за последние многоводные годы (2005-2019) произошло самостоятельное расселение вида вверх по течению Чуи.

Озеро Телецкое – одно из самым значимых водных объектов Республики Алтай – самый глубоководный водоем Южной Сибири. Озеро расположено в Северо-Восточном Алтае на высоте 434 м над уровнем моря. Площадь водного зеркала – около 23 тыс. га, максимальная глубина – 325 м, средняя – 174 м. Глубина нарастает быстро. Характерной границей между литоралью и сублиторалью является обрез – гребень резкого перелома глубин [17].

Поимка серебряного карася в бассейне Телецкого озера приурочена к относительно мелководным, прогреваемым, богатым высшей водной растительностью участкам в устье реки Чулышман (рис. 3). В ходе многолетних исследований был пойман и исследован только один экземпляр самца с промысловой длиной 13,7 мм и массой 93,0 г. Согласно устному сообщению старожила Телецкого озера, к.б.н. Г.Г. Собанского и опросным данным местных жителей поимки серебряного карася на обозначенном участке озера случаются периодически. Предположительно этот вид самостоятельно расселился из озера Пландукель (бассейн реки Колдор), куда был целенаправленно заселен в 1972 г.

Выводы

Как в водных объектах Алтайского края [18-19], так и в водоемах и водотоках Республики Алтай очевидно идет процесс расширения ареала серебряного карася за счет интродукции и последующего самостоятельного расселения. Мы согласны с точкой зрения А.С. Голубцова и Н.П. Малкова [2], что в целом данный процесс неблагоприятен с позиций сохранения местной ихтиофауны, однако в силу специфики климатических и ландшафтных особенностей региона негативное влияние карася на рыбное население будет минимальным. Тем не менее, крайне желательно отслеживать динамику численности и распространение данного вида в водах Горного Алтая.

Автор выражает благодарность сотрудникам Института систематики и экологии животных СО РАН и Алтайского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («АлтайНИРО») за помощь в проведении исследований.

Список литературы

1. Попов П.А. Рыбы Сибири: щуковые – керчаковые. Ч. 2. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2005. – 193 с.

2. Голубцов А.С., Малков Н.П. Очерк ихтиофауны Республики Алтай: систематическое разнообразие, распространение и охрана. – М.: Т-во науч. изд. КМК, 2007. – 164 с.

3. Романенко Г.А., Теряева И.Ю., Елизарьев Д.Г. Современное состояние ихтиофауны озера Камышовое Кош-Агачского района Республики Алтай // Современное состояние водных биоресурсов: материалы 5-ой междунар. конф. – Новосибирск: НГАУ, 2019. – С. 130-134.

4. Романенко Г.А. К вопросу о распространении серебряного карася в водных объектах Республики Алтай // Водные и экологические исследования в Западной Сибири: матер. XX конф. молодых ученых. – Барнаул, 2020. – С. 35.

5. Дулькейт Г.Д. Ихтиофауна озера Телецкого и реки Бии // Заметки по фауне и флоре Сибири. – Томск: Томский государственный ун-т, 1950. – Вып. 8. – С. 9-12.

6. Кривощеков Г.М. Караси Западной Сибири // Тр. Барабинского отд-я ВНИРО. – 1953. – Т. 6. – Вып. 2. – С. 71-124.

7. Аршинов Н.П. Рыбопромысловые участки реки Бии // Природа и природный ресурсы Алтайского края: докл. и тезисы науч. конф. – Бийск: Алт. отдел Географического общества СССР, 1959. – С. 102-104.

8. Гундризер А.Н. Состояние рыболовства и возможности рыбоводно-акклиматизационных работ в Горном Алтае // Вопр. сельскохозяйственного рыбоводства и гидробиологии Западной Сибири. – Барнаул: Алт. кн. Изд-во, 1967. – С. 90-102.

9. Маринин А.А., Маринин А.М., Малков Ю.П., Ушакова В.Г. Озеро Манжерокское // Красная книга Республики Алтай. Особо охраняемые территории и объекты. – Горно-Алтайск, 2000. – С. 144-147.

10. Маринин А.А., Манеев А.Г., Маринин А.М. Озеро Тайменье // Красная книга Республики Алтай. Особо охраняемые территории и объекты. – Горно-Алтайск: Государственный комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Республики Алтай, Горно-Алтайский государственный университет, 2000. – С. 165-168.

11. Кучин А.П. Флора и фауна Алтая. – Горно-Алтайск: Всемирный Фонд Дикой Природы, 2001. – 263 с.

12. Атлас пресноводных рыб России. Т. 1. – М.: Наука, 2003. – 379 с.

13. Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных). – М.: Пищевая промышленность, 1966. – 375 с.

14. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.

15. Решетников Ю.С., Попова О.А. О методиках полевых ихтиологических исследований и точности полученных результатов // Тр. ВНИРО. – 2015. – Т. 156. – С. 112-129.

16. Романенко Г.А. Особенности серебряного карася (*Carassius auratus* (Linnaeus, 1758) в водных объектах Алтайского края и Республики Алтай // «PontusEuxinus 2017»: тез. X Всерос. научно-практ. конф. – Севастополь: DigitPrint, 2017. – С. 182-184.

17. Веснина Л.В., Лукерин А.Ю., Михайлов А.В., Сурков Д. А., Романенко Г.А., Ершов Н.Н. Биоразнообразие гидрофауны водоемов Турочакского района // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов:

настоящее, прошлое, будущее: матер. IV Междунар. конф. – Горно-Алтайск, 2016. – С. 48-50.

18. Журавлев В.Б., Соловов В.П. Гл.7. Фауна рыб водоемов Алтайского края. 7.1. Видовой состав фауны круглоротых и рыб // Водоемы Алтайского края: биологическая продуктивность и перспективы использования. – Новосибирск: Наука, 1999. – С. 135-146.

19. Романенко Г.А. Современное состояние карася в различных озерных системах Алтайского края // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление: сб. матер. Всерос. научн. конф. с междунар. участием, посвященной 85-летию Камчатского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2017. – С. 106-111.

References

1. Popov P.A. Ryby Sibiri: shchukovye – kerchakovye. CH. 2. – Novosibirsk: Izd-vo NGU, 2005. – 193 s.

2. Golubcov A.S., Malkov N.P. Ocherk ihtiofauny Respubliki Altaj: sistematicheskoe raznoobrazie, rasprostranenie i ohrana. – M.: T-vo nauch. izd. KMK, 2007. – 164 s.

3. Romanenko G.A., Teryaeva I.YU., Elizar\'ev D.G. Sovremennoe sostoyanie ihtiofauny ozera Kamyshovoe Kosh-Agachskogo rajona Respubliki Altaj // Sovremennoe sostoyanie vodnyh bioresursov: materialy 5-oj mezhdunarodnoj konferencii / Pod red. E.V. Pishchenko, I.V. Moruzi. – Novosibirsk: NGAU, 2019. – S. 130-134.

4. Romanenko G.A. K voprosu o rasprostranenii serebryanogo karasya v vodnyh ob\"ektah Respubliki Altaj // Vodnye i ekologicheskie issledovaniya v Zapadnoj Sibiri: materialy HKH konferencii molodyh uchenyh. – Barnaul, 2020. – S. 35.

5. Dul\'kejt G.D. Ihtiofauna ozera Teleckogo i reki Bii // Zametki po faune i flore Sibiri. – Tomsk: Tomskij gosudarstvennyj un-t. – 1950. – Vyp. 8. – S. 9-12.

6. Krivoshchekov G.M. Karasi Zapadnoj Sibiri // Trudy Barabinskogo otdeleniya VNIRO. – 1953. – T. 6. – Vyp. 2. – S. 71-124.

7. Arshinov N.P. Rybopromyslovye uchastki reki Bii // Doklady i tezisy dokladov na nauchnoj konferencii «Priroda i prirodnyj resursy Altajskogo kraya». – Bijsk: Altajskij otdel Geograficheskogo obshchestva SSSR. – 1959. – S. 102-104.

8. Gundrizer A.N. Sostoyanie rybolovstva i vozmozhnosti rybovodno-akklimatizacionnyh rabot v Gornom Altae // Voprosy sel\'skohozyajstvennogo rybovodstva i gidrobiologii Zapadnoj Sibiri. – Barnaul: Altajskoe knizhnoe izdatel\'stvo, 1967. – S. 90-102.

9. Marinin A.A., Marinin A.M., Malkov YU.P., Ushakova V.G. Ozero Manzherokskoe // Krasnaya kniga Respubliki Altaj. Osobo ohranyaemye territorii i ob\"ekty / N.P. Malkov, A.G. Maneev, A.M. Marinin, V.G. Ushakova (red.). – Gorno-Altajsk: Gosudarstvennyj komitet ohrany okruzhayushchej sredy i prirodnyh resursov Respubliki Altaj, Gorno-Altajskij gosu-darstvennyj universitet, 2000. – S. 144-147.

10. Marinin A.A., Maneev A.G., Marinin A.M. Ozero Tajmen\'e // Krasnaya kniga Respubliki Altaj. Osobo ohranyaemye territorii i ob\"ekty / N.P. Malkov, A.G. Maneev, A.M. Marinin, V.G. Ushakova (red.). – Gorno-Altajsk: Gosudarstvennyj komitet ohrany okruzhayushchej sredy i prirodnyh resursov Respubliki Altaj, Gorno-Altajskij gosudarstvennyj universitet, 2000. – S. 165-168.

11. Kuchin A.P. Flora i fauna Altaya. – Gorno-Altajsk: Vsemirnyj Fond Dikoj Prirody, 2001. – 263 s.

12. Atlas presnovodnyh ryb Rossii. T. 1. – M.: Nauka, 2003. – 379 s.

13. Pravdin I.F. Rukovodstvo po izucheniyu ryb (preimushchestvenno presnovodnyh). – M.: Pishchevaya promyshlennost\', 1966. – 375 s.

14. Lakin G.F. Biometriya. – M.: Vysshaya shkola, 1990. – 352 s.

15. Reshetnikov YU.S., Popova O.A. O metodikah polevyh ihtiologicheskih issledovanij i tochnosti poluchennyh rezul\'tatov // Trudy VNIRO. – 2015. – T. 156. – S. 112-129.

16. Romanenko G.A. Osobennosti serebryanogo karasya (Carassius auratus (Linnaeus, 1758)) v vodnyh ob\"ektah Altajskogo kraya i Respubliki Altaj // «PontusEuxinus 2017»: tezisy X Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Sevastopol\': DigitPrint, 2017. – S. 182-184.

17. Vesnina L.V., Lukerin A.YU., Mihajlov A.V., Surkov D. A., Romanenko G.A., Ershov N.N. Bioraznoobrazie gidrofauny vodoemov Turochakskogo rajona // Bioraznoobrazie, problemy ekologii Gornogo Altaya i sopredel\'nyh regionov: nastoyashchee, proshloe, budushchee : Materialy IV Mezhdunarodnoj konferencii. – Gorno-Altajsk: RIO GAGU, 2016. – S. 48-50.

18. ZHuravlev V.B., Solovov V.P. Glava 7. Fauna ryb vodoemov Altajskogo kraya. 7.1. Vidovoj sostav fauny kruglorotyh i ryb // Vodoemy Altajskogo kraya: biologicheskaya produktivnost\' i perspektivy ispol\'zovaniya / Pod red. V.P. Solovov. – Novosibirsk: Nauka, 1999. – S. 135-146.

19. Romanenko G.A. Sovremennoe sostoyanie karasya v razlichnyh ozernyh sistemah Altajskogo kraya // Vodnye biologicheskie resursy Rossii: sostoyanie, monitoring, upravlenie: Sbornik materialov Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoj 85-letiyu Kamchatskogo nauchno-issledovatel\'skogo instituta rybnogo hozyajstva i okeanografii. – Petropavlovsk-Kamchatskij: KamchatNIRO, 2017. – S. 106-111.

TO THE QUESTION OF THE DISTRIBUTION OF PRUSSIAN CARP IN WATER FACILITIES OF THE REPUBLIC OF ALTAI

G.A. Romanenko[1,2]

[1]Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, E-mail: geo403@yandex.ru

[2]Altai branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Barnaul

The article describes the distribution of Prussian carp Carassius auratus (Linnaeus, 1758) in the reservoirs and watercourses of the Altai Republic. The origin of the studied populations is assessed. Three habitats of the species are described, of which one (Kamyshovoe Lake, Kosh-Agachsky District) is noted for the first time. The conclusion is made that the expansion of the range of Prussian carp in the region is due to introductions and subsequent self-distribution.

Key words: Altai Republic, Prussian carp, midlands, Chuya, Lake Teletskoye, Lake Tenginskoye.

Received March 2, 2020

УДК 550.42

ЛАНДШАФТНО-ГЕОХИМИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ РП-511 ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПУСКА РКН ИЗ СОСТАВА КРК «АМУР» С КОСМОДРОМА «ВОСТОЧНЫЙ»

А.В. Салтыков, С.Н. Балыкин, А.В. Пузанов
Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: saltykovav@yandex.ru

Приводятся результаты предварительного ландшафтно-геохимического обследования района падения первой ступени ракет космического назначения из состава КРК «Амур», запускаемых с космодрома «Восточный». Объектами исследования были основные компоненты ландшафта, на которые негативно может повлиять ракетно-космическая деятельность. Определяли основные свойства и состав потенциальных загрязнителей: для почвенного покрова – pH, емкость катионного обмена, содержание гумуса, ионный, гранулометрический и элементный состав; для растительного покрова – элементный состав; для поверхностных вод – pH, температура, содержание нефтепродуктов, ионный и элементный состав. Установлено, что все исследуемые потенциальные загрязнители компонентов ландшафта находятся на уровне предельно-допустимых концентраций.

Ключевые слова: Хабаровский край, Эзоп, Дуссе-Алинь, Буреинский, Бурея, поверхностные воды, растения, почвы.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15608
Дата поступления 17.12.2019

Планируемый район падения первой ступени (РП-511) ракет космического назначения, которые будут запускаться с космодрома «Восточный» по наклонению 51,7°, находится на юго-западе Хабаровского края (Верхнебуреинский район) вблизи границы с Амурской областью. По данным наблюдений метеостанций п. Чегдомын, с. Чекунда и пгт. Экимчан климат РП-511 резко континентальный с чертами муссонной циркуляции, он формируется в результате влияния зимнего сибирского антициклона и тихоокеанских летних муссонов. Большое влияние оказывает приподнятость над уровнем моря и большая расчлененность территории, создающие сложные мезоклиматические условия: по мере поднятия по склонам, возрастает контрастность, суровость и влажность климата. Низкая температура воздуха (до –60 °С) и малоснежность (осадки в среднем около 50 мм) в зимний период обусловливают повсеместное формирование вечной мерзлоты и сравнительно короткий вегетационный период. На большей части РП-511 многолетнемёрзлые грунты достигают мощности до 70-90 м с глубиной сезонного оттаивания 30-90 см. Продолжительность безморозного периода колеблется от 60 до 100 дней в году.

Гидрографическая сеть РП-511 принадлежит к бассейну р. Бурея (приток р. Амур) и представлена верхними участками рек Ниман и Умальта с их притоками (рис. 1). Западная граница бассейна Буреи проходит по хребту Турана, северная – по хребтам Эзоп и Дуссе-Алинь, восточная – по Буреинскому хребту, верхняя часть которого расположена в среднегорье. Высоты Туранского и Буреинского хребтов достигают 1500-2000 м, отметки дна долины в границах РП снижаются от 900 м. В верховье реки (до устья притока Ниман) рельеф пересечённый, высокие водоразделы представлены выровненными голь-

цовыми поверхностями, низкие водоразделы и склоны речных долин покрыты лесом, глубина вреза долины составляет 400-500 м. К устью р. Ниман глубина вреза долины уменьшается до 150-200 м. Ниже слияния Правой и Левой Буреи в кремнисто-сланцевых породах сформировались врезанные излучины долины и русла, имеющие петлеобразную форму. В 11 км выше устья р. Умальты при смене сланцев песчаниками и глинами долина становится ящикообразной с плоским днищем, занятым поймой. Русло Буреи разветвлённо-извилистое, много вынужденных излучин. Ширина русла достигает 180 м при размахе поймы 2500-3000 м. Валунно-галечный состав русловых отложений постепенно сменяется на галечно-песчаный [1].

Водный режим рек в границах РП-511 зависит в основном от атмосферных осадков в теплый период (50-70 % от общего стока) и частично от снеготаяния во время весеннего половодья (10-20 %). В холодный период водный режим полностью определяется подземным питанием (10-30 %). Другая отличительная черта водного режима – неравномерность распределения стока в течение года. Половодье выражено слабо, т.к. с момента положительных температур на него накладываются дождевые паводки, между которыми наблюдаются кратковременные периоды низких уровней. Средняя продолжительность паводочного периода составляет 140 дней. Летняя межень отсутствует [1].

Геохимию поверхностных вод определяют сложные гидрогеологические условия бассейна р. Бурея, обусловливая значительную пространственно-временную динамику и большой диапазон величин гидрохимических показателей. Реки Ниман и Туюн (правые притоки в верховьях р. Бурея) дренируют восточные склоны хребтов Турана, Дуссе-Алинь и Эзоп, которые сложены слаборастворимыми гранитоидами, метаморфизированными и метаморфическими породами, а также отличаются пониженной концентрацией литогенных ионов.

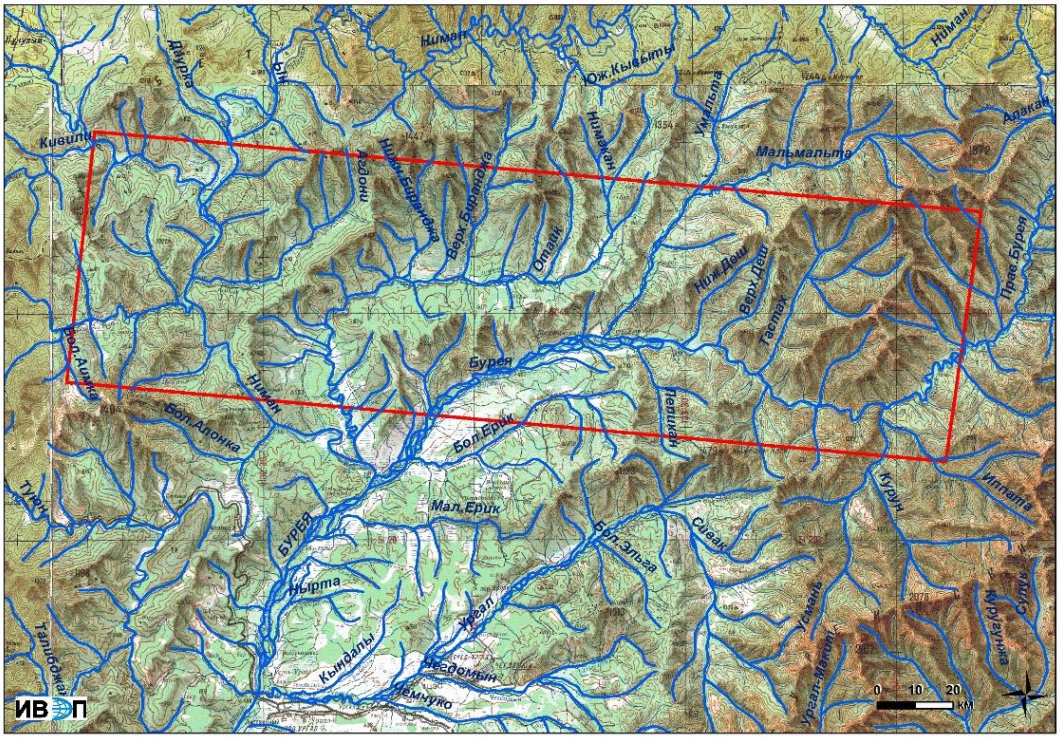


Рис. 1. Гидрографическая сеть в пределах РП-511

В левых притоках, дренирующих западные склоны Буреинского хребта (Ургал, Чегдомын, Дубликан, Солони, Адникан, Тырма, Яурин и др.), сложенного терригенными юрскими и меловыми породами, содержание растворенных веществ значительно повышается по сравнению с правобережными притоками и в среднем изменяется в пределах 41,2-57,1 мг/дм^3. Увеличение минерализации происходит не только за счет гидрокарбонатов кальция и магния, но и сульфат-ионов и ионов натрия [2-9]. В результате исследований, проведенных в 2014 г., установлено, что количество нитритов и ортофосфатов в воде рек района падения ниже пределов обнаружения и ПДК в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; концентрация нитритов существенно ниже ПДК [10]. По содержанию аммония воды рек Нимакан и Ниман умеренно загрязненные, остальных – загрязненные. Концентрация нефтепродуктов в исследуемых поверхностных водах низкая, величина окисляемости (ХПК) соответствует водам рек таежной зоны. Содержание железа в отдельных пробах выше предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.

В горных притоках верхней части бассейна р. Бурея при турбулентном перемешивании водных масс, низкой температуре воды и присутствии мерзлоты дефицит кислорода не наблюдается. Наибольшая его концентрация отмечается во время половодья и паводков. В реке Ниман летом при температуре 16,8°С вода может быть перенасыщена кислородом, В летнюю межень его концентрация в воде не опускается ниже 9,0 мг/дм^3, а уровень насыщения – ниже 82 %. Зимой с переходом этих рек на грунтовое питание значительное снижение содержания кислорода в воде не зарегистрировано. Его концентрация находится в пределах 9,5-13,4 мг/дм^3, а уровень насыщения – 65-95 %.

Основным источником антропогенного влияния на водотоки в РП-511 являются прогнозно-поисковые работы и добыча золота, платины и других полезных ископаемых. Реки бассейна р. Бурея расположены в Нижанском рудно-россыпном районе – Софийская площадь, которая расположена в Верхнебуреинском районе Хабаровского края. В пределах этой территории с середины XIX в. ведется добыча россыпного золота, имеется довольно развитая сеть грунтовых дорог. Из других полезных ископаемых известны проявления олова и геохимические аномалии олова, свинца, цинка, меди, мышьяка. В зоне разработки золоторудных месторождений нарушается гидрологический режим рек, увеличивается сток взвешенных наносов, что ведет к обеднению водной флоры и фауны, ухудшению экологического состояния рек. Загрязнение речных вод в районах добычи происходит в результате усиления физического и химического выветривания отвалов горных пород и применения химических веществ (цианид натрия, хлорная известь и др.) для переработки пород. Отмечено увеличение стока растворенных веществ в русловую сеть как в период эксплуатации месторождений, так и после их отработки. Горные работы в карьерах и штольнях приводят к окислению сульфидных минералов в отвалах, поступлению больших количеств сульфатных ионов в речную сеть. Наряду с этим водотоки обогащаются ионами натрия, кальция и магния вследствие сернокислого выщелачивания вскрышных пород. Поэтому речные воды характеризуются более высоким содержанием сульфатного иона и минерализацией воды (до 98,5 и 180 мг/дм^3, соответственно). Наиболее заметно влияние шахтных вод на качество воды рек проявляется при низких расходах воды. Загрязнение продуктами выветривания отходов горнорудного производства наблюдается и на реках более высоких порядков. Использование взрывчатых

веществ при вскрышных работах вызывает увеличение содержания нитратного и нитритного азота (до 3,7 и 0,02 мгN/дм^3, соответственно). Применение в технологическом процессе для извлечения золота больших количеств цианида натрия, хлорной извести, едкой щелочи и других веществ может вызывать появление вод с высоким содержанием иона натрия и хлоридного иона, нитратного и нитритного азота, вод хлоридно-натриевого состава. В наибольшей степени это влияние проявляется в воде ручьев, которые дренируют хвостохранилища [11].

Согласно новейшему флористическому районированию [12] территория РП-511 относится к Буреинскому району Амуро-Сахалинской провинции Бореальной области Бореального подцарства Голарктического царства. Согласно природному зонированию – это южная часть подзоны светлохвойных лесов зоны хвойных (таежных) лесов [13].

Восточная граница РП-511 почти соприкасается с западной границей Государственного природного заповедника «Буреинский», растительный покров которого сравнительно хорошо изучен [14-19] и может служить эталоном для окружающих территорий при характеристике флоры и растительности. Так, сводный список сосудистых растений заповедника и его охранной зоны включает 509 видов из 212 родов и 69 семейств, в т.ч.: 33 вида сосудистых споровых из 14 родов 11 семейств; 6 видов голосеменных из 5 родов и 2 семейств; 145 видов однодольных цветковых из 44 родов и 8 семейств; 325 видов двудольных цветковых из 149 родов и 48 семейств. Ведущие по видовому богатству семейства: *Cyperaceae* (65 видов), *Asteraceae* (46), *Rosaceae* (38), *Poaceae* (36), *Ranunculaceae* (30), *Salicaceae* (21), *Ericaceae* (20), *Liliaceae* (16) и *Juncaceae* (16), *Caryophyllaceae* (14), *Saxifragaceae* (13), *Brassicaceae* (10), *Fabaceae* (10) и *Scrophulariaceae* (10) [20]. Изучение мхов выявило для верхней части бассейна р. Бурея 289 видов из 137 родов [21]. Большинство из них собрано на территории заповедника и в его окрестностях.

На территории заповедника и его охранной зоны произрастает 116 видов лишайников. Наиболее широко представлены роды *Cladonia*, *Hypogymnia*, *Pertusaria* и *Usnea*. Несколько большие показатели таксономического богатства в силу большей площади и аналогичных природных условий свойственны и территории РП-511.

В растительном покрове территории РП-511 хорошо выражена высотная поясность, которая относится к океаническому типу, что обусловлено влиянием воздушных масс тихоокеанского летне-осеннего муссона. Выделяются три высотных пояса: гольцовый, подгольцовый и лесной (горно-таежный).

В восточной части РП-511 наиболее выражены гольцовый и подгольцовый высотные пояса. В гольцовом поясе по наиболее высоким вершинам преобладают каменистые кустарничково-лишайниковые, реже кустарничково-моховые тундры и эпилитно-лишайниковая растительность скал и курумников, отдельные луговые группировки высокогорных видов. Набор высших растений в горной тундре довольно скуден: *Rhododendron parvifolium, Artemisia lagocephala, Luzula parviflora* и др. Пологие склоны и каменистые плато занимает лишайниковая или ягельная тундра, не имеющая кустарникового яруса. Преобладает *Cetraria nivalis* и др. Лишь кое-где в углублениях встречаются *Sorbaria pallasii, Ribes triste* в редком кустарничково-травяном ярусе единично отмечается *Polygonum viviparum*. Повышенная роль лишайников и моховых синузий – древняя черта высокогорных ландшафтов (гольцов) северных побережий Тихого океана. Несколько ниже, на умеренно увлажненных супесчаных почвах с включениями камней, на смену лишайниковой приходит ерниково-лишайниковая тундра. Кустарниковый

ярус из *Betula divaricata, Ledum palustre, Sorbaria pallasii* и других покрывает 30-60 % почвы. В слабо развитом кустарничково-травяном покрове чаще других встречаются *Vaccinium vitis-idaea, Hierochloë alpina, Empetrum nigrum, Cassiope ericoides, Carex rigidioides, Luzula nivalis*. Чем ближе к гольцовому поясу, тем сильнее меняются размер и габитус кустарников; появляются обширные поляны с травянистыми и кустарничковыми синузиями. На северных склонах, на более прикрытых и выровненных площадках, встречаются небольшие участки ерниково-моховой тундры с *Vaccinium vitis-idaea, Pyrola incarnata, Linnaea borealis*, ягелями рода *Cladonia*, на переувлажненных местах – *Sphagnum*. В гольцовом и подгольцовом поясах около снежников, сохраняющихся до середины лета, отмечается особый вариант альпийских лугов – нивальные (приснежные) лужайки с *Angelica saxatilis, Pulsatilla ajanensis, Trollius riederianus, Viola biflora, Primula cuneifolia, Potentilla elegans, Pentaphylloides fruticosa, Rhododendron aureum, Empetrum sibiricum, Ribes triste*.

В подгольцовом поясе (1200-1500 м над ур. м.) распространены с заросли кедрового стланика (*Pinus pumila*) и пятна кустарничково-моховых, кустарничково-лишайниковых тундр в сочетании с редкостойными лиственничными (*Larix cajanderi*), еловыми (*Picea ajanensis*) и смешанными лесами и редколесьями, местами с участием *Betula lanata*, которая также образует в подгольцовом поясе и верхней высотной полосе лесного пояса самостоятельные небольшие рощи. Кедровый стланик в тех или иных количествах присутствует в подлеске почти всех лесных формаций. В то же время самостоятельные насаждения он образует лишь в строго определенных границах и экологических условиях. Высотные границы его распространения колеблются от 800 до 1000-1600 м над ур. м. Из кустарников ему сопутствуют *Duschekia kamtschatica, Betula divaricata*, а в верхнем ярусе гор – *Rhododendron aureum*. В нижнем ярусе зарослей кедрового стланика встречаются *Vaccinium vitis-idaea, Ledum palustre, Dryopteris fragrans, Cassiope ericoides, Cassiope redowskyi, Cassiope tetragona, Claytonia eschscholtzii, Claytonia soczaviana* и др. Напочвенный покров развит хорошо и состоит из зеленых мхов и лишайников. Последние преобладают. Пожары являются губительными для зарослей кедрового стланика, возобновление его происходит медленно, вследствие этого исходный ценоз может не восстановиться. Заросли кедрового стланика имеют большое почвозащитное и водоохранное значение, препятствуют развитию эрозионных процессов в горах. Кроме того, его орехи являются основным кормом пушных зверей (белка, соболь и др.).

В верхней полосе лесного пояса относительно пологие склоны и вершины занимают лиственничные леса с примесями других пород. Во втором ярусе этих лесов часто произрастает кедровый стланик. Травянистый покров состоит из тенелюбивых растений, а почва покрыта сплошным моховым ковром. Изредка у верхней границы леса встречаются сообщества ольховника кустарникового (*Duschekia fruticosa*).

На крутых склонах произрастают с еловые зеленомошные леса (с участием березы каменной – *Betula lanata* и лиственницы Каяндера – *Larix cajanderi)*, а по световым склонам – разнотравные леса. Еловые леса из ели аянской (*Picea ajanensis*) занимают сравнительно небольшие площади и тянутся от верхней границы леса до уреза рек отдельными островками преимущественно в распадках. Местами они занимают неширокие полосы крутых нижних частей склонов, тянутся от подгольцовой седловины, образуя более или менее широкую полосу леса, веерообразно расширяются в водосборных воронках истоков горных ручьев. Общая черта мест произрастания ельников – достаточное (до не-

сколько избыточного) увлажнение при хорошем дренаже. Лучше других сохранились от пожаров приручьевые хвощово-папоротниковые ельники. Обычно они занимают лишь узкую полосу (30-40 м шириной) со свежей, легко суглинистой почвой на наклонном плоском днище долины между крутыми склонами. Поверхность днища часто неровная, с крупными камнями, рытвинами и вывернутыми с корнем деревьями. Второй ярус древостоя образован более молодыми елями с примесью березы плосколистной (*Betula platyphylla).* В травяном покрове выделяются пышные группы *Athyrium filix-femina, Aruncus asiatica, Cacalia hastata*; заметна примесь *Equisetum spp*. На более пологих склонах располагаются папоротниково-зеленомошные ельники. Им свойственна небольшая примесь лиственницы в господствующем пологе. Во втором ярусе встречается береза, в подлеске – изредка рябина, смородина, иногда ольховник и бузина. Вдоль ручьев тянутся узкие полосы рябинника. Травяной покров редкий, на северных склонах состоит из *Gymnocarpium jessoense*. В понижениях всюду рассеяны представители таежного мелкотравья – *Linnaea borealis, Mitella nuda, Trientalis europaea, Pyrola incarnata* и др. Сплошной моховой покров мощностью до 11 см образует *Hylocomium proliferum* с небольшой примесью других зеленых мхов.

В средней полосе лесного пояса доминируют лиственничные (*Larix cajanderi*) с елью и березой багульниково- и кустарничково-зеленомошные (*Ledum palustre, Vaccinium vitis-idaea, Empetrum nigrum*) леса. На покатых склонах, хорошо увлажненных за счет стока, располагаются лиственничники вейниково-разнотравные, в которых подлесок практически отсутствует. В нижней полосе лесного пояса – березово-лиственничные зеленомошные, по световым склонам – разнотравные, леса. Здесь распространена уже береза плосколистная (*Betula platyphylla*), которая встречается обычно в виде небольшой примеси, а значительную роль играет в основном в послепожарных лиственничных лесах и редколесьях, местами она преобладает в древостое и формирует фрагменты березников, которые чаще всего являются вторичными и кратковременными. Обычно они покрывают площади пожарищ на месте лиственничных лесов. Оставшиеся после пожара лиственницы образуют верхний полог древостоя, тогда как береза и осина входят во второй полог. Подлесок и кустарничково-травяной ярус развиты хорошо и представлены теми же видами, которые составляли эти ярусы в исходном ценозе.

В средних и нижних частях горных склонов и в котловинообразных расширениях долин распространены горные лиственничные леса с развитым кустарниковым ярусом. Лиственничные багульниковые леса занимают все более пологие, как правило, заболоченные склоны, чему способствует сплошной моховой покров. Невысокие выположенные поверхности занимают лиственничные, часто заболоченные леса (мари). Самые пологие поверхности в котловинообразных расширениях долин, а также речные террасы, исключая их более дренированные части, заняты сфагновыми лиственничными марями.

По глубоко врезанным долинам малых рек развиты елово-лиственничные и лиственничные леса. Долинные лиственничники занимают как достаточно увлажненные, но хорошо дренированные и аэрированные местообитания речных пойм, так и избыточно увлажненные холодные, где вечная мерзлота залегает глубоко. Второй ярус древостоя образуют *Picea ajanensis, Abies nephrolepis, Betula platyphylla*; подлесок состоит из мезофильных пойменных кустарников: *Cornus alba, Spiraea salicifolia, Sorbus amurensis*; кустарниково-травяной покров из мезофильных

растений (папоротников, вейника и др.) развит сравнительно слабо.

По широким выработанным долинам средних и крупных рек распространены прирусловые первичные серийные чистые и смешанные леса из *Chosenia arbutifolia* и *Populus suaveolens*, к которым на более поздних стадиях сукцессий примешиваются ель, пихта и лиственница. Главным фактором, направляющим развитие и смены серийных лиственных лесов, является деятельность рек. Песчаные наносы населяют в первую очередь *Salix cardiophylla, Salix schwerinii, Salix udensis, Salix rorida*. На более мощных песчаных наносах, а также на галечниках, поселяются чозения и тополь. Тополевые и чозениевые леса находятся в зоне влияния паводков, и травяной покров в них развит слабо. Чаще других в них отмечаются *Poa palustris, Senecio cannabifolius, Oxytropis spp*. и др. Спелые тополевники, расположенные на участках долины, вышедших из зоны затопления рекой, имеют более богатый видовой состав сформировавшихся нижних ярусов с преобладанием вейника Лангсдорфа. Следующая стадия развития тополевников – смешанные леса из тополя и лиственницы. Они являются переходными между тополевниками и долинными лиственничниками. Местами в понижениях рельефа к долинным темнохвойным, тополевым, реже к лиственничным лесам примешивается *Abies nephrolepis*. Из других древесных пород в лесах пойм и надпойменных террас долин встречаются *Alnus hirsuta* и *Picea obovata*.

Эти долинные леса сочетаются с вейниковыми, разнотравно-вейниковыми лугами, местами осоково-пушицевыми низинными болотами, кустарничково-сфагновыми лиственничными марями. Низинные болота эутрофного типа занимают небольшие площади. На них выделяется одна ассоциация – осоково-пушицевая (*Carex schmidtii* и *Eriophorum vaginatum*). Единично в их составе встречаются *Menyanthes trifoliata, Pedicularis resupinata, Lythrum salicaria* и др.

Территория РП-511 находится в зоне горных буротаежных, горных буротаежных иллювиальных, подзолов и болотных почв. Характерной особенностью почв является их маломощность. На горных склонах мощность почвенного покрова обычно не превышает 10-25 см и наполовину состоит из обломков горных пород.

Иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые подзолы формируются в лесотундре и таежно-лесной зоне на отложениях легкого гранулометрического состава. Горизонт О – маломощная (3-8 см) слабо оторфованная подстилка из отмерших мхов, опада кустарничков и хвои; АО – мощностью 1-3 см полуразложившийся, в нижней части перегнойный, с примесью осветленных отмытых от железистых пленок зерен минералов; A_2 – сильно осветленный, часто белесый, обедненный валовыми и подвижными (аморфными и окристаллизованными) формами R_2O_3; горизонт B_t или $B_{f,h}$ охристо-бурый или коричневато-охристый содержит от 1 до 3 % вмытого фульватного гумуса, с четкой аккумуляцией валовых и аморфных органо-минеральных соединений железа и алюминия или их гидрооксидов.

Под горными темнохвойными лесами формируются горные буротаёжные иллювиально-гумусовые почвы. Из-за плотной, мощной и влажной, преимущественно хвойной подстилки, препятствующей испарению почвенной влаги, они характеризуются повышенной кислотностью: pH этих почв варьирует от 4,3 до 5,3. Также для них отмечено более высокое, чем в бурых лесных почвах, содержание подвижного азота, железа и водорастворимых органических веществ. Горные буротаежные мерзлотные почвы приурочены к склонам и вершинам, где произрастают лиственничные леса. Гумусово-иллювиальные горно-таежные относятся к почвам

верхнего пояса горных ельников. Мерзлотные таежные торфянисто-глеевые почвы развиты на предгорных участках при переходе от маревых зарослей к склонам под багульниковыми лиственничниками.

Болотные почвы приурочены к долинно-равнинным элементам рельефа, развиваются в условиях избыточного увлажнения при отсутствии или слабом дренаже территорий. Содержат много не перегнивших растительных и животных остатков. Дерновые аллювиальные почвы приурочены к поймам рек. Торфянисто-болотные почвы распространены на заболоченных лиственничниках с влаголюбивой растительностью. Иловато-дерновые слоистые почвы аллювиального происхождения приурочены к заливным поймам рек и елово-тополевым зарослям.

На поверхности вершин и склонов сопок почвы каменистые в различной степени. Под слабооторфованной подстилкой (2-5 см) залегает прокрашенный вмытым иллювиальным гумусом темно-коричневый суглинисто-щебнистый горизонт. В мощностью 6-10 см, постепенно переходящий в сильнокаменистый, обогащенный щебнем элювий и элювио-делювий плотных осадочных, метаморфических и вулканических пород. Почвы характеризуются высокой гумусированностью мелкозема с содержанием гумуса 8-10 %, аккумуляция которого в горизонте B_h сопровождается закреплением несиликатных форм R_2O_3. Реакция почв – сильнокислая ($pH_{сол}$ 3,6-3,8) гидролитическая кислотность высокая (20-50 ммоль/100 г почвы).

Эколого-геохимические исследования в РП-511 выполнены на пяти площадках. Схема их расположения в районе представлена на рисунке 2.

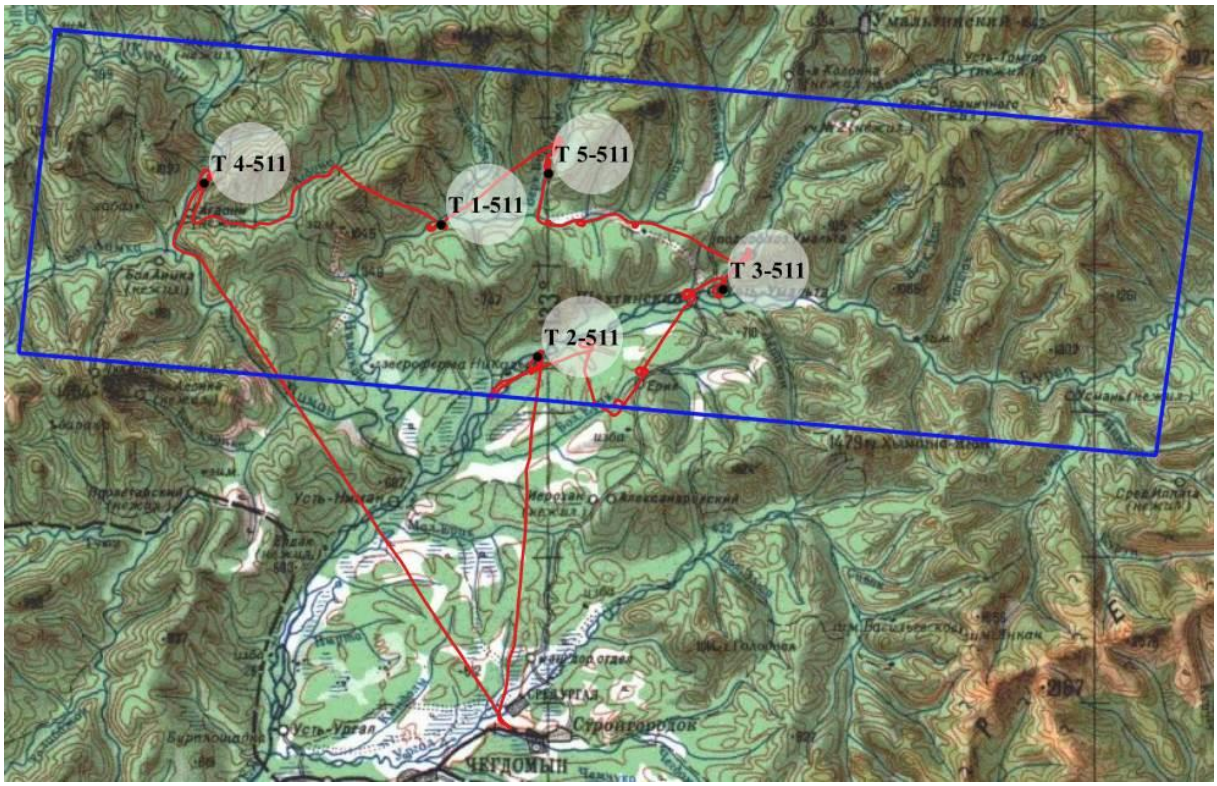


Рис. 2. Карта-схема расположения площадок эколого-геохимических исследований и отбора проб в РП-511

Т. 1-511/19 – долина р. Нимакан, правый берег; пойменный смешанный ольхово-ивовый лес.

Т. 2-511/19 – долина р. Бурея, правый берег, пойма; лиственничный зеленомошный лес с примесью березы.

Т. 3-511/19 – долина р. Умальта, левый берег, борт коренного берега; еловый зеленомошный лес с примесью березы.

Т. 4-511/19 – долина р. Ниман, правый берег; пойменный пихтово-еловый кустарниковый лес.

Т. 5-511/19 – долина р. Верх. Бираджа, левый берег, борт коренного берега; лиственничный мохово-багульниковый лес. Склон юго-западной экспозиции.

Эколого-геохимическая оценка почвенного покрова

Реакция почвенного раствора исследованных почв РП-511 меняется в диапазоне от кислой до слабокислой: от 3,6 до 5,3 (табл. 1). Верхние значения pH обнаружены в минеральных горизонтах, наиболее низкие – характерны для органогенных горизонтов. Поверхностные горизонты отличаются высоким уровнем емкости катионного обмена (до 50-90 мг-экв/100 г почвы), которая падает с глубиной до 19-30 мг-экв/100 г почвы. Содержание минеральных форм азота низкое (<0,1-30,2 мг/кг нитратов и 0,2-1,1 мг/кг нитритов), за исключением образца 1-511/19 (0-5 см), где обнаружены повышенные концентрации (526,5 ± 115,8 мг/кг) нитратов, что составляет более 4 ПДК. Обменного аммония в почвах РП-511 содержится от 13,7 до 53,5 мг/кг, и профиль его распределения имеет выраженный аккумулятивный характер. Содержание фосфатов варьирует незначительно (11,3-13,8 мг/кг).

Гранулометрический состав исследуемых почв, преимущественно, супесчаный (табл. 2). Только образцы 3-511/19 (20-30 см) и 5-511/19 (55-65 см) имеют более тяжелый гранулометрический состав (средний и легкий суглинок, соответственно). Почвы РП-511 имеют низкую минерализацию. Состав водорастворимых солей преобладает гидрокарбонатно-кальциевый (табл. 3).

Таблица 1

Свойства и ионный состав почв РП-511

Шифр пробы	Глубина, см	NO_3^-, $млн^{-1}$	NO_2^-, мг/кг	Гумус, %	P_2O_4, мг/кг	NH_4^+(обм.), $млн^{-1}$	ЕКО, мг-экв/100 г	pH, ед. pH
1-511/19	0-5	526,5	1,1	6,4	13,8	37,8	49,6	4,7
1-511/19	5-10	<0,1	0,2	0,9	13,5	13,7	19,2	5,3
2-511/19	0-10	10,7	0,4	4,8	14,8	8,5	60,8	4,3
2-511/19	20-30	10,2	0,4	2,8	12,1	38,4	28,8	4,6
3-511/19	20-30	10,1	0,5	4,1	12,1	17,3	27,2	4,2
4-511/19	0-5	21,3	0,5	7,5	11,3	50,4	46,4	4,9
5-511/19	40-55	30,2	0,8	5,4	<10	53,5	72,0	3,6
5-511/19	55-65	9,7	0,2	4,7	11,3	29,6	41,6	4,2

Таблица 2

Гранулометрический состав почв РП-511, %

Шифр пробы	Глубина, см	Размер частиц, мм						
		1,00-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,010-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
1-511/19	0-5	18,7	57,6	13,4	6,2	1,7	2,4	10,3
1-511/19	5-10	73,4	20,3	3,0	1,8	1,5	<0,01	3,3
2-511/19	0-10	2,7	48,3	31,7	10,1	4,6	2,6	17,3
2-511/19	20-30	3,2	54,6	25,9	7,0	7,0	2,3	16,3
3-511/19	20-30	0,6	31,4	36,3	14,1	13,0	4,6	31,7
4-511/19	0-5	2,8	66,2	21,0	6,8	0,2	3,0	10,0
5-511/19	40-55	20,4	35,1	27,0	2,8	9,8	4,8	17,5
5-511/19	55-65	1,0	48,4	23,0	14,9	5,6	7,1	27,6

Кларк алюминия в земной коре составляет 8,05 %. Концентрации алюминия в исследуемых почвах соответствуют его кларку в почвах мира, варьируя от 8517 до 102827 мг/кг (табл. 4). Низкие значения содержания алюминия характерны для органогенных горизонтов. Наиболее высокие его концентрации обнаружены в свежем аллювии (4-511/19 – глубина 0-5 см). Содержание алюминия в почвах не нормируется.

Кларк железа в почвах – 3,8 %, в биосфере – 2,2 %. Железо имеет высокую почвофильность (0,08-1,00), но не нормируется. В исследуемых почвах его содержание соответствует кларку. Кислые почвы более обогащены растворимым неорганическим железом, чем нейтральные и щелочные. Концентрация этого элемента закономерно увеличивается по мере снижения размеров почвенных частиц – от песчано-пылеватых (0,8 %), пылеватых (1,0 %), мелкопылеватых (3,6 %) до глинистых (9,2 %). Накопление железа происходит в анаэробных условиях при участии микроорганизмов.

Кадмий редкий (кларк 0,000016 %), рассеянный, сильно токсичный, металл. Среднее фоновое его содержание в почвах различных стран составляет от 0,01 до 2,4 мг/кг. Содержание металла в пахотных почвах вблизи никелевых рудников достигает 45 мг/кг. Концентрацию кадмия порядка 1700 мг/кг обнаружили в США в почвах возле цинкоплавильного завода. По данным Российского геоэкологического центра, содержание элемента в почвах г. Санкт-Петербурга колеблется от 0,01 до 397,60 мг/кг, что в среднем составляет 0,94 мг/кг. Разработаны ОДК для кадмия – 1 класс опасности (валовое содержание суммы всех форм, мг/кг) для разных групп почв: песчаные и супесчаные – 0,5, кислые суглинистые и глинистые, pH_{KCl} <5,5-1,0, близкие к нейтральным и нейтральные, суглинистые и глинистые, pH_{KCl} >5,5-2,0. Концентрации кадмия в почвах исследуемого региона повсеместно превышают эти значения и колеблются в пределах от <0,05 до 7,7 мг/кг.

Таблица 3

Состав водорастворимых солей в почвах РП-511, мг/кг

Шифр пробы	Глубина, см	Ионы						Минерализация
		Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	CO_3^{2-}	
1-511/19	0-5	14,0	28,4	80,0	36,0	152,5	<21	310,9
1-511/19	5-10	10,5	22,8	10,0	<6,0	<42,7	<21	91,6
2-511/19	0-10	17,5	43,5	40,0	48,0	183,0	<21	332,0
2-511/19	20-30	38,5	32,2	40,0	12,0	91,5	<21	220,4
3-511/19	20-30	7,0	15,2	80,0	24,0	122,0	<21	248,2
4-511/19	0-5	21,0	15,2	60,0	12,0	122,0	<21	230,2
5-511/19	40-55	28,0	24,6	60,0	36,0	183,0	<21	331,6
5-511/19	55-65	7,0	15,2	10,0	<6,0	61,0	<21	116,6

Таблица 4

Элементный состав почв РП-511, мг/кг

Шифр пробы	Глубина, см	Al	Fe	Cd	K	Mg	Mn	Cu	Ni	Pb	Zn	Li
1-511	0-5	59406	20633	5,70	8007	5194	615	<0,1	11,0	0,48	84,0	43,0
1-511	5-10	75373	14572	4,40	12455	3294	252	12,1	3,3	9,7	63,0	37,0
2-511	0-10	73581	25156	7,60	8038	6766	768	10,0	8,0	15,6	78,0	58,0
2-511	10-20	16918	9814	3,70	1887	2283	391	17,2	19,4	23,5	258,0	10,0
2-511	20-30	74161	25636	7,70	9116	6676	555	5,5	6,4	<0,1	75,0	59,0
3-511	0-10	9449	4491	<0,05	1429	1198	1464	<0,1	<0,1	11,9	145,0	4,8
3-511	10-20	41974	22789	2,60	4633	3445	338	13,2	20,0	16,9	190,0	29,0
3-511	20-30	94843	50637	2,80	9091	8358	700	15,5	35,0	17,9	180,0	97,0
4-511	0-5	102827	39502	<0,05	9721	8012	923	7,0	23,7	<0,1	156,0	78,0
5-511	20-40	8517	3689	<0,05	1123	787	111	<0,1	<0,1	<0,1	85,0	4,0
5-511	40-55	43325	17805	4,30	4836	1768	148	1,4	<0,1	6,7	41,9	34,0
5-511	55-65	78509	21603	0,10	10591	3005	207	8,5	19,7	<0,1	111,0	82,0

Калий. Валовое содержание элемента в образцах почв на площадках эколого-геохимических исследований в РП-511 варьирует в широких пределах: 787-8358 мг/кг.

Марганец в почвах распространен широко и играет большую роль в формировании их химического состава. Для валового Mn свойственна высокая пестрота содержания в педосфере [22-23]. Для него характерна резко выраженная тенденция к биогенной аккумуляции в гумусовых горизонтах [24-26]. В пробах почв РП 511 содержание марганца варьирует преимущественно от 111 до 1464 мг/кг, приближаясь к его ПДК в почвах.

Медь в почвах является относительно малоподвижным элементом, т.к. легко образует труднорастворимые сульфиды, карбонаты, гидроксиды. Она накапливается в поверхностных гумусовых горизонтах. Аккумуляция в верхних горизонтах – обычная черта распределения Cu в почвенном профиле, что является результатом действия разных факторов. Прежде всего концентрация элемента в верхнем слое почвы отражает ее биоаккумуляцию, а также современное антропогенное влияние. В речных осадках она приурочена к мелкой фракции (<0,001 мм), а среди новообразований почв избирательно концентрируется в железистых (до 150 г/т), хотя распространена также в марганцевых, карбонатных и гипсовых [27]. В почвах РП 511 содержание меди находится в пределах <0,1-17,2 мг/кг и не превышает предельных нормативов для почв.

Никель. Содержание элемента в почвах РП-511 составляет <0,1-35 мг/кг при ОДК 20-80 мг/кг. Максимальное значение его концентрации обнаружено в суглинистом образце площадки 5-511. В супесчаных и органогенных горизонтах его содержание заметно ниже. Кабата-Пендиас (1989) приводит среднее содержание никеля в почвах 20 мг/кг, по данным А.П. Виноградова – до 40 мг/кг [28]. Таким образом, исследуемые почвы характеризуются пониженным уровнем содержания никеля.

Свинец. ПДК валовых форм элемента (мг/кг): песчаные и супесчаные – 32,0, кислые (pH < 5,5) глинистые и суглинистые – 65,0, близкие к нейтральным, нейтральные (pH > 5,5) глинистые и суглинистые – 130,0. Распределение свинца по профилю почв неравномерно и специфично для разных их типов. Заметное снижение его содержания наблюдалось в элювиальном слое светлых лесных почв, а обогащенными являлись иллювиальный или перегнойно-аккумулятивный горизонт; часто обогащены участки с повышенным содержанием илистой фракции. [27]. В почвах РП-511 содержание свинца существенно варьирует и составляет <0,1-23,5 мг/кг.

Цинк в почвах широко распространен и легкоподвижен (Zn^{2+}). Однако даже в наиболее благоприятных для его миграции кислых средах он быстро сорбируется минеральными (особенно алюминий, железо и марганец) и органическими компонентами. Его накопление обычно происходит в поверхностных горизонтах почв (А и В). Концентрации цинка в почвах РП-511 колеблются в широких пределах: от 75 до 258 мг/кг. Для супесчаных почв это повышенное содержание, превышающее ОДК (55 мг/кг).

Литий. Содержание элемента в почвах РП-511 составляет 4,0-97,0 мг/кг, такое варьирование связано прежде всего с неоднородностью почвенного покрова исследуемой территории по гранулометрическому составу и содержанию органического вещества. По литературным данным [27] интервал содержания лития в почвах различных стран составляет от 1,2 до 120 мг/кг.

Эколого-геохимическая оценка поверхностных вод

Значение pH в речных водах обычно варьирует в пределах 6,5-8,5. Для поверхностных вод, содержащих небольшие количества диоксида углерода, характерна щелочная реакция [29]. Воды исследуемых рек по показателю pH яв-

ляются нейтральными – pH в пределах 6,5-7,5 ед. (воды р. Нимакан – слабокислые).

Солевой состав природных вод, как правило, определяется катионами кальция, магния, натрия, калия и анионами – гидрокарбонатами, хлоридами, сульфатами. Остальные ионы присутствуют в значительно меньших количествах, они не влияют на химический тип воды. По классификации О.А. Алёкина [30] воды рек районов падения – гидрокарбонатные кальциевой группы (табл. 5). По величине общей минерализации (определена как сумма сухого остатка и гидрокарбонатов) воды рек относятся к категории ультрапресных (минерализация не более 0,2 г/дм^3) природных вод.

Количество нитритов ниже аналитического порога метода определения. Аммоний обнаружен в воде всех рек (за исключением р. Умальта), что свидетельствует о наличии загрязнения, при этом в воде р. Ниман количество иона не отвечает требованиям, предъявляемым к качеству воды водных объектов рыбохозяйственного значения. Превышения ПДК соединения в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (ГН 2.1.5.1315-03) в водах нет.

Величина химического потребления кислорода (ХПК) является одним из основных показателей степени загрязнения воды органическими соединениями, изменяется в пределах от долей миллиграммов до десятков миллиграммов в литре [29]. ХПК в воде для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий не должно превышать 15 мгO_2/л, для рекреационного водопользования, а также в черте населенных мест – 30 мгO_2/л [31]. Пробы воды р. Ниман соответствуют только менее строгому нормативу, вода остальных рек по величине ХПК отвечает всем нормам.

Таблица 5

Свойства и химический состав поверхностных вод, дренирующих РП-511

Показатели	1-511/19	2-511/19	3-511/19	4-511/19	5-511/19
Физические					
pH, ед	6,23	6,81	6,86	6,82	6,80
Температура, ºС	12,0	14,0	13,0	12,0	13,0
Химические, мг/дм^3					
CO_3^{2-}	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.
HCO^-	33,6	78,1	83,0	70,2	80,6
Cl^-	<10	11,3	<10	<10	<10
SO_4^{2-}	<10	<10	<10	<10	<10
Ca^{2+}	6,30	5,34	6,17	4,47	7,00
Mg^{2+}	1,40	1,10	1,29	0,84	1,42
Na^+	2,13	1,60	2,00	1,60	2,20
Сухой остаток	52	<50	<50	72	<50
NO^{2-}	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
NO^{3-}	0,79	0,76	0,85	1,12	0,89
NH_4^+	0,30	0,18	<0,05	0,54	0,20
PO_4^{3-}	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
ХПК	13,3	12,2	13,3	25,5	17,3
Нефтепродукты	<0,02	0,03	<0,02	<0,02	<0,02
Fe	0,14	0,08	<0,05	0,26	0,11
Cd	0,0003	0,0006	0,0002	0,0004	0,0005
Mn	0,007	0,006	0,002	0,006	0,003
Cu	0,0088	0,0121	0,0133	0,0106	0,0136
Ni	<0,001	0,002	0,001	0,003	0,002
Pb	0,002	0,003	<0,001	0,002	<0,001
Zn	<0,005	<0,005	0,007	<0,005	0,005
Al	0,019	0,299	0,288	0,397	0,309
K	0,270	0,316	0,550	0,291	0,460
Li	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Примечание: 1-511/19 – р. Нимакан; 2-511/19 – р. Бурея; 3-511/19 – р. Умальта; 4-511/19 – р. Ниман; 5-511/19 – р. Верх. Бираджа; н.о. – не обнаружено.

Нефтепродуктами ни одна из исследованных проб не загрязнена. Превышение ПДК химических веществ в воде водных объектов рыбохозяйственного значения, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования отмечено для алюминия в четырех пробах (исключение – вода р. Нимакан). Содержание меди во всех пробах и железа в трех (вода рек Нимакан, Ниман и Верх. Бираджа) выше предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Наиболее загрязненной является вода р. Ниман.

Эколого-геохимическая оценка растительного покрова

Алюминий. Содержание элемента в высших растениях составляет около 200 мг/кг сухой массы, но оно широко варьирует в зависимости от почвенных и растительных факторов. Некоторые виды растений могут содержать более 1000 мг/кг алюминия. В растениях РП-511 содержание алюминия существенно выше (474-39249 мг/кг). Наиболее высокие его концентрации обнаружены во мхах (табл. 6).

Железо. Содержание элемента в растениях, считающееся нормальным, по В.В. Ковальскому, составляет 28-250 мг/кг, пределами нижнего порога токсичности – 11-115 мг/кг, верхнего порога – >250 мг/кг. В растениях РП-511 концентрации железа варьируют от 109 до 20626 мг/кг. Максимальные значения также характерны для мхов.

Кадмий. Нормальное содержание элемента в растениях 0,05-0,20 мг/кг воздушно-сухой массы, предположительно максимальное – 3 мг/кг. Фоновые уровни содержания его в растениях разных стран весьма низки и сходны: в злаковых травах – в пределах от 0,07 до 0,27 мг/кг, в бобовых – от 0,08 до 0,28 мг/кг. Концентрация кадмия в совокупной выборке лекарственных растений Алтая колеблется в пределах 0,004-0,4 мг/кг. В РП-511 максимальные значения обнаружены в багульнике (5,3 ± 2,7 мг/кг). Высокими концентрациями кадмия отличаются и мхи (0,9-3,1 мг/кг).

Калий. Его кларк в живом веществе составляет 0,3 %. Калий входит в триаду наиболее биологически дефицитных элементов (N, P, K). При довольно высокой средней биофильности, ее проявление в разных природных зонах нашей страны различно: тундровая – 0,42, лесная – 0,53, степная – 0,9, пустынная – 0,77. В золе некоторых организмов очень много калия: грибы – до 28,4 %, папоротники – до 35,4-69, хвощи – до 19 %. В семействах высших растений: лилейные – 30,7 %, зонтичные – 28,4, бобовые – 27, крестоцветные – 23, гречишные – 25 и злаковые – 23 %. Относительно бедна элементом зола лишайников, плаунов, голосемянных, вересковых, мхов (8 %), маревых (12 %). В исследованных растениях РП-511 содержание калия составляет 1713-7461 мг/кг на сухое вещество (0,17-0,74 %).

Таблица 6

Элементный химический состав растений в РП-511, мг/кг

Шифр пробы	Злаковые	Мох				Багульник
	1-511	2-511	3-511	4-511	5-511	5-511
Al	7509	15071	1422	39249	1610	474
Fe	3896	8163	926	20626	1980	109
Cd	0,39	1,58	1,52	3,10	0,85	5,30
K	7461	4400	2783	5531	2250	1713
Li	4,1	12,4	1,0	34,0	1,0	0,2
Mg	2177	2607	1199	4902	1009	1216
Mn	292	658	556	1060	1055	1661
Cu	8,2	15,0	5,2	9,5	1,6	11,6
Ni	11,6	11,3	9,5	17,8	7,9	18,4
Pb	0,7	6,1	4,9	12,0	1,7	25,3
Zn	75	60	62	221	47	44

Литий. Его кларк для живого вещества оценен величиной 0,00006 %. Растения поглощают литий в различной степени. Т.Ф. Боровик-Романова с соавторами [32] подсчитали показатели биологического поглощения (зола/почва). Высокое его значение – 0,8 установлено для семейства Solanaceae, некоторые виды которого растут в аридной зоне и накапливают >1 г/кг лития. У представителей семейства Rosaceae – 0,6, у Polygonaceae – всего 0,04. Больше всего Li в растениях, произрастающих на солончаках и других почвах повышенной солености. Средние содержания этого элемента для наиболее толерантных к нему семейств растений для нашей страны таковы (мг/кг сухого вещества): Rosaceae – 2,9, Panunculaceae – 2,0, Solanaceae – 1,9, Violaceae – 1,3, остальные <0,7. Характерными концентраторами лития являются табак, белена, дурман, дереза и некоторые другие пасленовые, среди лютиковых – василисник. В растениях РП-511 содержание элемента составляет 0,217-34,0 мг/кг. Минимальные значения отмечены у багульника, наиболее высокие – у мхов.

Магний. Роль элемента в жизнедеятельности растений определяется его вхождением в состав хлорофилла. Показатель биофильности магния имеет среднюю величину (0,28). По природным зонам этот показатель меняется: тундровая – 0,18, лесная – 0,35 (древесная растительность – 0,29, травяная – 0,41), степная – 0,32, пустынная – 0,21. В растениях магний взаимодействует со многими элементами: синергетически – с алюминием и цинком, антагонистически – с бериллием, барием, хромом, марганцем, фтором, никелем, кобальтом, медью и железом. В растениях кларк магния составляет 4200 мг/кг (сухое вещество), он довольно близок для морской (≈ 5000 мг/кг) и континентальной (3200 мг/кг) флоры. Концентрации магния в растениях РП-511 варьируют от 1009 до 4902 мг/кг сухого вещества. Максимальные концентрации его обнаружены во мхах площадки 4-511.

Марганец. Критический уровень марганцевой недостаточности для большинства растений находится в пределах 15-25 мг/кг сухой массы, однако уровень токсической концентрации более изменчив и зависит как от природы растений, так и от почвенных факторов. Большинство растений испытывает вредное воздействие элемента при его содержании около 500 мг/кг сухой массы. Некоторые более устойчивые виды и генотипы способны накапливать марганца до 1000 мг/кг сухой массы. В растениях РП-511 его содержание 292-1661 мг/кг, при этом наибольшее значение характерно для багульника, а наименьшее – для злаков.

Медь. Содержание элемента в растительности на юге Западной Сибири в редких случаях превышает 10 мг/кг. В зависимости от природных условий среднее содержание меди в растениях варьирует от 6,3 до 8,7 мг/кг сухого вещества. Больше ее в бобовых и разнотравье, меньше – в злаках. В лекарственных растениях Северного Алтая содержание меди колебалось от 1,4 (*Rhodiola rosea*) до 17,0 мг/кг (*Nepeta sibirica*), Центрального Алтая – от 2,5 до 13,5 мг/кг (*Thalistrum minus*). Максимальные концентрации меди в РП-511 обнаружены в багульнике на площадке 5-511 (11,6 мг/кг) и во мхе (15 мг/кг) площадки 2-511/19.

Никель. Содержание его в растениях, растущих на незагрязненных почвах, могут существенно изменяться. Средние уровни элемента в злаковых травах варьируют от 0,1 до 1,7 мг/кг сухой массы, в клевере – от 1,2 до 2,7 мг/кг сухой массы. Растения РП-511 характеризуются более высокими значениями концентрации никеля: 7,9-18,4 мг/кг.

Свинец. Содержание элемента в травах различных стран мира колеблется от 0,19 до 9 мг/кг, фоновые уровни составляют в среднем 2,1 мг/кг. В РП-511 максимальные концентрации свинца обна-

ружены в багульнике (25,3 мг/кг). Во мхах его содержание варьирует от 1,7 до 12,0 мг/кг. Наиболее низким содержанием свинца отличаются злаки (0,74 мг/кг).

Цинк. Концентрация элемента в дикорастущих растениях Горного Алтая колеблется в пределах от 1,4 до 76 мг/кг сухого вещества. Наиболее высокое содержание цинка в РП-511 обнаружено во мхе площадки 4-511 (221 мг/кг). В остальных образцах растений его содержание существенно ниже и составляет 44-75 мг/кг.

Список литературы

1. Доработка проекта СКИОВО по бассейну р. Амур. Общая характеристика бассейна реки Бурея. Кн. 1.5. – Екатеринбург, 2012. – 82 с.

2. Шестеркина Н.М., Таловская В.С., Ри Т.Д., Шестеркин В.П. Гидрохимия притоков Бурейского водохранилища // Пресноводные экосистемы бассейна реки Амур. – Владивосток: БПИ ДВО РАН, 2008. – С. 18-27.

3. Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Форина Ю.А. Влияние торфяных пожаров на химический состав снежного покрова и поверхностных вод // География и природные ресурсы. – 2009. – № 1. – С. 49-54.

4. Шулькин В.М. Изменчивость химического состава речных вод Приморья как индикатор антропогенной нагрузки и ландшафтной структуры водосборов // Вестн. ДВО РАН. – 2009. – № 4. – С. 103-114.

5. Форина Ю.А., Шестеркин В.П. Особенности химического состава речных вод восточного макросклона Северного Сихотэ-Алиня // География и природные ресурсы. – 2010. – № 3. – С. 81-87.

6. Чудаева В.А., Шестеркин В.П., Чудаев О.В. Микроэлементы в поверхностных водах бассейна реки Амур // Водные ресурсы. – 2011. – Т. 38. – № 5 – С. 606-617.

7. Форина Ю.А., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. Фосфор в воде таежных рек Северного Сихотэ-Алиня // Тихоокеанская геология. – 2013. – С. 116-119.

8. Шестеркина Н.М., Шестеркин В.П. Микроэлементы в воде притоков Нижне-Бурейского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. – 2016. – № 3. – С. 15-29.

9. Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М. Фосфаты в воде малых рек Хабаровска // Современные проблемы регионального развития. – 2018. – С. 135-137.

10. Отчет «Рекогносцировка районов падения отделяющихся частей ракет-носителей в дальневосточном федеральном округе. Разработка предложений по экспериментальной отработке, автономным и комплексным испытаниям КТС ЭРП» (Шифр: «РПОЧ-Восток-ИВЭП/14»). Этап № 1 Рекогносцировка районов падения отделяющихся частей ракет-носителей в Дальневосточном федеральном округе». – 2014.

11. Шестеркин В.П. Антропогенные факторы формирования качества речных вод Приамурья // Чтения памяти В.Я. Леванидова. Вып. 5. – Владивосток, 2011. – С. 589-595.

12. Шлотгауэр С.Д., Крюкова М.В., Антонова Л.А. Сосудистые растения Хабаровского края и их охрана. – Владивосток-Хабаровск: ДВО РАН, 2001. – 195 с.

13. Дальний Восток // Советский союз. Российская Федерация. Дальний Восток. – М.: Мысль, 1971. – С. 17-78.

14. Осипов С.В. Растительный покров таежно-гольцовых ландшафтов Буреинского нагорья. – Владивосток: Дальнаука. – 2002. – 378 с.

15. Осипов С.В. Ботанико-географические районы и зональность растительного покрова в верховьях реки Буреи (российский Дальний Восток) // География и природные ресурсы. – 2012. – № 2. – С. 74-81.

16. Осипов С.В. Динамика растительного покрова таёжных и гольцовых ландшафтов в верховьях реки Бурея // Сиб. экол. журнал. – 2012. – № 3. – С. 325-335.

17. Осипов С.В. Растительный покров природного заповедника «Буреинский» (горные таежные и гольцовые ландшафты Приамурья). – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 219 с.

18. Осипов С.В. Экологическая структура растительного покрова гольцово-таёжной территории: выявление и отображение основных закономерностей методом картографирования // Сиб. экол. журнал. – 2014. – № 3. – С. 363-372.

19. Осипов С.В. Леса и редколесья гольцово-таёжных ландшафтов Буреинского нагорья (разнообразие, структура, динамика) // Сиб. лесной журнал. – 2015. – № 1. – С. 25-42.

20. Борисов Б.И., Думикян А.Д., Кожевников А.Е., Петелин Д.А. Сосудистые растения Буреинского заповедника (аннотированный список видов). – М.: РАН, 2000. – 102 с.

21. Ignatov M.S., Tan B.C., Iwatsuki Z., Ignatova E.A. Moss flora of the upper Bureya River (Russian Far East) // J. Hattori Bot. Lab. – 2000. – № 88. – P. 147-178.

22. Зырин Н.Г. Распределение и варьирование содержания микроэлементов в почвах Русской равнины // Почвоведение. – 1968. – № 7. – С. 77-90.

23. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

24. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах. – М.: АН СССР, 1957. – 259 с.

25. Ковда В.А., Якушевская И.В., Тюрюкова А.Н. Микроэлементы в почвах Советского Союза. – М., 1959. – С. 67.

26. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов (Mn, Cu, Mo, B) в южной части Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – 401 с.

27. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. – М.: Недра, 1994. – Кн. 1. – 304 с.

28. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. – М.: Недра, 1996. – Кн. 3. – 352 с.

29. Гусева Т.В., Молчанова Я.П., Заика Е.А. и др. Гидрохимические показатели состояния окружающей среды: справ. материалы. – Эколайн, 2000.

30. Алекин О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеоиздат, 1953. – 296 с.

31. СанПиН 2.1.5.980-00.

32. Боровик-Романова Т.Ф., Фарафонов М.М., Грибовская И.Ф. Спектральное определение микроэлементов в растениях и почвах. – М.: Наука, 1973. – 111 с.

References

1. Dorabotka proekta SKIOVO po bassejnu r. Amur. Obshchaya harakteristika bas-sejna reki Bureya. Kn. 1.5. – Ekaterinburg, 2012. – 82 s.

2. Shesterkina N.M., Talovskaya V.S., Ri T.D., Shesterkin V.P. Gidrohimiya prito-kov Burejskogo vodohranilishcha // Presnovodnye ekosistemy bassejna reki Amur. – Vladivostok: BPI DVO RAN, 2008. – S. 18-27.

3. Shesterkin V.P., Shesterkina N.M., Forina Yu.A. Vliyanie torfyanyh pozharov na himicheskij sostav snezhnogo pokrova i poverhnostnyh vod // Geografiya i prirod-nye resursy. – 2009. – № 1. – S. 49-54.

4. Shul'kin V.M. Izmenchivost' himicheskogo sostava rechnyh vod Primor'ya kak indikator antropogennoj nagruzki i landshaftnoj struktury vodosborov // Vestn. DVO RAN. – 2009. – № 4. – S. 103-114.

5. Forina Yu.A., Shesterkin V.P. Osobennosti himicheskogo sostava rechnyh vod vostochnogo makrosklona Severnogo Sihote-Alinya // Geografiya i prirodnye resursy. – 2010. – № 3. – S. 81-87.

6. Chudaeva V.A., Shesterkin V.P., Chudaev O.V. Mikroelementy v poverhnostnyh vodah bassejna reki Amur // Vodnye resursy. – 2011. – T. 38. – № 5 – S. 606-617.

7. Forina Yu.A., Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. Fosfor v vode taezhnyh rek Severnogo Sihote-Alinya // Tihookeanskaya geologiya. – 2013. – S. 116-119.

8. Shesterkina N.M., Shesterkin V.P. Mikroelementy v vode pritokov Nizhne-Burejskogo vodohranilishcha // Vodnoe hozyajstvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie. – 2016. – № 3. – S. 15-29.

9. Shesterkin V.P., Afanas'eva M.I., Shesterkina N.M. Fosfaty v vode malyh rek Habarovska // Sovremennye problemy regional'nogo razvitiya. – 2018. – S. 135-137.

10. Otchet «Rekognoscirovka rajonov padeniya otdelyayushchihsya chastej raket-nositelej v dal'nevostochnom federal'nom okruge. Razrabotka predlozhenij po eksperimental'noj otrabotke, avtonomnym i kompleksnym ispytaniyam KTS ERP» (Shifr: «RPOCh-Vostok-IVEP/14»). Etap № 1 Rekognoscirovka rajonov padeniya otdelyayushchihsya chastej raketnositelej v Dal'nevostochnom federal'nom okruge». – 2014.

11. Shesterkin V.P. Antropogennye faktory formirovaniya kachestva rechnyh vod Priamur'ya // Chteniya pamyati V.Ya. Levanidova. Vyp. 5. – Vladivostok, 2011. – S. 589-595.

12. Shlotgauer S.D., Kryukova M.V., Antonova L.A. Sosudistye rasteniya Habarov-skogo kraya i ih ohrana. – Vladivostok-Habarovsk: DVO RAN, 2001. – 195 s.

13. Dal'nij Vostok // Sovetskij soyuz. Rossijskaya Federaciya. Dal'nij Vostok. – M.: Mysl', 1971. – S. 17-78.

14. Osipov S.V. Rastitel'nyj pokrov taezhno-gol'covyh landshaftov Bureinskogo nagor'ya. – Vladivostok: Dal'nauka. – 2002. – 378 s.

15. Osipov S.V. Botaniko-geograficheskie rajony i zonal'nost' rastitel'nogo po-krova v verhov'yah reki Burei (rossijskij Dal'nij Vostok) // Geografiya i prirodnye resursy. – 2012. – № 2. – S. 74-81.

16. Osipov S.V. Dinamika rastitel'nogo pokrova tayozhnyh i gol'covyh landshaf-tov v verhov'yah reki Bureya // Sib. ekol. zhurnal. – 2012. – № 3. – S. 325-335.

17. Osipov S.V. Rastitel'nyj pokrov prirodnogo zapovednika «Bureinskij» (gor-nye taezhnye i gol'covye landshafty Priamur'ya). – Vladivostok: Dal'nauka, 2012. – 219 s.

18. Osipov S.V. Ekologicheskaya struktura rastitel'nogo pokrova gol'covo-tayozhnoj territorii: vyyavlenie i otobrazhenie osnovnyh zakonomernostej metodom kartografirovaniya // Sib. ekol. zhurnal. – 2014. – № 3. – S. 363-372.

19. Osipov S.V. Lesa i redkoles'ya gol'covo-tayozhnyh landshaftov Bureinskogo nagor'ya (raznoobrazie, struktura, dinamika) // Sib. lesnoj zhurnal. – 2015. – № 1. – S. 25-42.

20. Borisov B.I., Dumikyan A.D., Kozhevnikov A.E., Petelin D.A. Sosudistye raste-niya Bureinskogo zapovednika (annotirovannyj spisok vidov). – M.: RAN, 2000. – 102 s.

21. Ignatov M.S., Tan B.C., Iwatsuki Z., Ignatova E.A. Moss flora of the upper Bureya River (Russian Far East) // J. Hattori Bot. Lab. – 2000. – № 88. – P. 147-178.

22. Zyrin N.G. Raspredelenie i var'irovanie soderzhaniya mikroelementov v pochvah Russkoj ravniny // Pochvovedenie. – 1968. – № 7. – S. 77-90.

23. Kabata-Pendias A., Pendias H. Mikroelementy v pochvah i rasteniyah. – M.: Mir, 1989. – 439 s.

24. Vinogradov A.P. Geohimiya redkih i rasseyannyh elementov v pochvah. – M.: AN SSSR, 1957. – 259 s.

25. Kovda V.A., Yakushevskaya I.V., Tyuryukova A.N. Mikroelementy v pochvah Sovetskogo Soyuza. – M., 1959. – S. 67.

26. Il'in V.B. Biogeohimiya i agrohimiya mikroelementov (Mn, Cu, Mo, B) v yuzhnoj chasti Zapadnoj Sibiri. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 401 s.

27. Ivanov V.V. Ekologicheskaya geohimiya elementov. – M.: Nedra, 1994. – Kn. 1. – 304 s.

28. Ivanov V.V. Ekologicheskaya geohimiya elementov. – M.: Nedra, 1996. – Kn. 3. – 352 s.

29. Guseva T.V., Molchanova Ya.P., Zaika E.A. i dr. Gidrohimicheskie pokazateli sostoyaniya okruzhayushchej sredy: sprav. materialy. – Ekolajn, 2000.

30. Alekin O.A. Osnovy gidrohimii. – L.: Gidrometeoizdat, 1953. – 296 s.

31. SanPiN 2.1.5.980-00.

32.Borovik-Romanova T.F., Farafonov M.M., Gribovskaya I.F. Spektral'noe opre-delenie mikroelementov v rasteniyah i pochvah. – M.: Nauka, 1973. – 111 s.

LANDSCAPE AND GEOCHEMICAL SURVEY OF IZ-511 TO ENSURE LAUNCHING SPACE ROCKETS FROM SRC «AMUR» WITH VOSTOCHNY SPACEPORT

A.V. Saltykov, S.N. Balykin, A.V. Puzanov
Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS, Barnaul, E-mail: saltykovav@yandex.ru

The article presents the results of a preliminary landscape-geochemical survey of the area of the fall of the first stage of space rockets from the Amur rocket complex launched from the Vostochny cosmodrome. The main components of the landscape that can be negatively affected by rocket and space activities in the territory under consideration were used as objects of research: surface water, soil and vegetation. They determined the main properties and composition of potential pollutants: soil cover-pH, cation exchange capacity, humus content, ionic, granulometric and elemental composition; vegetation cover-elemental composition; surface water-pH, temperature, content of petroleum products, ionic and elemental composition. When analyzing the data obtained, it was found that all the studied potential pollutants in the considered components of the landscape are at the level of maximum permissible concentrations.

Keywords: Khabarovsk Krai, Ezop Range, Dusse-Alin, Bureya Massif, Bureya River, surface water, plants, soils.

Received December 17, 2019

УДК 502.7 + 577.4

ОБ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА В ВОДОХРАНИЛИЩАХ, СХОДНЫХ ПО ГИДРОЛОГИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

А.А. Цхай[1,2]
[1] *Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, E-mail: tskhai@iwep.ru*
[2] *Алтайский государственный университет, Барнаул*

Объектом исследования являются экосистемы водохранилищ. Проведена оценка изменчивости и накопления фосфора в экосистемах этих водных объектов, сходных по гидрологическим характеристикам. Сопоставление данных по содержанию фосфора в Новосибирском водохранилище (которых недостаточно) с данными хорошо изученных волжских водохранилищ позволяет дополнительным образом верифицировать результаты, полученные при имитационном моделировании в случае неполной и неточной информации.

Ключевые слова: водохранилище, математическая модель, гидрология, загрязняющие вещества, трансформация, биогеохимический цикл.

DOI: 10.24411/2410-1192-2020-15609
Дата поступления 11.02.2020

Гидрологические особенности относятся к определяющим факторам формирования качества воды в водохранилищах. В работе [1] было изучено взаимодействие гидробионтов в условиях изменения водного режима в более чем тысяче водных объектов США. Был получен следующий результат: основным фактором изменения качества вод при возрастании проточности становятся абиотические компоненты экосистемы.

Фосфор наиболее часто является химическим элементом, лимитирующим развитие сообществ гидробионтов в речных водохранилищах. В этой связи представляется интересным сравнить динамику фосфорных соединений в экосистемах этих водных объектах, сходных по гидрологическим характеристикам. Такое исследование может выявить новые аспекты при анализе конкретных водных объектов, продвинуться в поиске аналогов при прогнозировании экологических последствий создания новых водохранилищ.

Материалы и методы

В работе [2] сформулирована классификация водохранилищ, в соответствии с которой выделяются три группы: долинные, котловинные и смешанные. В связи с различиями в рельефе их делят на равнинные, предгорные, горные и высокогорные. В исследовании далее будут рассмотрены Новосибирское и волжские водохранилища (Горьковское, Волгоградское, Иваньковское и Угличское). Основным аргументом их выбора в контексте исследования является относительно высокий внешний водообмен, который проявляется при анализе гидрологических характеристик Новосибирского водохранилища. Кроме того, все названные водоемы являются равнинными, речными и долинными. Близки и морфометрические особенности выбранных для сравнения водных объектов: ассиметричные вдоль направления течения, вытянутые, с наибольшей глубиной в нижней части.

Все пять рассматриваемых объектов осуществляют сезонное регулирование стока. По режиму эксплуатации Новосибирское водохранилище - ближе к Горьковскому и Волгоградскому – с неглубоким регулированием стока. Осо-

бенности эксплуатации Иваньковского водохранилища во многом определяются его ролью охладителя Конаковской ГРЭС, через тепловые агрегаты и установки которой проходит 0,7 км^3 воды, или 87 % полезного объёма водохранилища.

Структура водных масс – гетерогенная, состоит из водных масс озерного типа и речных фаз стока. В течение года у водохранилищ выделяют три главных периода: зимний, весенне-летний прогрев и осеннее охлаждение. Температура воды в разных акваториях водоемов в рассматриваемый момент времени может существенно отличаться. Средняя по всему объему в течение года меняется в пределах от 0°С до 27°С. Термическая стратификация - динамически нерегулярная и не возникает в верхних частях водоемов.

Ряд гидрологических характеристик пяти вышеназванных водохранилищ, подтверждающих приведенные утверждения о сходстве, сведены в таблице 1. При этом надо отдавать отчет, что полные аналоги в природе, как правило, найти невозможно. Рассматриваемые водохранилища существенно отличаются и по НПУ, и УМО, и по среднегодовому стоку. Кроме того, климатические и геохимические условия, в которых существуют волжские водохранилища, отличаются от таковых для Новосибирского. Вместе с тем сопоставление условий трансформации соединений фосфора в них может привести к содержательным выводам.

Для получения недостающих значений при сравнении показателей в данном исследовании была выполнена модельная оценка средних концентраций и коэффициента накопления форм фосфора в Новосибирском водохранилище в 1981 г. Ее следует считать косвенной в связи с отсутствием данных наблюдений по общему фосфору и его органическим формам. Недостающие средние величины берутся из результатов моделирования циклов трансформации биогенных веществ в условиях Новосибирского водохранилища 1981 г. в нульмерном приближении [3-4]. Полученные таким образом условные характеристики сравниваются с результатами расчетов и наблюдений для волжских водохранилищ.

Годовая изменчивость восьми переменных C_i, (рис. 1) моделируется для процессов биогеохимической трансформации биогенных соединений, а также кислородного режима. Эти переменные относятся к водной толще, соответственно: F – биомасса фитопланктона; $N\text{-}NH_4$, $N\text{-}NO_2$, $N\text{-}NO_3$ – минеральные формы азота; D – взвешенные вещества; C – растворенные органические вещества (ОВ); I – минеральный P; O_2 – кислород. Еще шесть переменных добавляется в расчетах для взаимодействия водной толщи с донными отложениями. Это растворенные органические вещества (C_B), участвующие в обменных процессах; интерстициальные формы фосфора (P_B), азота (N_B) и сорбированные - на твердой фазе (P_S и N_S). Пассивные ОВ в составе донных отложений (ДО) обозначаются переменной C_N.

Уравнения модели «Биоген» при описании трансформации соединений выглядят следующим образом:

$$\frac{d(C_i \cdot W)}{dt} = W \cdot R_i + Q_+ \cdot C_{+i} - Q_- \cdot C_i + J_i \cdot \Omega + G_i \cdot L, \quad (1)$$

где i = F, NH4, NO2, NO3, D, C, I, O2; W – объем водохранилища; t – время; R_i – скорость биохимической трансформации соответствующего соединения C_i; Q^p и C_i^p – расход реки и концентрации компонентов в ней; Q_- – расход попуска из водохранилища; J_i – массовый поток на межфазной поверхности; Ω – площадь зеркала водохранилища; G_i – боковая нагрузка, характеризующая поступления с берегов; L – длина береговой линии водохранилища. В исследовании использованы полный вид членов R_i и значения внутренних параметров модели «Биоген», приведенные в работе [4].

Комплексное изучение Новосибирского водохранилища в 1981-1982 гг. [5] позволило получить набор данных, необходимый для предварительного модельного описания процессов в экосистеме водохранилища и калибровки модели [5]. Эти данные характеризуют водный и термический режимы, морфометрию и актинометрию водохранилища.

Как известно, фосфор – важнейший биогенный элемент, требуемый для развития всех видов гидробионтов. Его присутствие, как уже упоминалось, часто лимитирует развитие водных микроорганизмов и определяет скорости биохимической трансформации органических веществ. В водохранилищах долинного типа с удлиненной, вытянутой формой в плане, как правило, лимитирующим фактором служит содержание фосфора [6].

Для получения результатов данного исследования использовалась модельная оценка составляющих баланса соединений фосфора, рассчитанная в [3-4]. Результаты моделирования, как уже было отмечено, служат косвенной оценкой в отсутствии надежных данных наблюдений, вместе с тем ее использование порой позволяет продвинуться в понимании механизмов процессов, наметить направление будущих уточняющих исследований.

Таблица 1

Гидрологические характеристики рассматриваемых водохранилищ*

	В	Г	И	У	Н
Координаты плотины: широта/долгота	48°/44°	59°/43°	54°/38°	57°/38°	54°/82°
Расположение на реке	Волга	Волга	Волга	Волга	Обь
Год создания	1960	1957	1937	1940	1959
Нормальный подпорный уровень (НПУ)/уровень мертвого объема, м	15/12	84/80	124/11 9,5	113/10 7,5	113,5/1 08,5
Площадь зеркала при НПУ, км^2	3117	1591	327	249	1070
Объем при НПУ, км^3	31,45	8,8	1,12	1,24	8,8
Полезный объем, км^3	8,25	2,8	0,81	0,81	4,4
Длина/средняя ширина, км	540/5,8	430/3,5	134/2,2	146/2,2	200/10
Максимальная глубина, м	41	22	19	22	25
Средняя глубина, м	10	5,5	3,4	5	9
Среднегодовой сток, км^3	260	49,5	9,23	10,96	52
Коэффициент водообмена, среднемноголетний, год$^{-1}$	7,57	6,1	10,6	9,7	6,67

*Примечание: * – использованы данные [7-12]; В – Волгоградское; Г – Горьковское; И – Иваньковское; У – Угличское; Н – Новосибирское.*

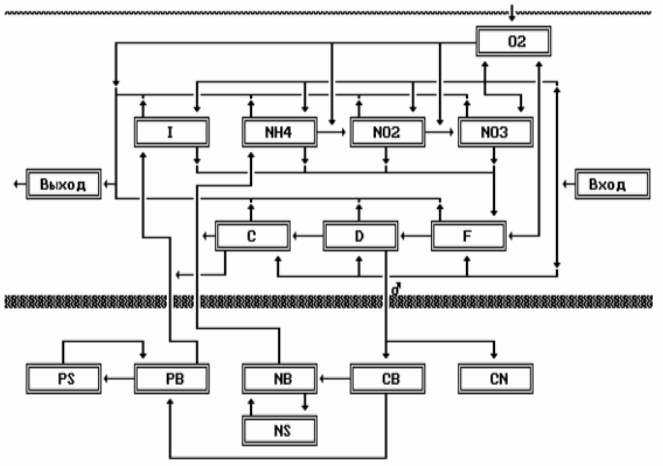


Рис. 1. Схема биохимической трансформации компонентов водной экосистемы, описываемая моделью «Биоген»

Результаты и их обсуждение

Известно, что в водоемах происходит накопление фосфора, связанное с тем, что общая величина внешней фосфорной нагрузки, как правило, всегда больше выноса фосфорных соединений из рассматриваемого водного объекта. Это объясняется потреблением фосфатов гидробионтами, а также оседанием взвеси на дно, где происходит ее разложение с последующим поступлением в водную толщу вновь.

Коэффициент накопления (седиментации, в первоисточнике) общего фосфора в водохранилище K_c определяется как [6]

$$K_c = K_в K_р /(1 - K_р),$$

$$K_р = (P^+ - P^-)/P^+$$

где $K_в$ – коэффициент внешнего водообмена, P^+ и P^- - приток общего фосфора в водохранилище и его сток с попуском в нижний бьеф.

Обобщенные данные по минеральному и общему фосфору в рассмотренных водохранилищах приведены в таблице 2. Использованы расчетные данные по волжским [6] и Новосибирскому водохранилищам [3-4]; результаты наблюдений из [5-6, 10, 13]. Поскольку наблюдения осуществлялись нерегулярно, приходится допускать, что рассчитанные по данным специальных гидрохимических исследований составляющие баланса фосфора в той или иной мере отражают среднемноголетние условия. Это допущение, несомненно, делает подобные расчеты весьма приближенными. Однако они, в основном, укладываются в типичные для водохранилищ интервалы. В работе [3] оценена внешняя фосфорная нагрузка L_P (тР/год) на Новосибирское водохранилище в 1981 г., что позволяет сравнить полученную величину с соответствующими характеристиками четырех волжских водохранилищ (табл. 2).

Новосибирское водохранилище в 1981 г. было олиго-мезотрофным водоемом [5], а потому скорости биогеохимического цикла трансформации соединений фосфора были более умеренными по сравнению с характерными показателями эвтрофирования волжских водохранилищ, которые на период наблюдений относились к мезотрофным и эвтрофным водоемам. Это обусловливает относительно низкие величины накопления и концентрации общего фосфора в Новосибирском водохранилище.

Расчетная средняя концентрация фосфатов в указанном водоеме, в целом, укладывается в диапазоны данных остальных рассматриваемых объектах и более чем другие приведенные в таблице значения соответствует результатам наблюдений на сибирском водоеме [5]. Вместе с тем достаточно интересным выглядит вопрос о причине высокого среднегодового содержания фосфатов в Новосибирском водохранилище по сравнению с мезотрофными Горьковским и Волгоградским, а также близкими по этому показателю - к эвтрофными Иваньковским и Угличским.

Таблица 2

Характеристики фосфора в пяти водохранилищах*

Водохранилище	L_P, тР/год	K_c, год$^{-1}$	Фосфор, мгР/м^3			
			минеральный		общий (среднее)	
	расчет	расчет	расчет	наблюдения	расчет	наблюдения [6]
Волгоградское	19231	1,9	-	(0-68)/14 [13]	76	86
Горьковское	4290	0,2	-	(0-75)/12 [10]	88	91
Иваньковское	1072	5,7	-	(29-87)/49 [10]	89	101
Угличское	1582	2,4	-	(0-85)/46 [10]	113	100
Новосибирское	3720	1,6	32	(0-290)/44 [5]	51	-

Примечание: в числителе – диапазоны изменений, в знаменателе – среднее; « - » – отсутствие данных.

Среднегодовой водный сток Волгоградского водохранилища, судя по данным таблице 1, превышает этот показатель выбранных для сопоставления других четырех водных объектов от 5 до 25 раз. Это, а также влияние других важных факторов, таких как площадь водосборного бассейна и интенсивность антропогенной деятельности на его акватории, приводят к тому, что общая фосфорная нагрузка на Волгоградское водохранилище в разы больше, чем аналогичные показатели для других рассмотренных водных объектов. Однако Новосибирское водохранилище более близко к Волгоградскому, чем к остальным водохранилищам, по показателю накопления фосфора. Эта особенность также заслуживает специального рассмотрения в будущем.

Представляется, что вышесказанное дает основание использовать результаты сопоставления водохранилищ, сходных по гидрологическим характеристикам, при анализе формирования качества вод, тем более в случаях неполной и недостаточной информации, что вынуждает пользоваться косвенными оценками. Кроме того, возникают открытые вопросы для новых исследований, изучение которых может привести к лучшему пониманию процессов и их механизмов в экосистемах водохранилищ.

Для рассмотренной задачи изучение особенностей экосистем волжских водохранилищ имеет бóльшую историю, наверняка опыт их исследований содержит качественные и количественные эффекты, которые еще предстоит оценить для случая Новосибирского водохранилища. Особенную важность упомянутым аспектам развития исследований придает достаточно распространенная практика оценки экологических последствий зарегулирования стока сибирских и дальневосточных водохранилищ, при проведении которой принципиально важным становится выбор аналога будущему объекту по характеру экосистемных процессов.

Выводы

Сопоставление характеристик изменчивости фосфорных соединений для Новосибирского и волжских водохранилищ, сходных по ряду гидрологических показателей, произведено на основе балансовых соотношений.

При отсутствии результатов наблюдений может быть использовано имитационное моделирование для косвенных оценок недостающей информации. Сопоставление содержания фосфора в Новосибирском водохранилище с данными хорошо изученных волжских водохранилищ позволяет дополнительным образом верифицировать результаты, полученные при имитационном моделировании в случае неполной и неточной информации.

Показано, что анализ опыта исследования указанных экосистем может быть полезен при постановке задач для Новосибирского водохранилища.

Особенную важность отмеченным выше аспектам развития методологии придает достаточно актуальная практика оценки экологических последствий зарегулирования стока сибирских и дальневосточных водохранилищ, при проведении которой принципиально важным становится выбор аналога будущему объекту по характеру формирования в нем качества воды.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ФГБУН «Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения РАН» при частичной финансовой поддержке РФФИ и Алтайского края (проект № 18-41-220002\19).

Список литературы

1. Soballe D.M., Threlkeld S.T. Advection, phytoplankton biomass, and nutrient transformations in a rapidly flushed impoundments // Arch. Hydrobiol. – 1985. – Vol. 105. – P. 187-203.

2. Эдельштейн К.К. Водные массы долинных водохранилищ. – М.: МГУ, *1991*. – 176 с.

3. Цхай А.А., Агейков В.Ю. Математическое моделирование процессов трансформации соединений азота и фосфора и изменчивости кислородного режима в водохранилищах // Водные ресурсы. – 1997. – Т. 24. – № 6. – С. 718-728.

4. Цхай А.А., Агейков В.Ю. Моделирование изменения уровня эвтрофирования водохранилища на основе воспроизведения биогеохимических циклов // Водные ресурсы. – 2020. – Т. 47. – № 1. – С. 105-113.

5. Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. – М.: Гидрометеоиздат, 1985. – 134 с.

6. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. – М.: ГЕОС, 1998. – 252 с.

7. Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – М.: ГЕОС, 1998. – 277 с.

8. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1991. – 223 с.

9. Многолетняя динамика водно-экологического режима Новосибирского водохранилища. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – 391 с.

10. Экологические проблемы Верхней Волги: коллективная монография. – Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 2001. – 427 с.

11. Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Кондакова О.В. Влияние Новосибирского водохранилища на формирование гидролого-гидрохимического режима Верхней Оби на зарегулированном участке // Вода и экология: проблемы и решения. – 2020. – № 1(81). – С. 51-62.

12. Вода России: научно-популярная энциклопедия. – URL: https://water-rf.ru/.

13. Шашуловский В.А., Мосияш С.С. Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2010. – 250 с.

References

1. 1. Soballe D.M., Threlkeld S.T. Advection, phytoplankton biomass, and nutrient transformations in a rapidly flushed impoundments // Arch. Hydrobiol. – 1985. – Vol. 105. – P. 187-203.

2. Edelshteyn K.K. Vodnye massy dolinnykh vodokhranilishch. – M.: MGU, 1991. – 176 s.

3. Tskhay A.A., Ageykov V.Yu. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov transformatsii soyedineny azota i fosfora i izmenchivosti kislorodnogo rezhima v vodokhranilishchakh // Vodnye resursy. – 1997. – T. 24. – № 6. – S. 718-728.

4. Tskhay A.A., Ageykov V.Yu. Modelirovaniye izmeneniya urovnya evtrofirovaniya vodokhranilishcha na osnove vosproizvedeniya biogeokhimicheskikh tsiklov // Vodnye resursy. – 2020. – T. 47. – № 1. – S. 105-113.

5. Kompleksnye issledovaniya Novosibirskogo vodokhranilishcha. – M.: Gidrometeoizdat, 1985. – 134 s.

6. Datsenko Yu.S. Evtrofirovaniye vodokhranilishch. Gidrologo-gidrokhimicheskiye aspekty. – M.: GEOS, 1998. – 252 s.

7. Edelshteyn K.K. Vodokhranilishcha Rossii: ekologicheskiye problemy, puti ikh resheniya. – M.: GEOS, 1998. – 277 s.

8. Vuglinsky V.S. Vodnye resursy i vodny balans krupnykh vodokhranilishch SSSR. – L.: Gidrometeoizdat, 1991. – 223 s.

9. Mnogoletnyaya dinamika vodno-ekologicheskogo rezhima Novosibirskogo vodokhranilishcha. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. – 391 s.

10. Ekologicheskiye problemy Verkhney Volgi: kollektivnaya monografiya. – Yaroslavl: Izd-vo YaGTU, 2001. – 427 s.

11. Savkin V.M., Dvurechenskaya S.Ya., Kondakova O.V. Vliyaniye Novosibirskogo vodokhranilishcha na formirovaniye gidrologo-gidrokhimicheskogo rezhima Verkhney Obi na zaregulirovannom uchastke // Voda i ekologiya: problemy i resheniya. – 2020. – № 1(81). – S. 51-62.

12. Voda Rossii: nauchno-populyarnaya entsiklopediya. – URL: https://water-rf.ru/.

13. Shashulovsky V.A., Mosiyash S.S. Formirovaniye biologicheskikh resursov Volgogradskogo vodokhranilishcha v khode suktsessii ego ekosistemy. – M.: T-vo nauchnykh izdany KMK, 2010. – 250 s.

ABOUT VARIABILITY OF PHOSPHORUS COMPOUNDS IN RESERVOIRS WITH SIMILAR HYDROLOGICAL CHARACTERISTICS

A.A. Tskhai

[1]*Institute for Water and Environmental Problems of the SB RAS, Barnaul, E-mail: tskhai@iwep.ru*
[2]*Altai State University, Barnaul*

The object of research is reservoir ecosystems. The aim of this work is expanding of the set of methods for studying the process of water quality formation. The results of comparison of the calculated characteristics for phosphorous compounds with the corresponding data of the Volga reservoirs, which are similar in a number of hydrological indicators to the Novosibirsk reservoir, are based on balance ratios. The research performed can be useful for applying of the method of comparison with analogs when setting tasks in the case of incomplete and inaccurate information, which forces the use of indirect estimates in the analysis.

Keywords: reservoir, mathematical model, hydrology, pollutants, transformation, biogeochemical cycle.

Received February 11, 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 Донцов[1], Алексей Викторович Звонцов[2]

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

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

Аннотация… 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.

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

Журнал
Известия Алтайского отделения
Русского географического общества

№ 1 (55) 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 6.03.2020. Дата выхода в свет 15.03.2020.
Формат 60x84 1/8. Печать − цифровая. П.л. 13,0
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+