

ПЯТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ

Доклады международной научной
конференции памяти
выдающегося русского ученого
Юрия Борисовича Виноградова

ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН

СБОРНИК



САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ



Санкт-Петербург

2023



Санкт-Петербургский государственный
университет

Сборник докладов международной научной
конференции памяти выдающегося русского
ученого Юрия Борисовича Виноградова

ПЯТЫЕ ВИНОГРАДОВСКИЕ ЧТЕНИЯ
ГИДРОЛОГИЯ В ЭПОХУ ПЕРЕМЕН

Санкт-Петербург, 5–14 октября 2023 г.

Под редакцией О. М. Макарьевой, П. А. Никитиной

Санкт-Петербург
2023

УДК 556
ББК 26.22
С28

- C23 Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского ученого Юрия Борисовича Виноградова «Пятые Виноградовские чтения. Гидрология в эпоху перемен» [Электронный ресурс]; Санкт-Петербург, 2023 год / под ред. О. М. Макарьевой, П. А. Никитиной. — СПб.: Изд-во ВВМ, 2023. — 689 с.

ISBN 978-5-9651-0730-8

Международная научная конференция «Пятые Виноградовские Чтения. Гидрология в эпоху перемен» памяти выдающегося русского ученого-гидролога Юрия Борисовича Виноградова проводится в Санкт-Петербургском государственном университете в 2023 году в пятый раз (2013, 2015, 2018, 2020). Она стала регулярной научной платформой для свободной дискуссии по проблемам развития гидрологии и поискам путей их преодоления, синтеза современных подходов в области изучения гидрологических процессов и их применения для решения фундаментальных и практических задач.

УДК 556
ББК 26.22

Book of proceedings of the international scientific conference in memory of the outstanding Russian scientist Yuri Vinogradov “Fifth Vinogradov Conference. Hydrology in the era of change” [Electronic resource]; St. Petersburg, 2023 / ed. O. M. Makarieva, P. A. Nikitina. — St. Petersburg: VVM Publishing House, 2023. — 689 p.

International scientific conference “Fifth Vinogradov Conference. Hydrology in the era of change” in memory of the outstanding Russian scientist-hydrologist Yuri Borisovich Vinogradov is held at St. Petersburg State University in 2023 for the fifth time (2013, 2015, 2018, 2020). It has become a regular scientific platform for free discussion on the problems of the development of hydrology and the search for ways to overcome them, synthesis of modern approaches in the field of studying hydrological processes and their application to solve fundamental and practical problems.

ISBN 978-5-9651-0730-8

© Макарьева О. М., Никитина П. А., 2023

Содержание

Моделирование среднесуточного расхода малых и средних рек России с помощью методов глубокого машинного обучения, Д. В. Абрамов	1
От отрицательной турбулентной вязкости к отрицательному гидравлическому сопротивлению? А. М. Алабян	6
Численное моделирование замерзания воды в ледниковой трещине, М. М. Андреев, М. М. Степанова	12
Оценка изменения стока рек Восточной Сибири под влиянием изменения климата, Д. А. Андреева	18
Структура водопользования в городах России, Н. Д. Ахмерова, О. Н. Ерина*	23
Оценка доли ледникового стока в питании высокогорных рек Алтая с использованием изотопного метода, Д.В. Банцев, А. А. Овсепян, А.В. Козачек, К. Б. Чихачев	27
Разработка макета измерительной установки в LabVIEW для регистрации увеличения расходов воды и передачи информации по компьютерной сети, Ю. В. Безруких	31
Многолетняя изменчивость максимального стока рек бассейна Баренцева моря, В. А. Бирюкова, Л. С. Банщикова	38
Климатические изменения стока: есть ли методы выявления и учета? М.В. Болгов	44
Каталог ледниковых озер Киргизии, Таджикистана и Узбекистана, С. А. Бондарев, Д. А. Петраков	53
Обзор современных тенденций развития сетей гидрологических наблюдений, С.В. Бузмаков, А. В. Южно, А.А. Осташов, А. С. Лубенцов	58
Гидрологические характеристики большого молодого Богучанского водохранилища по данным полевых исследований 2021–2023 гг., А. Н. Василенко, В. Ю. Григорьев, И. А. Репина	64
Современное состояние исследований тепловых процессов в реках и термического режима рек в России и мире, А. Н. Василенко, Д.В. Магрицкий, Н. Л. Фролова	70
Межгодовые изменения качества вод р. Волга на различных участках, З. В. Волкова, Д.В. Ломова, Е.Р. Кременецкая	75
Организация сети гидрологических наблюдений на водосборах горных и предгорных рек, Е. В. Гайдукова, А. В. Плеханова, Н.А. Решин, И.О. Винокуров	80
Динамика озер в высокогорье горного массива Таван-Богдо- Ола (Алтай), Д. А. Ганюшкин	86
Активизация седей в верховьях бассейна р. Яна в июле 2022 года, Ю.В. Генсиоровский, В.А. Лобкина, Л. Е. Музыченко, А. А. Музыченко, М. В. Михалев	92
Анализ и прогноз высших заторных уровней воды на реке Печора в створе с Усть-Цильма, Н. И. Горошкова, А.В. Стриженок, Д. А. Семенова	97
Результаты исследования внутриводоемных процессов Ивановского водохранилища в различные годы и сезоны, М. Г. Гречушникова, И. Л. Григорьева*, Д. В. Ломова, Е. Р. Кременецкая, А. Б. Комиссаров, Л. П. Федорова, В. А. Ломов, Е. А. Чекмарева, Н. Ю. Панкова, П. Н. Терский	102
Приледниковые озёра в контексте проблемы несуществующих объектов, С. А. Грига, Г. В. Пряхина	108

Точность и однородность суточных сумм осадков на территории России по данным ERA5 , В. Ю. Григорьев, Н. Л. Фролова, М. Б. Киреева, В. М. Степаненко	112
Системное нормирование воздействий на водный объект: экологический статус водоема и его изменение при естественном и антропогенном воздействии , В. В. Дмитриев, В. Ю. Третьяков, Е.А. Примак, С.А. Седова, Е.А. Васькова, Е.С. Дудоркин, Н.А., Панютин, Э.В. Акулич	117
Гидрологические аномалии и закономерности донских половодий текущего столетия , В. А. Дмитриева, А. И. Сушков	123
О регуливающей роли подземного питания рек в формировании речного стока при изменении климата , С.А. Журавин, Е. В. Гуревич, М. Л. Марков	129
Моделирование стока с верхового болота с использованием сценариев изменения климата до 2060 года (на примере болота Ламмин-Суо) , А. Д. Журавлева, Т. В. Скороспехова, Л. С. Курочкина, Е.Н. Грек	135
Использование спутниковой альтиметрии в задачах гидродинамического моделирования уровня режима арктических рек , Е. А. Захарова, И. Н. Крыленко, П. П. Головлев, А.А. Лисина, А. А. Сазонов, Н. К. Семенова	141
Результаты исследований на научном стационаре Магаданской области , А. А. Землянскова, О. М. Макарьева, А.Н. Шихов, А.А. Осташов, Н. В. Нестерова	145
Комплексирование геофизических методов при изучении наледей , А. А. Землянскова, В. В. Оленченко, О.М. Макарьева, А.С. Калганов, А.А. Осташов, Н.В. Нестерова	152
Факторы, влияющие на динамику наледей в меняющемся климате, на примере Анмангындинской наледи , А. А. Землянскова, О. М. Макарьева, А.Н. Шихов	157
Моделирование уровня бессточного озера Чаны (Западная Сибирь) , А. Т. Зиновьев, О. В. Кондакова, А. В. Дьяченко, А.Н. Семчуков	161
Моделирование ледникового стока в условиях недостатка данных , Д. С. Зырянова, Г. В. Пряхина	166
Проблемы и опыт изучения опасных гидрологических событий в дельтах рек западного средиземноморья , М. В. Исупова, М. В. Михайлова, Е. Н. Долгополова	172
Первые результаты гидроэкологических исследований высокогорного озера Урасар (Республика Армения) , Л.Г Казарян, Л.Р. Гамбарян, И. В. Федорова, Г. Б. Федоров	178
Гидрологические последствия изменения климата в бассейне Ангары в 21 веке , А. С. Калугин, В. А. Гинзбург, И. Н. Крыленко, О.Н. Липка, О. В. Максимова, А.В.Мальнев, Ю. Г. Мотовилов, Н. О. Попова, А. П. Ревокатова	183
Моделирование стока Волги в период развития раннехвалынской трансгрессии Каспийского моря , А. С. Калугин, П. А. Морозова, Н. О. Попова	188
Закономерности распространения и морфометрические характеристики четковидных расширений русел в бассейне р. Бузудук , А. А. Камышев, А. М. Тарбеева	193
Автоматизация измерения скоростей течения при мониторинге водных объектов , А.А.Кацура, А.М.Алабян, В.М.Морейдо	199
Интеллектуальный анализ гидрологических данных: Влияние осенне-зимне-весенних температур и осадков на максимумы весенних половодий горных рек , Ю.Б. Кирста, И. А. Трошкова	205

Численное исследование условий осаждения взвеси в дельте Дона при нагонах, А. В. Клещенко, И.В. Шевердяев	211
Оценка факторов формирования притока весеннего половодья к водохранилищу Ириклинской ГЭС на р. Урал, Д. Е. Клименко	217
Подходы к определению модулей стока общего азота и фосфора с Российской части водосбора бассейна Балтийского моря, С.М. Клубов, В. Ю. Третьяков, В. В. Дмитриев, А.Р. Никулина	223
Проблемы устойчивого водопользования в бассейне реки Дон, Е. В. Колесникова, Т. С. Антоненко	229
Расчет и прогноз ледникового питания в речных бассейнах, В. Г. Коновалов	233
Влияние изменения климата и деградации оледенения на речной сток в высокогорной части бассейна р. Терек, Е. Д. Корнилова, И. Н. Крыленко, Е.П. Рец, Ю. Г. Мотовилов, И. А. Корнева, Т. Н. Постникова (Дымова), О.О. Рыбак	239
Загрязнение водных объектов в бассейне Дона сточными и возвратными водами и диффузным стоком с водосборов, Н.И. Коронкевич, Г. М. Черногаева, С. В. Долгов, Е. А. Барабанова, Е.А. Кашутина	245
Деление расхода воды по рукавам при разветвлении русла в лабораторных условиях, Е. М. Кривошеина, И. В. Вахрушев, Н.А. Саноцкая	249
Опыт расчёта притока талой воды к озеру Лоу (оазис Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида), М. Р. Кузнецова, Г. В. Пряхина	253
Внезапные ливневые паводки на Черноморском побережье Западного Кавказа и Крыма, Л.В. Куксина, В.Н. Голосов, П. А. Белякова, Е. Ю. Жданова, М. М. Иванов, А. С. Цыпленков, А. Л. Гуринов	257
Определение параметров излучин чётковидных русел на примере реки Кардаил (север Волгоградской области), А. А. Куракова, А. М. Тарбеева, В. В. Сурков	263
Подземные воды надмерзлотных субаэральных таликов и формирование речного стока в бассейне р. Шестаковка, Центральная Якутия, Л. С. Лебедева, В.В. Шамов	268
Сток воды с каменных глетчеров северного Тянь-Шаня, Республика Казахстан, Л. С. Лебедева, В. В. Гончаренко, В.М. Лыткин	273
Измерения расходов воды и учет водного стока в приливной устьевой области Северной Двины, С. В. Лебедева, Л.С. Одоев, Е.Д. Панченко, А.М. Алабян, Н.А. Демиденко, М. Льюменс, Л.А. Турыкин	279
Динамика стока Колымы в XXI веке под влиянием меняющегося климата, А.А. Лисина, А. А. Сазонов, И. Н. Крыленко, А. С. Калугин, Н. Л. Фролова	285
Применение трёхмерной модели для изучения распределения термодинамических и биохимических параметров во внутренних водоемах, В. А. Ломов, Д.С. Гладских, Е.В. Мортиков, Е. Е. Андросова, А. Ф. Селезнев, А. В. Законнова, В. И. Лазарева	291
Гидрологические риски небольших регионов в неустойчивых климатических условиях (на примере Беларуси), П.С. Лопух, А. А. Волчек, Ю.А. Гледко, О.О. Ровдо	296
Изменчивость гигантских наледей Северо-Востока в исторический период и современном климате, О. М. Макарьева, А.Н. Шихов, А. А. Землянскова, Н. В. Нестерова, А.А. Остапов, В. Р. Алексеев	303
Разработка методики краткосрочного прогноза гидрографов стока на основе метеорологической модели WRF и гидрологической модели Гидрограф на	308

примере рек Магаданской области, О. М. Макарьева, А. А. Землянскова, Н. В. Нестерова	
Движение меандра реки в условиях подвижки земной коры, О. Я. Масликова, И.И. Грищук	312
Исследование особенностей обводнения верхней части дельты Волги на основе двумерной гидродинамической модели, Д. А. Мигунов, П.Н. Терский, О.В. Горелиц	317
Подход к изучению деформаций русел полугорных рек (на примере рек бассейнов Кубани и Черного моря), Н. М. Михайлова, Л.А. Турыкин, Д.В. Ботавин	322
Долгосрочный ансамблевый прогноз стока весенне-летнего половодья в устье Печоры, В.М. Морейдо, К. И. Головнин	328
Современное состояние государственной гидрологической сети наблюдений в Арктической зоне РФ, О.В. Муждаба, А. В. Штанников, М. В. Третьяков	334
Особенности формирования и развития таликов на примере оазиса Холмы Ларсеманн (Восточная Антарктида), А. В. Немчинова, С. В. Попов, А.С. Боронина, Л.С. Лебедева, А.С. Бирюков	340
Исследование влияния добычи россыпного золота на формирование стока рек Магаданской области. Предварительные результаты, П. А. Никитина, О. М. Макарьева, А.Н. Шихов, А. А. Землянскова	349
Применение изотопного метода в горной гидрологии на примере озера Таможенное, Южно-Чуйский хребет, А. А. Овсепян, Д.В. Банцев	352
Пространственная изменчивость характеристик ледяного покрова Рыбинского водохранилища зимой 2022 года, О. В. Овчинникова, Н. Л. Фролова, А.А. Виногооров, Н. А. Петров	356
Маленькими шагами к большой науке, А.А. Осмоловская, А. В. Пименов, В. К. Герасимов, А. А. Роскова, С. А. Беляев	362
Гидродинамический режим гиперприливного эстуария малой реки Сёмжи: возможности 1D и 2D моделирования, Е. Д. Панченко, Т. А. Федорова	368
Шум потока как индикатор речного стока, А.Д. Пнюшков, С.В. Бузмаков, А. В. Юхно	373
Источники и механизмы поступления взвешенных наносов в дельту р. Лены, К.Н. Прокопьева, А. М. Тарбеева, С.Р. Чалов	379
Современные изменения стока рек Средней Сибири, Д.А. Прысов, А. В. Мусохранова	385
Содержание хлорофилла а в вегетационный сезон в Можайском водохранилище в 2012–2022 гг., Е. Д. Птицына, О. Н. Ерина	391
Оценка характеристик затопления в бассейне реки Томи при изменениях климатических факторов, А. Д. Разаренова, И. Н. Крыленко	396
Математическое моделирование прорывных паводков, образующихся при прорывах моренных озёр, В. А. Распутина, Г. В. Пряхина	402
Влияние городской инфраструктуры левобережья г. Томска на речную гидравлику р. Томь по результатам моделирования, Р. В. Романовский	409
Изменения крупнейших приледниковых озер Шпицбергена на рубеже XX и XXI вв., К. В. Ромашова, Р. А. Чернов	415
Современное гидролого-экологическое состояние озер залива Гренфьорд, К. В. Ромашова, И. И. Василевич, В.А. Брызгало, М. В. Третьяков	421
Статус и границы устьевых областей арктических рек, Е. В. Румянцева, О.В. Муждаба, М. В. Третьяков	427

Динамика подземного стока рек бассейна Северной Двины, А. А. Сазонов, В. Ю. Григорьев, О. М. Пахомова, Н. Л. Фролова	432
Использование модели HBV для оценки максимальных расходов воды, В. С. Салпанова	438
Разработка физико-статистической модели для прогноза половодья с использованием данных пространственно распределенных моделей атмосферных осадков (на примере реки Чумыш), С. Ю. Самойлова, О.В. Ловцкая, А.В. Кудишин	444
К вопросу об управлении рекреационными ресурсами прибрежных зон рек, озер и водохранилищ, А. Ю. Санин	450
Оценка трендов и силы корреляционной связи количества атмосферных осадков и объема стока рек на Окско-Донской низменной равнине, А. В. Семенова, М. Е. Буковский	455
Система среднесрочного прогнозирования стока рек России, Н. К. Семенова, Ю. А. Симонов, А. В. Христофоров	461
Анализ гидрологических условий как основа для выполнения прогноза развития русловых деформаций на примере реки Амур, О. А. Серова*, М.С. Хамитов, Н. С. Бакановичус, А. А. Лялина, А. А. Максимова, Д. Д. Тесленко, А. В. Пучкарюс	466
Особенности построения системы регламентации отведения взвешенных веществ в поверхностные водные объекты на основе учета стохастического характера их динамики, Т. Н. Синцова, А.П. Лепихин	472
Определение интенсивности изменения климата для более эффективных адаптационных действий в бассейне Аральского моря, В. И. Соколов, Б. Б. Алиханов	478
Параметризация химического стока городской реки Сетуни, Д. И. Соколов, М.А. Терешина, О. Н. Ерина	485
Оценка выноса основных загрязняющих веществ через замыкающий створ реки Сетунь, С. С. Соловьева, Л. Е. Ефимова, М.А. Терешина, О. Н. Ерина, Д. И. Соколов	491
Динамика снегозапасов в лесу и поле при современном климате, А.В. Сосновский, Н. И. Осокин	496
Оценка соблюдения нормативов допустимого воздействия на водные объекты бассейнов крупных рек севера европейской части России, А. А. Строков	501
Структура водосборов озер Беларуси как фактор их гидрохимического режима, Н. Ю. Суховило	507
Особенности калибровки пространственно-распределенной модели стока ЕСОМАГ для реки с преимущественно дождевым питанием, З. А. Сучилина, Б.И. Гарцман	513
Трансформация засушливых условий на территории Беларуси в период изменения климата, И. В. Тарасевич, Ю.А. Гледко, И. С. Данилович	518
Оценка скорости подледникового таяния Антарктиды на основе одномерной мультифазной модели, А. А. Тарасов, М. М. Степанова	524
Гидрологические наблюдения на четкообразных степных реках севера Волгоградской области, А. М. Тарбеева, И. В. Крыленко, В. В. Сурков, Н.М. Михайлова	530
Расчет многолетних характеристик речного притока к эстуариям рек Большая-Быстрая и Авъеваям для разработки стратегии защиты инфраструктуры	535

поселков Октябрьский и Корф на Камчатке, Терский П.Н., Жбаков К.К., Землянов И. В., Горелиц О.В., Мигунов Д. А., Панасенкова И. И., Фатхи М.О., Фомин В. В.	
Эмиссия метана из Зейского водохранилища в маловодных и многоводных условиях по данным натурных исследований 2021–2022 гг., П.Н. Терский, С. Л. Горин, С. А. Агафонова, И. А. Репина	541
Оценка уязвимости карстовых подземных вод к загрязнению: сравнительный анализ результатов применения различных методик на примере массива Ай-Петри (Горный Крым), С. В. Токарев	547
Установление границ подземно-карстовых водосборов в верховьях р. Бельбек (Горный Крым) методом трассерных экспериментов, С. В. Токарев, Г.Н. Амеличев, А.И. Середа, Е.В. Брага	553
Моделирование речной сети на основе цифровой модели рельефа (на примере Черноморского побережья Кавказа), В. Ф. Толкачева, Б.И. Гарцман	558
Результаты изучения состава и свойств грунтов селевых отложений в зоне многолетнемерзлых пород, Н. Н. Ухова, Ю.В.Генсиоровский	564
Методика георадиолокационного исследования ледяного покрова различного строения на затороопасных участках северных рек, М. П. Фёдоров, Л. Л. Федорова	570
Гидроэкологическое состояние озер национального парка «Русский Север» весной 2023 г., И. В. Фёдорова, Л. В. Кузнецова, М. Р. Кузнецова, А. В. Шорникова, А.Е. Оразалин, У. В. Гусельникова, С.С. Свирепов, А. А. Землянскова, П.С. Зеленковский	575
Использование данных реанализа для восстановления характеристик стока таежных рек в бассейне Енисея, Е. В. Федотова, И. В. Данилова, Т. А. Буренина	581
Международное управление водными ресурсами, Н. Л. Фролова	586
Оценка изменений гидрологического режима, потоков макрокомпонентов и органических веществ в системе болото-река в таежной зоне Западной Сибири под влиянием осушения и пирогенного фактора, Ю. А. Харанжевская	592
Аэрозоли и твердые частицы как приоритетные загрязнители водных объектов городских природных комплексов, А. П. Хаустов, М.М. Редина, А. С. Нартов, А.Ю. Тронец	597
Использование тяжелых изотопов кислорода и водорода в качестве естественных трассеров для определения доли талого стока в бассейне горной реки, В. А. Хомякова, Е.П. Рец, Е. Д. Корнилова, А.В. Козачек, А.А. Екайкин	603
Математическое моделирование кислородного обмена между атмосферой и озером во время развития термобара, Б. О. Цыденов	609
О надежности оценок лавинной опасности, П. А. Черноус	614
Гидрохимический портрет экстремального дождевого паводка на малых водосборах южного Сихотэ-Алиня, Дальний Восток России, Шамов В.В., Луценко Т. Н., Болдескул А.Г., Гарцман Б.И., Лупаков С.Ю., Губарева Т. С., Кожевникова Н. К., Юрченко С. Г.	620
Условия образования непромерзающих озеровидных расширений в четковидных руслах малых рек криолитозоны, Республика Саха (Якутия), В.В. Шамов, А. М. Тарбеева, Л. С. Лебедева, В. С. Ефремов	626
Паводки и осадки на реках Северо-Западного Кавказа в 1970–2022 годах, растут или падают? И.В. Шевердяев, С.В. Веневский	632

Геоморфологические признаки изменения водности рек Приморья в позднем голоцене, Е. А. Шекман	638
MNDWI и интенсивность затопления как геоэкологические показатели изменения окружающей среды аллювиальных маршей Аль-Ховиза юго-восточного Ирака, В. А. Широкова, Х. Х. Аль-Нуссаири, В. И. Нилиповский	642
Современные особенности формирования маловодий в бассейнах Дона и Урала, И. О. Ширшова	650
Загрязнение Чудско-Псковского озера биогенными веществами (по данным за 2003–2020 гг.), К.А. Шихирина, О.В. Задонская	656
Спутниковое картографирование негативного воздействия золотодобывающих предприятий на природную среду криолитозоны (на примере Магаданской области), А.Н. Шихов, П. Г. Илюшина, О. М. Макарьева, А. А. Землянскова	662
Расчет снегонакопления в бассейне р. Камы на основе глобальных моделей численного прогноза погоды и реанализа, А.Н. Шихов, Е. В. Пищальникова, Н.А. Калинин	668
Последствия потенциального прорывного паводка и селевого потока в долине р. Хозгуни (Памир) по результатам сценарного моделирования, В. А. Юдина, С.С. Черноморец, В. М. Кидяева, К. С. Висхаджиева, И. В. Крыленко, Е.А. Савренюк, А.Г. Гуломайдаров, И.И. Зикиллобеков, У.Р.Пирмамадов, Ю.Х. Раимбеков	673
Моделирование прорыва озера Бирджал-Чиран-2006–5 в 2006 году на северо-восточном склоне г. Эльбрус, В. А. Юдина, В. М. Кидяева, С.С. Черноморец, И. В. Крыленко	678
Оценка возможности прогнозирования характеристик заторов льда на основе методов машинного обучения (на примере реки Сухоны), Цуй Юйсюань, Н. Л. Фролова, Н. К. Семенова	682
Динамика стока реки Охта в районе г. Мурино, А.А. Ярмалоян, Е. С. Урусова	686

Системное нормирование воздействий на водный объект: экологический статус водоема и его изменение при естественном и антропогенном воздействии

В.В. Дмитриев^{1*}, В.Ю. Третьяков^{1,2}, Е.А. Примак², С.А. Седова¹, Е.А. Васькова³,
Е.С. Дудоркин¹, Н.А. Панютин¹, Э.В. Акулич¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

²Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

³Акционерное общество Группа компаний Шанэко Москва, Россия

v.dmitriev@spbu.ru

Аннотация. Рассматриваются теоретико-методологические положения, метод и примеры интегральной оценки экологического статуса водоемов. Под экологическим статусом (ЭС) понимается эмерджентное (интегративное) свойство водного объекта, характеризующее сочетание его способностей: 1 – продуцировать органическое вещество (продукционный потенциал, трофность, трофический статус); 2 – изменять химический и биологический состав, качество и токсическое загрязнение воды; 3 – сохранять потенциальную устойчивость (устойчивость к изменению физико-географических параметров, климатических особенностей, гидрологического режима). В качестве методов интегральной оценки использовались: метод сводных показателей (композитных индексов) и метод рандомизированных сводных показателей (с использованием системы поддержки принятия решений "АСПИД-3W" - многокритериальная оценка вероятностей на основе экспертных нечисловых, неточных и неполных знаний). На основе формулировки и проверки ряда гипотез рассматривается совершенствование технологии построения интегральных показателей экологического статуса (ИПЭС). Формулируется представление о «норме воздействия» на водную экосистему. Предложена методика оценки нормы воздействия и/или проверки допустимости воздействия на основе сравнения ИПЭС до и после воздействия. ИПЭС после воздействия рассчитываются в примерах на основе гипотетических сценариев или по результатам имитационного моделирования водных экосистем. Рассмотрены этапы оценки воздействия на водную экосистему на основе сочетания методов имитационного моделирования и метода сводных показателей.

Ключевые слова: экологический статус, экологическое благополучие, интегральная оценка, системное нормирование.

System regulation of impacts on a water body: the ecological status of a reservoir and its change under natural and anthropogenic impacts

V.V. Dmitriev^{1*}, V.Yu. Tretyakov^{1,2}, E.A. Primak², S.A. Sedova¹, E.A. Vaskova³, E.S.
Dudorkin¹, N.A. Panyutin¹, E.W. Akulich¹

¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

³Joint Stock Company Shaneco Group of Companies Moscow, Russia

v.dmitriev@spbu.ru

Abstract. Theoretical and methodological provisions, method and examples of the integral assessment of the ecological status of water bodies are considered. Under the ecological status (ES), we mean the emergent (integrative) property of a water body, which characterizes the combination of its abilities: 1 – produce organic matter (productive potential, trophic status); 2 – change the chemical and biological composition, quality and toxic pollution of water; 3 – maintain potential stability (resistance to changes in physical and geographical parameters, climatic features, and hydrological regime). The following methods of integral assessment were used: the method of summary indicators (composite indices) and the method of randomized summary indicators (using the decision support system "ASPID-3W" – multicriteria estimation of probabilities on basis of expert non-numeric, non-exact and non-complete knowledge). Based on the formulation and testing of a number of hypotheses, the improvement of the technology for constructing integral indicators of ecological status (IIES) is considered. The concept of the "norm of impact" on the aquatic ecosystem is formulated. A technique for assessing the exposure rate and/or testing the acceptability of exposure based on a comparison of IIES before and after exposure is proposed. Post-impact IIES are calculated in the examples based on hypothetical scenarios or from simulations of aquatic ecosystems. The stages of assessing the impact on the aquatic ecosystem based on a combination of simulation modeling methods and the method of composite indices are considered.

Keywords: ecological status, ecological well-being, integrated assessment, system rationing.

Введение

Актуальность проблемы обусловлена выполнением Распоряжения Правительства РФ от 27.08.2009 N 1235-р (ред. от 17.04.2012) "Об утверждении "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года" [1], разработкой "Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642" [2]; систематизацией знаний, практик разработки, экспертизы и реализации проектов, связанных с преобразованием и управлением водными объектами в связи с развитием цифровизации в науках о Земле, природе, обществе. Решение подобной проблемы в странах ЕС с начала 2000-х гг. сопряжено с принятием, доработкой и адаптацией Европейской Рамочной Водной Директивы или Директивы Европейского парламента и Совета по установлению рамок действий Сообщества в области водной политики (Directive of the European Parliament and of the Council on setting the framework for Community action in the field of water policy) [3]. Основная цель Директивы в ЕС представляется, как достижение экологического благополучия или высокого экологического статуса для всех водных систем. Эта задача реализуется в виде разработки интегрированного подхода к решению проблемы оценки современного и перспективного состояния водных объектов (речных бассейнов), выделения экорегионов в странах ЕС.

Целью работы является разработка теории, методологии, математического аппарата и моделей интегральной оценки экологического статуса и экологического благополучия водных объектов для оценки их современного и перспективного состояния, выделения экорегионов и степени антропогенной трансформации водных объектов и их экосистем. Методология исследований базируется на авторском подходе к исследованию сложных систем в природе и обществе, их эмерджентных свойств и функций; методах построения композитных индексов и субиндексов, анализе и синтезе показателей в условиях дефицита информации о критериях и приоритетах оценивания

(АСПИД- и APIS- методологии), методах имитационного моделирования водных экосистем, разноаспектной ГИС-визуализации полученных результатов.

В перечень задач исследования входят следующие основные задачи: 1 - обоснование теоретико-методологических положений интегральной оценки экологического/геоэкологического статуса (ЭС/ГС) и экологического благополучия (ЭБ) водных объектов; 2 – разработка и апробация моделей интегральной оценки трофического статуса, качества и токсического загрязнения воды, потенциальной устойчивости, ЭБ водных объектов; 3 – разработка математического аппарата и моделей интегральной оценки экологического и/или геоэкологического статуса и экологического благополучия водных объектов для оценки их современного и перспективного состояния; 4 – проверка выдвигаемых гипотез о достаточности интегральной оценки трофического статуса, качества воды, потенциальной устойчивости для формирования представлений об ЭС водного объекта; 5 – проверка выдвигаемых гипотез о необходимости привлечения дополнительных параметров (субиндексов) для интегральной оценки ГС и ЭБ водных объектов с учетом их типа и специфики; 6 – разработка подходов к выявлению пределов устойчивости водных объектов к изменению параметров естественного режима и антропогенному эвтрофированию; 7 – разработка подходов к выявлению пределов устойчивости водных объектов к изменению параметров естественного режима и качества воды; 8 – разработка подходов к выявлению пределов устойчивости водных объектов к изменению ЭС и ЭБ при естественном развитии и внешнем воздействии на водный объект; 9 – разработка моделей учета экологических функций водных объектов, в первую очередь, продукционной и деструкционной, исследование их изменений при антропогенной трансформации водных экосистем; 10 – разработка рекомендаций и примеров учета приоритетов (отдельных субиндексов) в интегральной оценке системных свойств и функций; разноаспектной ГИС-визуализации результатов оценочных исследований ЭС и ЭБ.

Материалы и методы исследования

Рассмотрение большого количества документов, публикаций и обобщений по теме исследования, приведенных в [4; 5] показало, что в большинстве случаев подходы к оценке экологического состояния и качества окружающей человека природной и антропогенно-трансформированной среды не содержит теоретико-методологических обобщений и методов интегральной оценки сложных систем в природе и обществе и их эмерджентных (интегративных) свойств, характеризующих системные свойства и системные функции, их пространственно-временные проявления (эффекты). Индексология и индикаторный подход присутствуют в большинстве исследований на уровне индексов-маркеров, аналитических индексов (простые аналитические - результат нормирования; условные функционалы – индексы разнообразия и сходства; экспертные индексы – индексы качества среды; функция Харрингтона и ее аналоги, отражающие эффект триггерности). Таким образом, в основе большинства оценочных исследований содержатся многокритериальные оценки, недостатком которых является неопределенность интерпретации полученных результатов, когда по одному индексу (субиндексу) система попадает в один класс (продуктивности, качества, устойчивости, благополучия и др.), а по другим индексам (субиндексам) – в другой или другие классы. Системы индикаторов, которые используются управленческими структурами в зарубежных и отечественных оценочных исследованиях сложных природных (и общественных) систем также порождают неопределенность в результатах оценивания временной динамики развития системы. Процесс управления такими системами, основанный на мониторинге факторных показателей, расчете некоторых упомянутых индексов (зачастую, неоправданно большого их количества с представлением

итогового результата в виде балльной оценки), их анализе с учетом влияния на целевой индикатор на основе различных авторских подходов, прогнозе возможных изменений выбранных показателей не дает должного эффекта. В результате, по одному индикатору (набору индикаторов) выявляется положительная динамика развития, а по другому (другим) – стагнация (деградация, спад и т.п.) или негативные системные эффекты. В связи с этим следует признать, что реализация конкретных целей деятельности органов государственной власти в сфере планирования устойчивого развития регионов часто не является эффективной. Это также подтверждается имеющимися зарубежными публикациями. В одном из современных зарубежных обобщений, посвященных обзору более 1500 работ по индексам, разработанным для оценки «территориальных детерминант» с точки зрения охраны окружающей среды, авторами было выявлено более 20 пространственно-распределенных композитных индекса, в основу которых заложена информация о более 300 переменных. С точки зрения авторов статьи, это «может привести к сильной субъективности и ограничению возможности сопоставления различных оценочных результатов» [4].

Основы методики наших исследований были заложены в конце 1990-х гг. [6]. В авторских обобщениях и многочисленных примерах, рассмотренных и реализованных нами в серии публикаций, акцент в создании классификаций ЭС и ЭБ был сделан на разработку оценочных классификаций (моделей-классификаций) на основе обобщенных функций желательности, которые дают возможность одновременно отразить многокритериальность оценок и иерархичность сложной системы на основе иерархии субиндексов интегративных свойств с учетом недостатка информации о критериях и приоритетах оценивания. Исследовались, главным образом, водные экосистемы и геосистемы, их эмерджентные (сложные, неаддитивные, интегративные) свойства и функции, характеризующие системы в целом (современный или ретроспективный статус системы, ее системное благополучие, степень трансформации системы, устойчивость/уязвимость системы, и др.) в условиях достаточного информационного обеспечения или недостатка информации (с использованием неполной, неточной, нечисловой информации, т.н. «*ннн*-информации») о критериях и приоритетах в планировании управления системами. Также впервые были разработаны новые методы оценки воздействия на системы и их ответной реакции на воздействие. При решении этой проблемы исследователь нацелен на прогнозирование состояния сложной системы (и ее подсистем) на основе моделей системной динамики (имитационных моделей) и моделей интегрального оценивания. Совмещение подходов, позволило разработать новые методики системного нормирования воздействия на водные объекты [7-9].

Результаты и выводы

В качестве примера рассмотрим некоторые полученные результаты. Сформулированы и проверены следующие научные гипотезы.

Гипотеза 1 – о достаточности интегральной оценки трофического статуса, качества воды (и донных отложений), устойчивости водного объекта для формирования представлений об ЭС водного объекта [7; 9].

Гипотеза 2 – о необходимости привлечения дополнительных параметров для интегральной оценки ЭБ водных объектов с учетом их типа и специфики. Например, под экологически благополучной природной системой понималась система, способная: 1 – продуцировать органическое вещество в соответствии с исторической фазой развития; 2 – выполнять социально-экономические функции и функции жизнеобеспечения (средо- и ресурсовоспроизводство); 3 – являющаяся разнообразной по составу биоты и абиотической среды; 4 – чистой по химическому составу воды и гидробиологическим критериям качества воды; 5 – устойчивой к изменению

параметров естественного (и антропогенного) режимов; 6 – способной к самоочищению; 7 – обладающей низкой скоростью загрязнения, ацидификации; 8 – способной сохранять названные свойства и функции достаточно долго в изменяющихся условиях среды и жизни организмов. Перечисленные свойства, учитываемые в оценочных классификациях, в других случаях, потребовали разработки дополнительных субиндексов и их учета в сводной оценке. В некоторых случаях количество учитываемых параметров обоснованно уменьшалось в связи с недостаточным информационным обеспечением работ. В любом варианте делалась попытка объединить био- и антропоцентризм в подходах к исследованию ЭБ [5; 8].

Гипотеза 3 – об использовании разных шкал устойчивости и разных моделей при оценке ЭС и ЭБ водоемов [5-9].

Гипотеза 3.1. Шкала потенциальной устойчивости, построенная для оценки ЭС, изменяется от неустойчивого класса (I класс) до устойчивого класса (V класс). При этом в первый класс по остальным группам признаков (трофический статус, качество воды) включаются параметры, характеризующие высокий ЭС водоема. Устойчивость в этом случае будет следовать принципу Ле Шателье-Брауна. При этом система постепенно адаптируется к новым условиям (устойчивость I типа, адаптационная). Следствием этого будет положение, при котором при прочих неизменных условиях более продуктивная экосистема малого водоема может оказаться более устойчивой к эвтрофированию, а более сапробная (токсобная) экосистема – более устойчивой к загрязнению. В этом случае устойчивая экосистема не должна ассоциироваться с экологическим благополучием (или высоким ЭС).

Гипотеза 3.2. При оценке ЭС больших водоемов, шкала потенциальной устойчивости будет изменяться от устойчивого класса (I класс) до неустойчивого класса (V класс). Гипотеза построена на предположении о том, что большие по площади и объему воды озера, а также глубокие водоемы, как правило, являются более устойчивыми к изменению параметров естественного режима (потенциальная устойчивость).

Гипотеза 3.3. *A priori* принимается предположение о том, что при оценке ЭС и ЭБ для любых водоемов, устойчивость будет изменяться, аналогично гипотезе 3.2, от устойчивый (I класс) до неустойчивый (V класс). В этом случае большая устойчивость водоема всегда будет свидетельствовать о его высоком ЭБ. При этом на второй план уходит то, что малые водоемы по результатам оценки, скорее всего, никогда не смогут характеризоваться I-м (наиболее устойчивым) классом.

Гипотеза 3.4. Интегральные оценки эмерджентных свойств и системных эффектов, выполненные на основе разных моделей-классификаций по одним исходным данным должны давать близкие результаты. Модели-классификации, в которых в качестве наилучшего класса используется близость результата нормирования к «0» и модели-классификации, в которых в качестве наилучшего класса используется близость результата нормирования к «1», должны давать один класс ЭС реального водоема.

Гипотеза 3.5. Учет в оценке ЭС потенциальной устойчивости на основе адаптационного подхода (I тип, непроточный водоем) и регенерационного подхода (II тип, с учетом проточности) не должен приводить к разным результатам.

Гипотеза 3.6. Модель-классификация оценки ЭС, построенная в предположении, что наиболее высокому статусу (I класс) в пределах Северо-Запада РФ должны соответствовать олиго-мезотрофные условия первичного продуцирования органического вещества в водоеме, наилучшее качество воды и наибольшая потенциальная устойчивость (принцип – «высокий статус – высокая устойчивость») и модель-классификация оценки ЭС, построенная в предположении, что наиболее

высокому статусу (I класс) должны соответствовать олиго-мезотрофные условия первичного продуцирования органического вещества в водоеме, наилучшее качество воды и низкая потенциальная устойчивость (на том основании, что чистые и малопродуктивные водоемы уязвимы к загрязнению и антропогенному эвтрофированию) не должны давать противоречивых результатов.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, грант № 23-27-10011, и при финансовой поддержке Санкт-Петербургского научного фонда.

Acknowledgments

The work was supported by Russian Science Fund, grant No. 23-27-10011, and by Saint Petersburg Science Fund.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 27.08.2009 N 1235-р (ред. от 17.04.2012) "Об утверждении "Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года" <https://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-27082009-n-1235-r/>
2. Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. N 642 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации" (с изменениями и дополнениями). Указ Президента РФ от 1 декабря 2016 г. N 642 "О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации" <https://base.garant.ru/71551998/>
3. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy Official Journal L 327, 22/12/2000. P. 1-73.
4. Brousmichea D., Occellia F., Geninb M., Cunya D., Derama A., Lanier C. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: Meeting the challenge of selecting relevant variables. Ecological Indicators. 111 (2020) 106023. URL.: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.106023>. (дата обращения: 03.02.2020).
5. Dmitriev V. V., Terleev, V. V., Nikonorov, A. O., Ogurtsov, A. N., Osipov, A. G., Sergeyev, Y. N., Kulesh, V. P., Fedorova, I. V. (2020). Global Evaluation of the Status and Sustainability of Terrestrial Landscapes and Water Bodies. Landscape Modelling and Decision Support, 231–253. doi:10.1007/978-3-030-37421-1_12
6. Александрова, Л. В., Васильев, В. Ю., Дмитриев, В. В., Мякишева, Н. В., Огурцов, А. Н., Третьяков, В. Ю., Хованов, Н. В. Многокритериальные географо-экологические оценки состояния и устойчивости природных и урбанизированных систем. ВИНТИ 2342V00, 2000 г. [Электронный ресурс].URL: <https://clck.ru/G5sC2> (дата обращения: 17.05.2019).
7. Седова С.А., Дмитриев В.В. Интегральная оценка экологического статуса водоема и нормы воздействия на его водную экосистему: Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института. Ростов-на-Дону, 2020. С. 254-259.
8. Седова С.А., Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Глушко А.А., Пленкина А.К. Оценка воздействия на водную экосистему и ее эмерджентные свойства на основе результатов имитационного моделирования и построения композитных индексов. Успехи современного естествознания. 2021. № 6. С. 132-142. DOI: 10.17513/use.37652
9. Архипов Д.Э., Едемский К.Е., Кожевникова С.И., Дмитриев В.В. Развитие мониторинга водных объектов на основе интегральной оценки экологического статуса и моделирования экологических функций. European Journal of Natural History. 2022. №2. С. 31-37.