

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ В ВОДАХ ЗАПОВЕДНИКА «КЕРЖЕНСКИЙ»: ОСОБЕННОСТИ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ

Ефимова Л.Е., Ерина О.Н., Ефимов В.А., Ломова Д.В., Соколов Д.И.

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

e-mail: ef_river@mail.ru

Аннотация. Результаты многолетних лимнологических исследований на территории Керженского заповедника показали, что основные факторы формирования и сезонной изменчивости химического состава воды озер – морфометрические характеристики озер, их положение в пойменно-руслевом комплексе: удаленность от реки и степень гидравлической связи с ней, ландшафтные условия водосбора. Рассмотрены связи между гидрохимическими показателями, сделаны их статистические оценки.

Ключевые слова: пойменные озера, сезонная изменчивость, гидрологические особенности, биогенные элементы, донные отложения

HYDROCHEMICAL INDICES IN WATERS OF KERZHENSKY RESERVE: FEATURES AND SEASONAL VARIABILITY

Efimova LE, Erina O, Efimov VA, Lomova DV, Sokolov DI

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: ef_river@mail.ru

Abstract. The results of long-term limnological studies in the Kerzhensky Reserve show that the main factors of formation and seasonal variability of chemical composition of water are the morphometric characteristics of lakes, their relation to the river and the landscape conditions of the catchment area. The relationship between hydrochemical indicators are considered, and their statistical estimates are made.

Keywords: floodplain lakes, seasonal variability, hydrological features, nutrients, sediments.

Введение. Россия обладает высоким водным потенциалом. Однако в связи с продолжающимся антропогенным воздействием на природную среду качество вод ухудшается. Для адекватной оценки происходящих изменений чрезвычайно важно знание фоновых характеристик воды. Эта задача во многом решается благодаря существованию ООПТ, в пределах которых современное состояние водных объектов можно считать «условно фоновым», позволяющем охарактеризовать основные геохимические черты поверхностных вод соответствующей территории. Данные о природных особенностях изменения гидрологических и гидрохимических характеристик водных объектов, полученные в ходе их мониторинга, задают значения параметров, при которых обеспечивается безопасность и нормальное существование водных экосистем.

Особое положение среди водных объектов ООПТ занимают пойменные озера, экологическое значение которых для пойменных ландшафтов сложно переоценить. Озера входят в пойменные геосистемы и распространены практически во всех ландшафтно-климатических поясах, зонах и регионах. Пойменные озера на ЕТР распространены широко, но существует не так много литературы, посвященной этим водным объектам. Хорошо изучены пойменные озера в бассейнах Жиздры (НП Угра) и Хопра (Хоперский заповедник).

Объекты. В среднем течении бассейна реки Керженец, типичной реки южно-таежных ландшафтов, расположен природный биосферный заповедник «Керженский». Гидрографическая особенность долины – наличие малых озер, широко распространенных в пойме реки, доля которых в общем числе озер бассейна реки Керженец превышает 70 %. Они имеют ряд общих типологических черт, характерных для водоемов данного типа. При этом они обладают специфическими гидролого-гидрохимическими особенностями, обусловленными влиянием природных факторов, основные из которых – плоский низменный рельеф территории, сложенной песчаными и супесчаными хорошо промытыми почвами, значительная залесенность и заболоченность. Эти факторы способствуют выравниванию внутригодового стока и формированию вод малой минерализации.

Среди многочисленных пойменных озер для исследования нами были выбраны водные объекты, расположенные в разных частях аккумулятивного пойменно-руслового комплекса (ПРК) реки. Эти озера названы нами «мониторами» или «реперными» озерами. Они расположены на зрелой пойме: в прирусловой (озера Нижнее Рустайское, Верхнее Рустайское), центральной (озера Калачик, Круглое) и притеррасной (озеро Чернозерье) пойменных зонах. Эти зоны находятся на разном расстоянии от русла реки. Озеро Черное находится на значительном расстоянии от реки на водосборной территории. Объектами исследования были также сама река и ее притоки, болото и четыре колодца. Последние дают представление о химическом составе подземных вод территории.

Материалы и методы. Лимнологический мониторинг в Керженском заповеднике был начат в 1998 г. Он включал в себя наблюдения за уровнем, температурой, электропроводностью, рН и цветностью воды объектов, представляющих разные типы вод данной территории: речных, озерных, болотных, почвено-грунтовых и подземных. В 2012 г. сотрудниками и студентами географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова были начаты и ведутся по настоящее время комплексные гидролого-гидрохимические исследования. За пятилетний период было проведено 11 гидролого-гидрохимических съемок. Работы выполнялись во все фазы водного режима: в зимнюю межень, весеннее половодье, летнюю межень и осенний период. Для соблюдения синхронности съемки проводились в максимально короткие сроки. Исследованные водные объекты – озера, реки, грунтовые и подземные воды (колодцы); были также отобраны пробы атмосферных осадков (снега и дождя) и пробы донных отложений из изученных озер.

При выполнении съемок измерялись температура, электропроводность, рН и щелочность воды, концентрация растворенного кислорода. В отобранных пробах оценивалось содержание главных ионов, микроэлементов, органических веществ и биогенных элементов. Анализ содержания главных ионов проводился методом капиллярного электрофореза [3]. Косвенные показатели содержания ОВ (ХПК, ПО и Цв воды), биогенные элементы (фосфор и кремний) определялись согласно [5]. Оценка потребления кислорода грунтами, а также концентрации фосфора, железа и марганца на границе «вода – донные отложения» производилась «методом трубок» [4]. Растворенные формы микроэлементов (железо и марганец) оценены методом атомной абсорбции после фильтрации через мембранный фильтр (0,45 мкм) и консервации проб.

Результаты. Гидрологический и гидрохимический режим озер долины Керженца определяется их положением в пойменно-руслевом комплексе: удаленностью от реки и степенью гидравлической связи с ней в период половодья, высотой и продолжительностью половодья. Озера, расположенные в прирусловой зоне поймы (В. Рустайское и Н. Рустайское) имеют постоянный контакт с рекой. Озеро Калачик расположено в центральной зоне поймы и взаимодействует с рекой в 85% случаев. Озеро Круглое расположено на 1 м выше отметки русла реки, поэтому оно «промывается водами половодья еще реже. При слабой гидравлической связи уровень воды в озерах снижается, наблюдается относительное увеличение долей атмосферного, почвенно-грунтового и подземного питания озера, что сказывается и на некоторых изменениях химического состава воды озер.

С использованием полученных по топографическим картам морфометрических показателей были вычислены величины удельного водосбора озер-«мониторов», определяющим водный баланс и водообмен, гидрологическую структуру водоема, соотношение доли аллохтонных и автохтонных веществ в формировании химического состава воды. В долине Керженца влияние водосбора заметно выше для озер, имеющих наименьшие площади акваторий (оз. Круглое).

Электропроводность воды является хорошим показателем для оценки как пространственных, так сезонных изменений, происходящих в водных объектах. По данным многолетнего мониторинга с 1996 происходило уменьшение среднегодовой электропроводности воды Керженца, но в 2007 г. значение данного показателя вновь

стало увеличиваться. Одновременно с этим отмечалось и снижение среднегодового уровня воды, что позволило сделать предположение о том, что в конце 2000-х годов в питании реки увеличилась доля подземного питания. Наблюдается уменьшение весенней составляющей стока, ее увеличение в меженный период, о чем свидетельствует увеличение коэффициента естественной зарегулированности, особенно характерной для территории Нижегородского Заволжья. Поскольку оз.Н. Рустайское имеет гидравлическую связь с рекой практически в течение всего года, то выявленная закономерность также обнаруживается при анализе средних годовых величин уровня и электропроводности воды этого озера. Для озер Круглое и Калачик четкая закономерность не выявлена, поскольку гидравлическая связь с Керженцем у этих озер существенно слабее. Сезонные различия электропроводности воды могут быть довольно значительны, увеличиваясь в межень более чем в 2 раза по сравнению с периодами повышенной водности, при этом внутригодовое распределение показателя в каждом из озер стандартно повторяется из года в год (рис. 1).

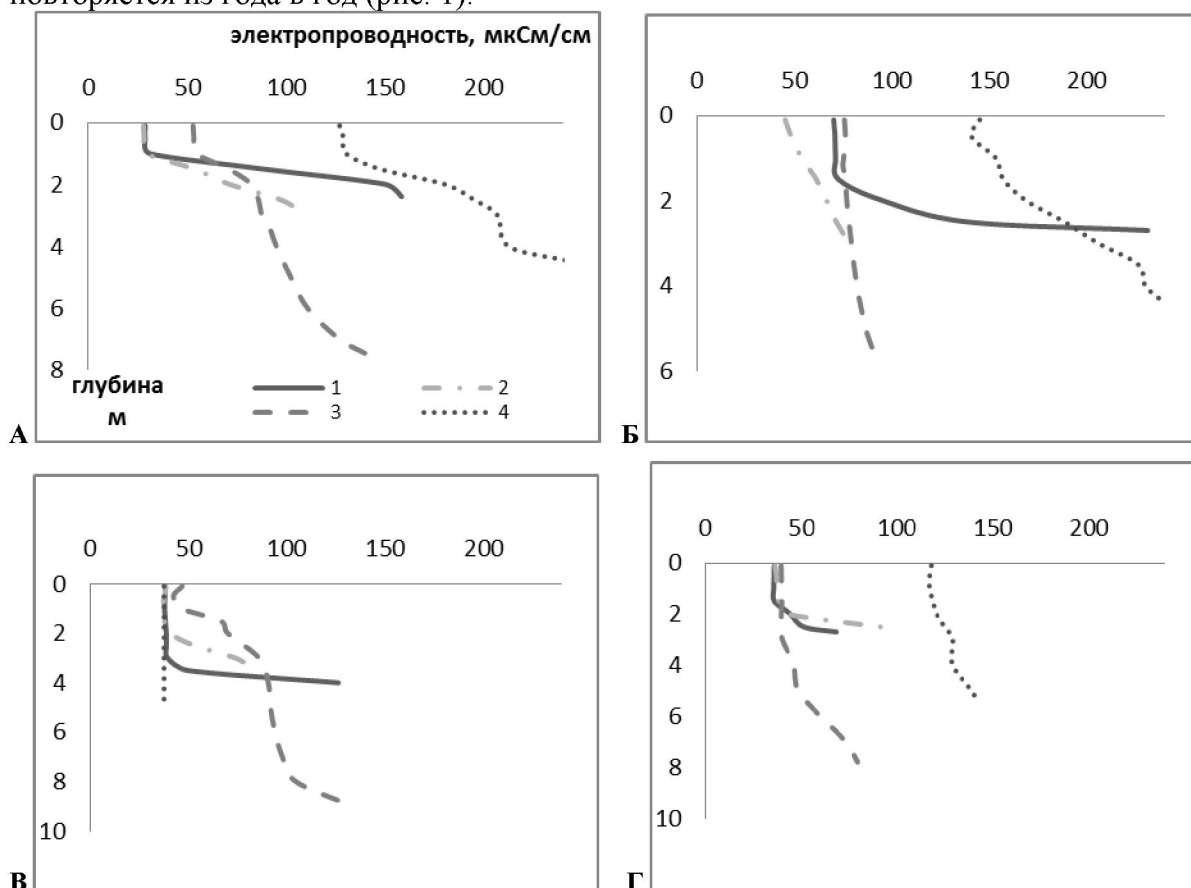


Рис. 1 – Вертикальное распределение электропроводности воды озер: 1 – оз. Чернозерье, 2 – оз. Калачик, 3 – оз. Круглое, 4 – оз. Н. Рустайское в разные гидрологические периоды (А – летняя межень, Б - зимняя межень, В – период половодья, Г - осенний период)

Анализ многолетних данных позволил сделать вывод о том, что чем ниже на пойме расположено озеро, тем более контрастно сезонное распределение электропроводности воды, а также других показателей ее химического состава. Электропроводность воды водных объектов отражает ее минерализацию, которая изменяется от 20 до 160 мг/л. Наименьшие величины фиксируются в поверхностных горизонтах озер, а наибольшие – в придонных слоях тех водных объектов, где происходит разгрузка подземных вод. Наши исследования показали, что воды малых озёр долины Керженца относятся по классификации О.А. Алекина к гидрокарбонатно-сульфатному классу, группе кальция и магния. Относительное содержание сульфатов возрастает на спаде половодья в результате выщелачивания из лесной подстилки и верхнего горизонта почвы продуктов разложения растительных и животных остатков, поэтому в воде озер Калачик и Круглое доли

гидрокарбонатных и сульфатных ионов в этот период бывают практически равны. Анализ содержания главных ионов в водах колодцев дает представление о подземных водах, питающих озера в меженный период. В период зимней межени в этих водах возможно увеличение содержания хлоридов и ионов натрия. Однако не удалось установить точный источник увеличения этих элементов в воде, поскольку оно может быть связано как с разгрузкой более глубоких подземных горизонтов, либо с антропогенным влиянием, поскольку колодцы расположены в пос. Рустай.

Содержание растворенного кислорода и степень насыщения им водной массы озер может приближенно рассматриваться как результирующая характеристика протекающих в водоеме процессов создания ОВ и деструкции ОВ созданного в водоеме и поступившего извне. Для продукционных процессов, которые могут активно протекать в пойменных озерах, насыщение водной толщи кислородом и его режим в течение года имеют очень большое значение. Аэрация воды в периоды весенней и осенней гомотермии отмечается не во всех озерах и часто прослеживается только до глубины 1-1,5 м. Летом кислород в ощутимых количествах присутствует лишь в верхней водной толще, создавая хорошие условия обитающим в старицах гидробионтам. По осредненным данным многолетних наблюдений летом толщина слоя воды, насыщенная кислородом, минимальна в оз. Круглое (1 м), максимальна – в оз. Черное (3 м). Речные воды аэрированы лучше, что обусловлено протекающими в реках процессами турбулентного перемешивания. При этом воды небольших притоков Керженца, характеризующиеся малыми скоростями течения и имеющие заболоченный водосбор, насыщены кислородом заметно меньше (р. Вишня – около 63 %). Деструкция максимальна в придонных горизонтах озер, а практически круглогодичная стратификация в озерах (рис. 1) приводит к истощению запасов O_2 и появлению кислородного дефицита ниже глубины 1–1,5 м. Существование зон гипоксии поддерживается повышенным содержанием органических веществ, поступающих с водосбора или захороненных в грунтах. Летом содержание растворенного кислорода в водной толще озер коррелирует с величинами рН ($R^2=0,89$). При этом сама концентрация кислорода зависит от прозрачности воды ($R^2=0,69$), которая связана с затененностью акватории озера и его морфометрическими параметрами. Затененность акватории озер определяется расположением стариц в разных зонах поймы, где преобладает та или иная растительность.

Обобщенные результаты выполненных съемок показали, что диапазон изменения рН в поверхностных слоях водных объектов-«мониторов» в среднем на 0,4 - 0,5 единиц больше, чем в придонных. Наибольшая амплитуда кислотности между поверхностными и придонными слоями характерна для озер Калачик и Н.Рустайское, что связано с разгрузкой в них подземных вод. Выявленной закономерностью можно считать тот факт, что во все гидрологические сезоны наименьшую кислотность имеют воды оз.Н.Рустайское.

Характеризуя газовый режим водных объектов территории, нельзя не отметить повышенное содержание диоксида углерода (CO_2), играющего важную роль в кислотно-основном равновесии природных вод. Сезонные изменения содержания диоксида углерода в воде озер хорошо выражены и характеризуются минимумом в конце весеннего – начале летнего периода и максимумом во вторую половину зимы. В период открытой воды CO_2 активно потребляется фотосинтезирующими водорослями и бактериями в поверхностных горизонтах озер, а в результате деструкции ОВ происходит его накопление в воде. В период ледостава значения данного параметра в водах достигают 15 мг/л и более вследствие отсутствия обмена с атмосферой, окисления растворенных в воде органических веществ, дыхания водных организмов и повышенной долей грунтовых вод в питании озер.

Керженский заповедник – это единственный район в Нижегородской области, где в естественном состоянии сохранились крупные торфяные болота, роль которых велика не только в водном балансе, но и в изменении гидрохимических показателей водных

объектов. Ландшафтные условия территории, на которых расположены исследуемые водные объекты, предопределяют значительную роль в химическом составе вод органических веществ гумусового происхождения.

Между косвенными показателями органического вещества в водных объектах заповедника существуют устойчивые связи. Тесная корреляция отмечена между прозрачностью и цветностью воды (-0,72), цветностью воды и ПО (0,91). Обобщающая связь между Цв и ПО устойчива для всех сезонов года. Если же рассматривать данные отдельных съемок, можно получить разные зависимости для разных водных объектов заповедника и разных сезонов. Для большинства вод данной географической зоны величина цветности воды озер, как правило, обусловлена не только присутствием органических веществ, но и присутствием в воде соединений железа, содержание которого максимально в придонных слоях озер и притоке Керженца реке Черной. Водные объекты, расположенные в бассейне этого притока, при величине ПО аналогичной данному показателю в пойменных озерах Керженца, характеризуются меньшей цветностью и повышенным содержанием железа. То есть «часть цветности» обусловлена содержанием в воде железа.

В зависимости от фазы водного режима цветность воды изменялась в разных водных объектах в широком диапазоне. В меженные периоды она меньше, чем в период половодья (особенно на спаде): от 35 до 65 ° в оз. Н. Рустайское, от 160 до 200 ° в оз. Круглое, от 500 до почти 700° Pt-Co шкалы в водах болота. В тех водных объектах, вода которых характеризовалась повышенной цветностью, отмечались и повышенные концентрации других косвенных показателей. Так, в среднем в летнюю межень для вод озера Н. Рустайское величина ПО составляла 5–9, ХПК – 15–22 мгО/л; для вод озера Круглое – соответственно 31–35 и 56–58 мгО/л. Вертикальное распределение ОВ в водах этих озер довольно равномерно, а в водах оз. Калачик значения всех показателей ОВ от поверхности ко дну увеличиваются в 2 раза, подтверждая двухслойную структуру водной массы этой старицы. Максимальные величины ПО и ХПК отмечены в воде болота (70-100 и 150-180 мгО/л соответственно). Пониженным содержанием ОВ в меженные периоды характеризуются воды Керженца. Наименьшее содержания ОВ фиксируется в водах колодцев. Цветность воды в колодцах невелика по сравнению с поверхностными водами, ее среднемноголетняя величина равна 25°Pt-Co шкалы, что в 2 раза меньше среднемноголетней цветности оз. Н. Рустайское и более чем в 15 раз меньше Цв болотных вод. Такие различия характерны для вод разных генетических категорий. Воды колодцев представляют собой верховодку или залегающие ниже ненапорные подземные воды, поэтому в сезоны повышенной водности они контактируют с поверхностными водами, а величина цветности возрастает в два и более раз. Пик цветности запаздывает почти на месяц по сравнению с пиком половодья, а наибольшую цветность имеют именно воды спада половодья (почвенно-поверхностные согласно классификации Воронкова). Рассчитанные косвенные соотношения ПО/ХПК позволяют приблизительно оценить качественный состав ОВ. Отношение ПО/ХПК в исследованных водных объектах среднем изменялось летом в диапазоне от 0,26–0,36 в воде оз. Н.Рустайское до 0,55 в воде озер Круглое и Калачик. Величина ПО, обусловленная преобладанием аллохтонных гумусовых веществ, увеличивается весной по сравнению с меженными периодами. Весной 2017 г. в водных объектах заповедника отношение ПО/ХПК изменялось в диапазоне от 0,52 до 0,65.

Кремний, будучи одним из самых распространенных элементов земной коры, содержится в различных глинистых минералах и песчаных отложениях, которые широко распространены на водосборах рек ЕТР. Однако, в виду невысокой растворимости соединений и способности к образованию гидроксидов при наблюдаемых в поверхностных водах рН, содержание SiO₂ в большинстве объектов меньше предела его растворимости. В речных и озерных водах бассейна Керженца кремний содержится в растворенной и коллоидной формах, сложно оценить кремний во взвешенной форме.

Содержание кремния в воде озер (пойменных и водораздельных) в 2 раза меньше, чем в воде самого Керженца. Уменьшение количества Si в озерных водах по сравнению с речными связано с потреблением этого элемента диатомовым фитопланктоном и его седиментацией в составе последнего и захоронением в донных отложениях. В весенне-летний период содержание Si в фотическом слое наименьшее по сравнению с другими сезонами (1–1,3 мг/л) и придонными слоями воды (различия достигают 5–7 раз).

Внутриводоемные процессы в озерах, в первую очередь, потребление водными организмами и седиментация, оказывают существенное влияние на содержание и изменение соотношений между формами такого важного биогенного элемента как общий фосфор. В поверхностных горизонтах пойменных озер фосфор практически круглогодично представлен органической формой. Ее доля в поверхностных слоях в летнюю межень может достигать 70 и более % вследствие потребления минерального фосфора фитопланктоном. Эта оценка довольно условна, поскольку не учитывает все формы фосфора, которые можно определить расчетным или аналитическим путем [6]. Очевидно, что с глубиной $P_{\text{мин}}$ во все гидрологические сезоны становится преобладающей формой, его относительное содержание возрастает до 50% и более. Очень высокие концентрации минерального (и, соответственно, общего фосфора), достигающие более 0,3 и почти 0,5 мг/л соответственно, отмечены в придонных горизонтах озера Круглое. Это может быть железосвязанный с гумусовыми веществами фосфор. Накопление минерального фосфора в придонных слоях озер в течение всего года обусловлено отсутствием перемешивания вод в весенний период (оз. Круглое), а также разгрузкой подземных вод (оз. Калачик и Н. Рустайское).

Содержание общего растворенного железа в речных и озерных водах заповедника высокое и составляет зимой до 4,5 мг/л, в период половодья концентрации на порядок ниже, а летом, как правило, наблюдается снижение содержания железа в поверхностных горизонтах озер и увеличение – в придонных горизонтах. Высокие концентрации растворенных форм фосфора, железа и марганца в придонной воде возникают в результате их поступления из донных отложений в условиях аноксии при изменениях окислительно-восстановительных условий, что подтверждают выполненные нами экспериментальные натурные исследования обменных процессов, протекающих на границе «вода-донные отложения». Верхний «жидкий» слой донных отложений, или так называемое «жидкое дно», содержит высокие концентрации железа (до 4 мг/л) и марганца (почти 0,5 мг/л). Значимая часть потока фосфора со дна может формироваться соединениями, высвобождающимися при деструкции органического вещества (ОВ) на поверхности донных отложений. Существует связь между потоком железа и потоком фосфора из донных отложений, в которых формируются восстановительные условия, приводящие к усилению поступления в воду железо-фосфатных комплексов, характерных для Fe (III) [2].

Поступление марганца из донных отложений помимо окислительно-восстановительных условий связано с толщиной и однородностью гиполимниона и исходной концентраций марганца в придонной воде. Выход марганца из донных отложений снижался с ростом концентрации растворенного марганца в придонной воде даже при аноксидных условиях, а при высоких концентрациях элемента наблюдается его поток из воды в грунты. В этих условиях заметный вклад в процесс обмена соединениями марганца между водой и донными отложениями вносят населяющие их бактерии, переводящие растворимый Mn (II) в нерастворимые формы [1].

Выводы. Гидрологический режим р. Керженец, разная продолжительность гидравлической связи пойменных озер с рекой – важнейший фактор, обуславливающий различия химического состава воды. Расположение старицы на пойме, возраст и величина проточности обуславливают содержание органических и минеральных веществ в ее донных отложениях.

Особенность кислородного режима пойменных озер долины Керженца – формирование зон дефицита O₂, сохраняющихся на протяжении всего года. Аэрация воды в периоды весенней и осенней гомотермии отмечается не во всех озерах и часто существует только до глубины 1–1,5 м.

Высокие концентрации минерального фосфора, железа, марганца в придонных слоях озер обусловлены устойчивой стратификацией, разгрузкой грунтовых вод, поступлением химических элементов из донных отложений в условиях аноксии.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 14-17-00155).

Литература

1. Ефимова Л.Е., Ломова Д.В., Кременецкая, Е.Р., Терская Е.В., Вишневская Г.Н. Об обмене марганцем на границе вода – донные отложения в Можайском водохранилище // Вода: химия и экология. – 2017. – № 2. – С. 80-87.
2. Комаров Н.В., Каменцев Я.С. Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель». – СПб.: Изд. «Веда», 2006. –212 с.
3. Мартынова М.В. Железо и марганец в пресноводных отложениях. – М.: Изд-во ИВП РАН, 2014. –214 с.
4. Романенко В.И. Микробиологические процессы продукции и деструкции органического вещества во внутренних водоемах. – Л: Наука, 1985. – 294 с.
5. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового Океана. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 202 с.
6. Рыжаков А.В., Зобкова М.В., Лозовик П.А. Особенности содержания и распределения форм фосфора в водоемах гумидной зоны // Труды Карельского научного центра Российской Академии Наук. Серия лимнология. –2016. – № 9. – С. 33-45.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОДНЫХ РЕСУРСОВ
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ СЕВЕРА
КАРЕЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО
И БИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ
ВО ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМАХ
И МОРСКИХ ВОДАХ**

Труды VI Всероссийского симпозиума с
международным участием
(28 августа – 1 сентября 2017 г., Барнаул)

Барнаул 2017

УДК 574.5 + 556.01
ББК 28.082 + 26.222.12
О.644

Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Труды VI Всероссийского симпозиума с международным участием. Барнаул, 2017. – 309 с.

ISBN 978-5-9909722-5-4

В сборнике публикуются материалы VI Всероссийского симпозиума с международным участием «Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах» (г. Барнаул, 28 августа – 1 сентября 2017 г.). В программу симпозиума вошли доклады по следующей тематике: источники поступления, содержание и распределение органического вещества и биогенных элементов в объектах гидросферы; трансформация и круговорот органического вещества и биогенных элементов в водных объектах; продукционно-деструкционные процессы в природных водах; биогеохимическое поведение органического вещества и биогенных элементов в водных экосистемах и его математическое моделирование.

Издание рассчитано на широкий круг специалистов в области гидрохимии, биогеохимии гидробиологии, водной экологии; преподавателей и студентов ВУЗов.

Редакционная коллегия:

Пузанов А.В., д.б.н.; Безматерных Д.М., к.б.н.; Зиновьев А.Т., д.т.н.; Кириллов В.В., к.б.н.; Папина Т.С., д.х.н.; Трошкин Д.Н., к.ф.-м.н.

*При подготовке материалов к публикации сохранен авторский стиль изложения с минимальными редакционными правками, в основном пунктуации и орфографии.
Ответственность за содержание материалов несут авторы.*

Печатается по решению оргкомитета конференции и при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-20220.

ISBN 978-5-9909722-5-4

© Институт водных и экологических
проблем СО РАН, 2017
© Коллектив авторов, 2017