

СОДЕРЖАНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ВОДЕ ПРИТОКОВ РУЗСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В ВЕСЕННИЙ ПЕРИОД

Соколов Д.И., Ерина О.Н., Терешина М.А.

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

e-mail: Dmitriy.Sokolov@yandex.ru

Аннотация. По результатам детальных наблюдений за окисляемостью воды основных притоков Рузского водохранилища в 2017 г. выявлены закономерности колебаний притока органических веществ в водохранилище в весенний период. Интенсивность смыва органических веществ с водосбора прямо пропорциональна водному стоку, однако эта связь зависит от характера половодья и паводков. Показаны различия формирования стока органических веществ на частных водосборах с различной степенью зарегулированности.

Ключевые слова: качество поверхностных вод, гидрохимический режим рек, органическое вещество, химическое потребление кислорода

ORGANIC MATTER CONTENT IN WATER OF THE RUZA RESERVOIR TRIBUTARIES IN SPRING

Sokolov D.I, Erina O.N, Tereshina M.A.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

e-mail: Dmitriy.Sokolov@yandex.ru

Abstract. Patterns of organic matter inflow in the Ruza reservoir in spring are described basing on the results of detailed observations of chemical oxygen demand in reservoir's main tributaries in 2017. Rates of organic matter wash-out from the catchment area are directly proportional to water flow amounts, but this relation depends on the character of spring flood and high-water periods. Difference in formation of organic matter flow in catchment areas with different runoff regulation extent is shown.

Keywords: surface water quality, hydrochemical regime of rivers, organic matter, chemical oxygen demand

Показатели содержания органических веществ (ОВ) – одни из приоритетных при мониторинге качества воды в системе водоснабжения г. Москвы. Основную часть аллохтонного ОВ, поступающего в водохранилища питьевого назначения с поверхностным стоком, представляют гумусовые вещества. Их избыток ухудшает качество воды, приводит к нарушениям внутриводоемного круговорота веществ (на окисление ОВ активно расходуется кислород, что приводит к его дефициту). Удаление из воды гумусовых ОВ связано с большими трудностями и затратами.

Наполнение большинства водохранилищ умеренных широт происходит в период весеннего половодья. При этом качество воды в водохранилищах в значительной степени зависит от качества речных вод, поскольку в половодье с речными водами в водоемы поступает до 50% и более годового притока аллохтонных органических, биогенных веществ, взвесей и др. [4].

В отличие от таких показателей, как минерализация, щелочность воды и др., для которых характерна обратная связь с величиной расхода воды, содержание ОВ в речной воде, напротив, прямо пропорционально водности периода, так как именно в фазы повышенного стока происходит наиболее интенсивный смыв этих веществ с водосбора. Эта связь водного и вещественного стока весьма изменчива и остается малоизученной.

Цель работы. Ранее нами были исследованы и параметризованы основные закономерности внутригодовых колебаний притока аллохтонных ОВ в весенний период [5] и в течение года [6] в головное водохранилище Москворецкой водохозяйственной системы – Можайское, водосбор которого расположен в верховьях речной сети. Однако, приток в большинство эксплуатируемых водохранилищ в той или иной степени зарегулирован (другими водохранилищами в каскадах или иными гидротехническими системами), что нарушает и усложняет естественный режим формирования качества поверхностного стока с их водосборов.

Цель настоящей работы – получить представление об особенностях весеннего режима притока ОВ с зарегулированного водосбора, отличающегося по условиям формирования качества поверхностного стока.

В качестве полигона для исследования выбран водосбор Рузского водохранилища – одного из четырех водохранилищ Москворецкой водохозяйственной системы. Оно интересно тем, что расположено на трассе переброски стока из бассейна р. Волги в бассейн р. Москвы и принципиально отличается от остальных водоемов системы по структуре водного баланса. Значительную часть поступления воды в Рузское водохранилище (более 50% в среднем за последние 20 лет) обеспечивает приток из Вазузской гидротехнической системы. Причем характер колебаний этого притока принципиально отличен от колебаний притока воды с частных водосборов водохранилищ системы, что связано с водохозяйственными потребностями: в многоводные годы переброска стока из Вазузской системы обычно уменьшается, в маловодные – увеличивается [1].

Материалы и методы. Для изучения характера поступления аллохтонного ОВ в Рузское водохранилище в весенний период нами организованы и проведены в феврале–мае 2017 г. детальные наблюдения на реках Рузе и Волошне – двух основных притоках водохранилища.

На р. Рузе наблюдения проводили в двух створах с целью оценить трансформацию речного стока на участке руслового тракта от плотины Верхнерузского водохранилища до впадения в Рузское водохранилище. Верхний створ расположен у д. Красное Село в 6 км ниже по течению от Верхнерузского гидроузла (рис. 1). Площадь водосбора в данном створе составляет $F = 340 \text{ км}^2$, из них 325 км^2 приходится на водосборную площадь Верхнерузского водохранилища и лишь 15 км^2 на боковой водосбор руслового участка ниже Верхнерузского гидроузла.

Нижний створ находится в 33 км ниже по течению относительно первого, у д. Чернево, в зоне выклинивания подпора Рузского водохранилища. К данному створу водосбор р. Рузы возрастает на 245 км^2 (до 585 км^2); таким образом, площадь бокового водосбора реки, не зарегулированного Верхнерузским водохранилищем, возрастает от верхнего створа к нижнему в 16 раз.

На р. Волошне наблюдения проводили у д. Чертаново, менее чем в 0,5 км выше действующего гидрологического поста Росгидромета ($F = 91 \text{ км}^2$).

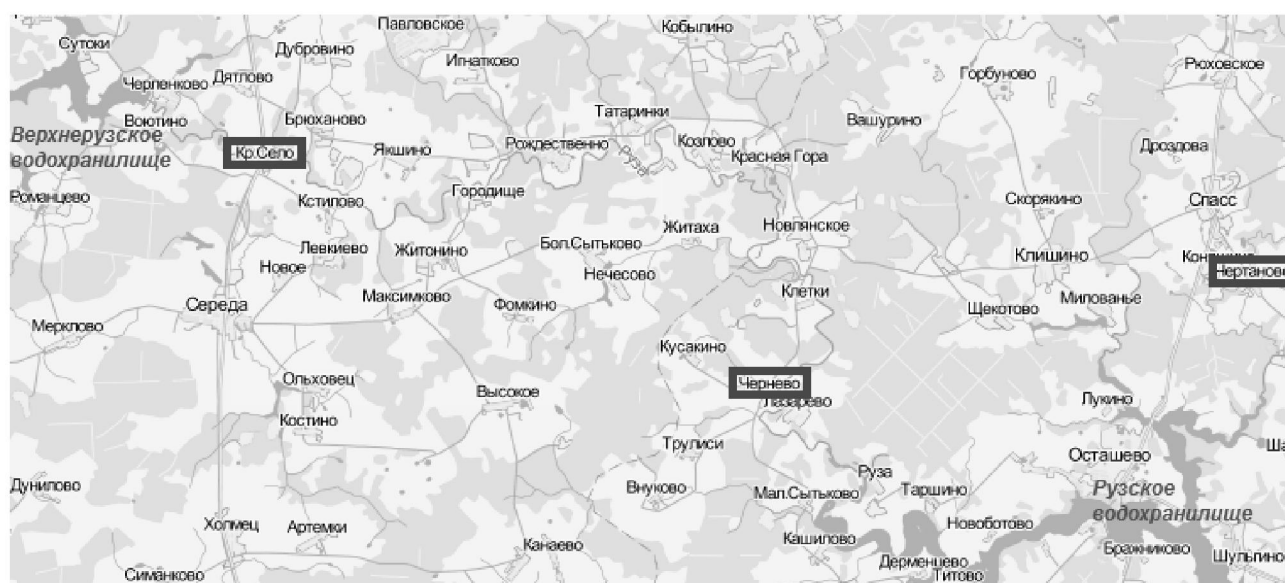


Рис. 1 – Местоположение пунктов наблюдения за содержанием ОВ на р. Рузе (д. Красное Село и д. Чернево) и р. Волошне (д. Чертаново)

На реках отбирали пробы воды несколько раз в месяц в зимнюю межень, ежедневно или через день во время прохождения половодья и с интервалом от 3 до 8 дней в конце спада половодья, осложненного паводками. В химической лаборатории Красновидовской учебно-научной базы географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова определяли в фильтрованных (через мембрану 0,45 мкм) и нефилтрованных пробах химическое потребление кислорода (ХПК) арбитражным методом бихроматного окисления [7] в модификации А.П. Остапени [3] и перманганатную окисляемость (ПО) методом Кубеля в кислой среде [2].

Полученные результаты. 2017 год характеризовался низким двуимодальным половодьем, осложненным на спаде дождевыми паводками (рис. 2). Во второй половине февраля наблюдались первые предвесенние оттепели с дождями и незначительное снижение снеготаяния на водосборе. В конце февраля – начале марта среднесуточные температуры воздуха превысили 0 °С, что привело к более интенсивному снеготаянию и увеличению поверхностного стока; начало подъема половодья пришлось на первую декаду марта.

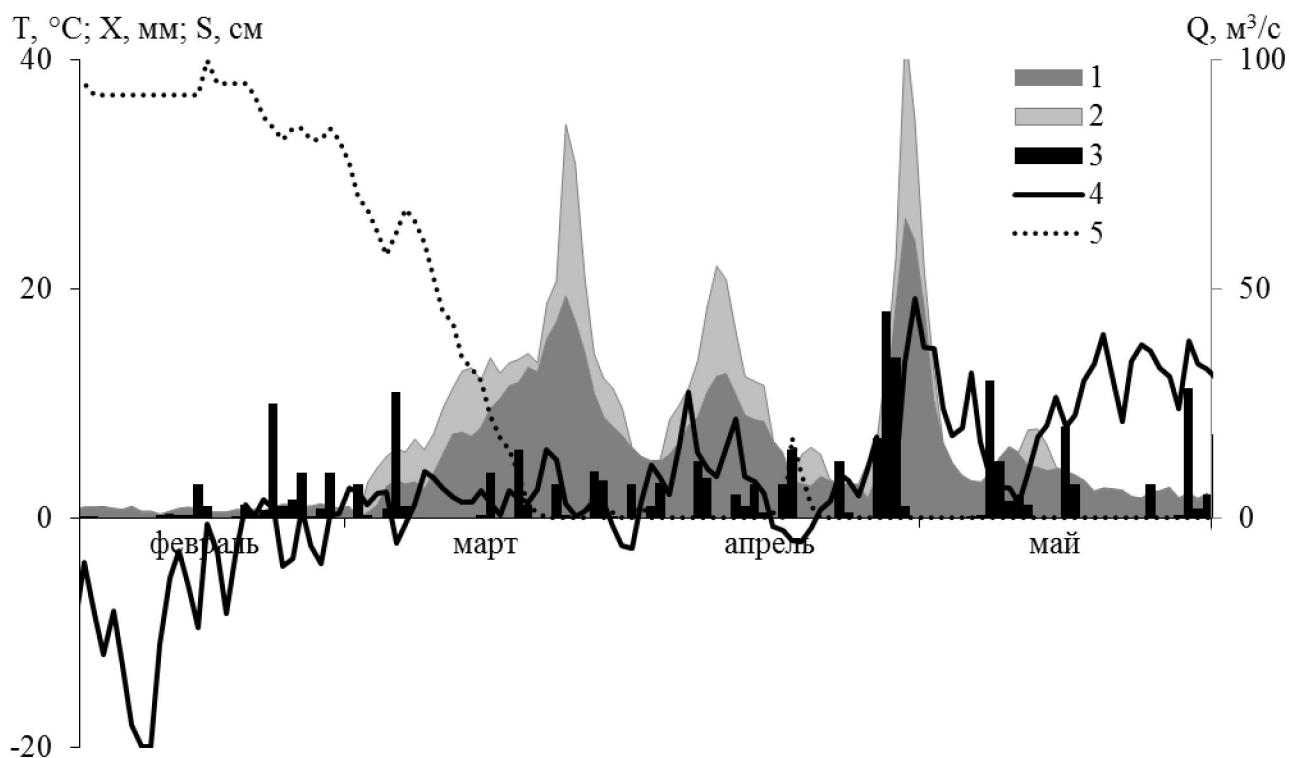


Рис. 2 – Поверхностный приток воды в Рузское водохранилище Q , $\text{м}^3/\text{с}$ (1), включая поступление из Верхнерузского водохранилища (2); данные метеостанции г. Волоколамск: слой атмосферных осадков X , мм (3), температура воздуха T , °С (4), высота снежного покрова S , см (5) в весенний период 2017 г.

По данным ближайшей к исследуемому полигону метеостанции г. Волоколамск 6 марта наступили заморозки и выпало 11 мм снега, подъем уровня воды в реках на несколько дней приостановился, возобновившись при устойчивом переходе среднесуточных температур через 0 °С. Однако при сравнительно невысоких дневных температурах воздуха в течение всего марта и ночных заморозках в середине месяца темпы увеличения речного стока были незначительными.

Лишь в третью декаду месяца, когда воздух в дневные часы прогревался до 9 °С и выше, подъем уровня в реках происходил интенсивнее. Пик первой волны весеннего половодья пришелся на 24–25 марта. Однако в последние числа марта потепление сменилось очередными заморозками (до –7 °С) и снегопадами, что привело к резкому снижению расходов воды.

В первой половине апреля воздух в отдельные дни прогревался до 16–18 °С, в течение первой декады происходил подъем уровня воды в реках, затем сменившийся спадом. Второй пик весеннего половодья оказался примерно на треть ниже первого. С середины до начала третьей декады апреля вновь наступили заморозки (с ночными температурами до –6 °С), выпало около 10 мм снега, на несколько дней установился снежный покров высотой до 7 см. В начале третьей декады апреля расходы воды в реках снизились до минимальных с момента начала половодья.

За период 26–29 апреля выпало 40 мм осадков, в последующие дни значительно потеплело (воздух прогревался до 22–24 °С), и на реках прошел крупный дождевой паводок, по максимальным расходам воды превосходящий первый пик половодья примерно на треть, а второй – более чем вдвое.

8–12 мая похолодало (вплоть до ночных заморозков до –3 °С) и выпало более 20 мм дождя и снега. К середине мая вновь потеплело, 16–17 мая прошли дожди (выпало 11 мм осадков). Однако максимальные расходы паводка, сформировавшегося в первой половине мая (хоть и более продолжительного, чем предыдущий), оказались в 4–5 раз ниже, чем в конце апреля.

В феврале содержание ОВ в меженных речных водах было невысоким: значения ХПК в нефiltroванных пробах составляли 14–16 мг О/л, ПО – 8–9 мг О/л. При минимальной за период наблюдений мутности воды (4–6 нефелометрических единиц NTU) подавляющая часть ОВ присутствовала в воде в растворенной форме (вклад взвесей в величины ХПК и ПО не превышал 5%).

В первых числах марта с потеплением и началом снеготаяния показатели ХПК и ПО возросли до 17–20 и 10–11 мг О/л соответственно. Доля взвешенного ОВ (судя по соотношению ХПК в фильтрованных и нефiltroванных пробах) возросла в р. Волошне до 20%, в нижнем створе на р. Рузе – до 10%, в верхнем – почти не изменилась. При этом рост расходов воды и содержания в ней ОВ в р. Рузе в значительной степени был связан с увеличением сбросов Верхнерузского гидроузла; в р. Волошне этот рост был не столь значительным.

К началу второй декады марта сток с частного водосбора Рузского водохранилища незначительно снизился после заморозков, однако сбросы Верхнерузского водохранилища сохранились на прежнем уровне, что обусловило различия в колебаниях содержания ОВ в трех пунктах наблюдений. В воде р. Рузы у д. Красное Село (где доля водных масс Верхнерузского водохранилища близка к 100%) показатели ХПК и ПО практически не изменились (как и соотношение растворенного и взвешенного ОВ), у д. Чернево (где возрастает доля бокового притока) – снизились незначительно, а в воде р. Волошни общее содержание ОВ и доля взвешенных его форм снизились почти до меженных величин.

После середины марта объемы попусков Верхнерузского гидроузла уменьшились почти до предвесенних значений; в водах р. Рузы у д. Красное Село наблюдалось снижение показателей содержания ОВ на 1–2 мг О/л. В то же время на р. Волошне и на боковых притоках р. Рузы на участке от Красного Села до Чернево продолжался подъем весеннего половодья, сопровождавшийся интенсификацией смыва ОВ с водосбора в русловую сеть. Величина ХПК речных вод в д. Чернево и д. Чертаново возросла до 22 мг О/л и более, ПО – до 11–12 мг О/л и выше.

Во время прохождения основной волны весеннего половодья с пиком 24–25 марта величины ХПК и ПО в водах р. Рузы у д. Чернево и р. Волошни возросли до 26–27 и 13–14 мг О/л соответственно. Максимальных значений в этот период (60–75 NTU) достигала в данных створах и мутность воды. Соответственно, рост содержания ОВ происходил в первую очередь за счет взвешенных форм (их вклад в увеличение значений ХПК и ПО достигал на пике половодья 30–45%).

Несмотря на то, что поступление воды из Верхнерузского водохранилища в этот период также было максимальным, содержание ОВ в воде р. Рузы у д. Красное Село оставалось пониженным, немногим превышая февральские показатели. Мутность воды,

накануне пиковых сбросов Верхнерузского гидроузла возросшая до 20 NTU, снизилась затем до 11–13 NTU. Доля взвешенного ОВ, накануне максимальных попусков достигавшая 20–30%, вновь снизилась до 5–10%. Все это, очевидно, свидетельствует о преобладании в речном стоке маломутной и обедненной ОВ зимней водной массы, сбрасываемой из Верхнерузского водохранилища.

Похолодание в конце марта – начале апреля привело к резкому снижению поверхностного стока и прекращению интенсивного смыва ОВ с водосбора; сбросы Верхнерузского гидроузла также были снижены до величины санитарного попуска. В этих условиях ОВ в воде р. Рузы было представлено преимущественно в растворенной форме, а его концентрация снизилась до значений, сопоставимых с периодом зимней межени. Тем временем в р. Волошне содержание ОВ оставалось относительно высоким (ХПК около 20 мг О/л, ПО около 11 мг О/л).

Поскольку снегозапасы на водосборе истощились в первой половине марта, второй пик весеннего половодья в начале апреля в большей степени обусловлен, вероятно, водоотдачей почвогрунтов, возросшей в условиях потепления. Это подтверждается невысокой по сравнению с первым пиком половодья мутностью воды (менее 30 NTU) и незначительным (менее 10%) вкладом взвешенного ОВ в повышение величин ХПК и ПО до 20–23 и 13–15 мг О/л соответственно. Причем сток ОВ р. Рузы у д. Красное Село, почти полностью сформированный возросшими сбросами водных масс Верхнерузского водохранилища, был представлен исключительно растворенными формами (доля взвешенных ОВ составляла менее 4%) и характеризовался значениями ХПК и ПО на 2–5 мг О/л ниже, чем в створе у д. Чернево и в р. Волошне.

К третьей декаде апреля происходило постепенное уменьшение расходов воды, мутность достигла значений, близких к меженным (8 NTU), показатели содержания ОВ во всех пунктах наблюдений снизились до 16–20 мг О/л ХПК и 10–12 мг О/л ПО.

Во время дождевого паводка в конце апреля наблюдениями зафиксировано повышение мутности воды, сопоставимое с первой волной половодья, и значительный рост показателей ХПК и ПО (до 28–30 и 16–18 мг О/л соответственно и, вероятно, выше, поскольку пробы воды отбирали только на подъеме паводка). Доля взвешенной составляющей в составе ОВ возросла до 15–20% и более. В створе у д. Красное Село повышение содержания ОВ было не столь существенным (примерно на 4 мг О/л ниже, чем в двух других створах).

Во время второго майского паводка в речных водах сохранялось повышенное содержание ОВ (ХПК 22–26 мг О/л, ПО 12–13 мг О/л), причем при сравнительно низкой мутности воды (менее 10 NTU) доля взвешенных форм ОВ достигала 20% и более.

Обобщая полученные результаты, можно сказать, что они подтверждают и дополняют выводы исследований, проведенных ранее на водосборе Можайского водохранилища. Для содержания ОВ в речных водах характерна прямая связь с величиной расхода воды, в период половодья имеющая форму петли, а для паводков близкая к линейной (рис. 3).

Однако, во-первых, если в притоках Можайского водохранилища максимальное содержание ОВ достигается, как правило, на спаде половодья, то в воде рек Рузы (у д. Чернево) и Волошни наибольшие значения ХПК и ПО зафиксированы в конце подъема половодья (таким образом, движение по петле происходит не против, а по часовой стрелке).

Во-вторых, гидролого-гидрохимический режим р. Рузы в створе у д. Красное Село, расположенном ниже плотины Верхнерузского водохранилища, практически полностью определяется диспетчерским графиком Верхнерузского гидроузла и составом водных масс этого водоема. Значимых связей стока ОВ с колебаниями расхода воды для этого створа не выявлено.

Характер зависимости содержания ОВ в речных водных массах от величины расхода воды изменчив даже в пределах одной гидрологической фазы. На рис. 3 хорошо

видно, что для двух волн весеннего половодья 2017 г. на каждом графике образованы две различные петли. Форма этих петель зависит от сочетания гидрологических и метеорологических факторов, определяющих дружность снеготаяния, объем половодья и т.д.

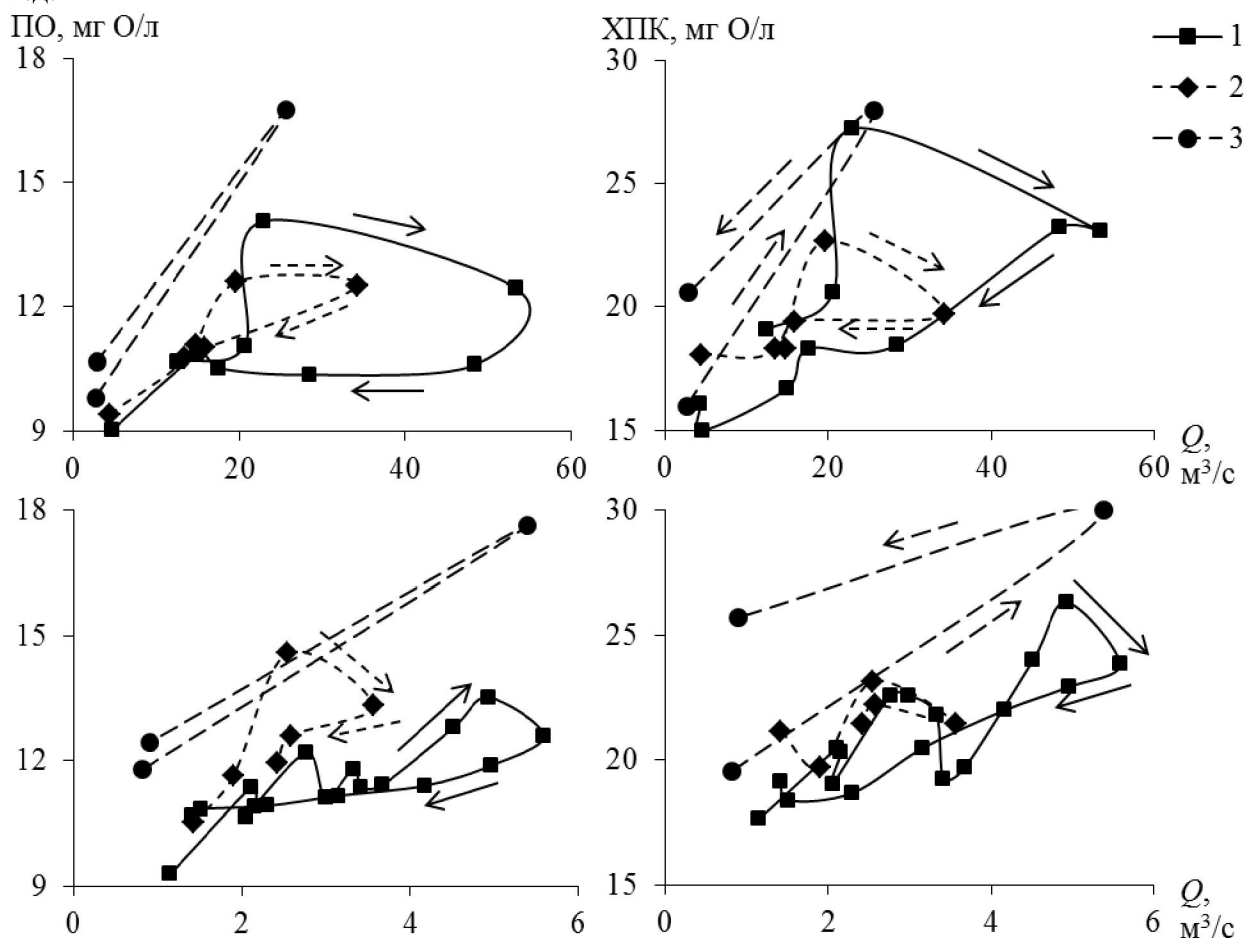


Рис. 3 – Связь показателей содержания ОВ в воде р. Рузы у д. Чернево (сверху) и р. Волошни у д. Чертаново (снизу) с расходом воды Q во время первой (1), второй (2) волн половодья и дождевого паводка (3) весной 2017 г.

Увеличение содержания ОВ в фазы повышенного стока, особенно в основную волну половодья, происходит прежде всего за счет взвешенного ОВ; значимых связей колебаний содержания истинно растворенных ОВ с величиной расхода воды не выявлено.

В паводки окисляемость речных вод, как правило, выше, чем в половодье, а прямая связь показателей ХПК и ПО с величиной расхода воды близка к линейной, как и для притоков Можайского водохранилища.

Выводы. Содержание органических веществ в притоках Рузского водохранилища весной в целом прямо пропорционально величине расхода воды. Для периода половодья график этой зависимости имеет форму петли (максимальное содержание ОВ наблюдается на подъеме половодья), для дождевых паводков связь близка к линейной.

Эта связь четко выражена только для водотоков с незарегулированным или слабо зарегулированным водосбором, и практически отсутствует на участке р. Рузы, расположенном в нескольких километрах ниже плотины Верхнерузского водохранилища, поскольку колебания водного и вещественного стока здесь практически полностью определяются режимом попусков и составом водохранилищной водной массы.

В периоды половодья и паводков при преобладании поверхностного стока с водосбора значительная доля стока ОВ в речной сети (до 45%) представлена взвешенными ОВ, а при преобладании внутриводосборного стока – истинно растворенными соединениями (их доля, как и в меженные периоды, близка к 95–100%).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 16-35-00199 мол_а).

Литература

1. Гидроэкологический режим водохранилищ Подмосковья (наблюдения, диагноз, прогноз). – М.: Перо, 2015. – 284 с.
2. Муравьев А.Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. – СПб: Крисмас+, 2004. – 248 с.
3. Остапеня А.П. Полнота окисления органического вещества водных беспозвоночных методом бихроматного окисления // Доклады АН БССР. – 1965. – Т. 9. – Вып. 4. – С. 273-276.
4. Соколов Д.И. Изменение окисляемости и цветности воды под влиянием водохранилища // Вестник МГУ. Сер. 5: География. – 2013. – № 6. – С. 9-15.
5. Соколов Д.И. Приток органических веществ в Можайское водохранилище в весенний период // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды: материалы V Междунар. конф. – Минск: Издательский центр БГУ, 2016. – С. 337-338.
6. Соколов Д.И., Ерина О.Н. Параметризация притока органических веществ в Можайское водохранилище // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды Междунар. науч.-практ. конф. – Т. 2. – Пермь: изд-во ПГНИУ, 2017. – С. 135-140.
7. Унифицированные методы анализа вод. – М.: Химия, 1973. – 376 с.

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