

ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

УДК 556.551

**СПЕЦИФИКА СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГО-
ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЕСНОГОРСКОГО
ВОДОХРАНИЛИЩА**

© 2014 г. С. А. Лапин, И. А. Гангнус, Н. М. Зозуля

*Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии,
Москва, 107140
E-mail: sal58@mail.ru*

Поступила в редакцию 24.02.2014 г.

Рассмотрены особенности изменения гидролого-гидрохимических характеристик Десногорского водохранилища в области теплового воздействия Смоленской атомной электростанции. Анализ сделан на базе трех гидролого-гидрохимических съемок водохранилища, проведенных авторами в разные сезоны 2012–2013 годов.

Ключевые слова: гидрология, гидрохимия, биогенные элементы, водохранилища, пруд-охладитель.

ВВЕДЕНИЕ

Десногорское водохранилище, расположенное в Смоленской области, создано в 1979 г. после перекрытия реки Десна, а его заполнение продолжалось вплоть до 1984 г. Площадь водохранилища составляет 44 км², объем 0,32 км³, а средняя глубина 7,6 м. Водоем создан для охлаждения агрегатов Смоленской атомной электростанции (САЭС), которая была запущена в 1982 г. и к настоящему времени имеет в эксплуатации три энергоблока. Таким образом, процессы, происходящие в Десногорском водохранилище, тесно связаны с режимом его работы как пруда-охладителя САЭС. Важно отметить, что в обычно используемой технологической схеме вода для охлаждения забирается в нижней части водохранилища, а сбрасывается как можно выше по течению. В данном случае теплая вода от САЭС возвращается в водохранилище как классическим отводным каналом — в его среднюю часть сразу за слиянием вод рек Десна и Соложа, так и через затопленное русло р. Сельчанка, впадающей в водохранилище непосредственно у плотины. Забор же воды на охлаждение тепло-

обменников САЭС устроен приблизительно посередине между этими водовыпусками, в самой широкой части водохранилища в области максимального смешения (охлаждения) вод (рис. 1). В связи с изложенными выше особенностями половина площади водоема не замерзает и остается открытой в течение всего года. Это создает уникальные условия функционирования сложившегося в водохранилище биоценоза и в существенной степени определяет формирование рыбохозяйственного комплекса водоема. В настоящей работе исследовали нижнюю часть акватории водохранилища, находящуюся в области влияния системы охлаждения САЭС. Задача работы — оценить сезонную изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик этой системы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В рамках выделенного участка было назначено одиннадцать комплексных станций, восемь из которых (1–8) являлись основными, а три (9, 10) — дополнительными (рис. 1). Важно отметить, что

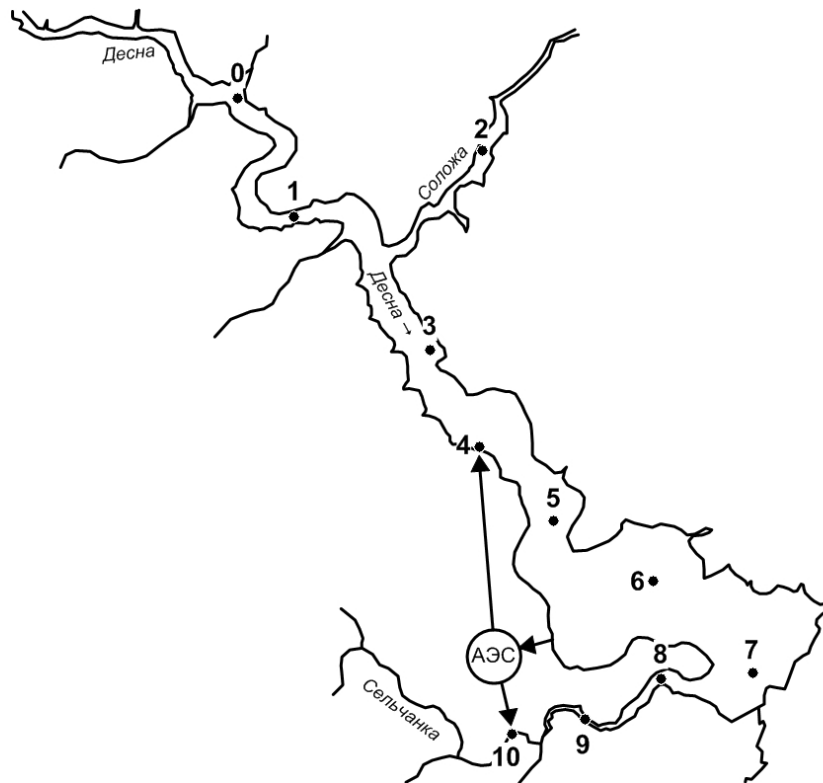


Рис. 1. Схема станций, выполненных на Десногорском водохранилище; (→) — забор и сброс вод Смоленской атомной электростанцией.

станции 1 и 2 находились на подтопленных участках рек Десна и Соложа выше по течению от точки их слияния и характеризовали показатели нетрансформированной (естественной) водной толщи двух составляющих частей водохранилища на входе в измененную тепловым стоком САЭС часть его акватории. В свою очередь станции 4 и 8 отмечали специфику вод, поступающих непосредственно в водохранилище после определенной трансформации на участках соответственно отводного канала и подтопленного русла р. Сельчанка от точек выпуска горячей воды из теплообменных систем САЭС. Для оценки этой трансформации пробы воды забирали также на южном выпуске теплых вод в реку (залив водохранилища) Сельчанка (станция 10 — у крытой водовыпускной галереи).

Всего было проведено три гидролого-гидрохимических съемки указанной

акватории в различные сезоны: в весенне-летний — 29 мая 2012 г., осенний — 25 сентября 2012 г. и зимний — 11 марта 2013 г. Толщу воды исследовали с использованием СТД-зонда «Гидролаб» MS5, снабженного датчиками давления, температуры, электропроводности, кислорода и pH. Зондирование производили под постоянным визуальным контролем изменения наблюдаемых характеристик с помощью влагозащищенного ноутбука «Panasonic Toughbook CF-29». По итогам зондирования на каждой станции принимались решения по числу точек отбора проб воды для оценки гидрохимических условий водоема по следующим параметрам: кремний; азот нитритов, нитратов и аммонийный; фосфор фосфатов; органические углерод, азот и фосфор. Использовали современные аккредитованные методики (Руководство..., 2003, 2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Съемка 29 мая 2012 г., несмотря на календарную весну, отражает ситуацию в водохранилище, больше напоминающую летнюю. За исключением входящих станций 1 и 2 на р. Десна и Соложа выше их слияния, где температурный скачок, вероятно, вследствие небольших глубин не так выражен, а соответственно и биогенные элементы распределены по вертикали более однородно, на остальной акватории уже установилась устойчивая прямая стратификация вод. Слой температурного скачка залегает от 5–6 до 8–9 м, сформирован верхний прогретый слой с температурой более 20°C и содержанием растворенного кислорода в диапазоне 105–128%. В полном соответствии с кислородом распределяется и величина рН: 8,5–9,3 (рис. 2).

Биогенные элементы в перемешанном слое уже в значительной степени потреблены фитопланктоном. В относительном дефиците находится минеральный фосфор (до 0,1 мкг-ат/л), достаточно низкой является концентрация и минерального азота (0,4–0,9 мкг-ат/л), причем большая его часть приходится на долю аммонийной формы (0,3–0,7 мкг-ат/л). Содержание кремния колеблется в диапазоне 3–6 мкг-ат/л.

В придонных слоях воды содержание биогенных элементов значительно выше. При температуре около 9°C, насыщении вод кислородом около 20% и рН 7,1–7,2 здесь сохранилась трансформированная зимняя вода с близкими к зимним характеристикам значениями: минерального азота, представленного преимущественно (около 98%) нитратной формой (20–37 мкг-ат/л), фосфора фосфатов (около 1 мкг-ат/л) и в 6–7 раз меньшим относительно зимнего периода содержанием в воде кремния (около 20 мкг-ат/л). Последнее обстоятельство указывает на преимущественную активность диатомовых организмов при первичном продуцировании.

В местах втекания и смешения теплых сбросных вод от САЭС с водами водохранилища (станции 4 и 8) на поверхности от-

мечена максимальная температура (27°C), более низкие значения рН (8,2–8,4), а также существенно более высокие значения содержания минерального азота (2,4–4,2 мкг-ат/л), представленного преимущественно в аммонийной и нитратной формах. Кремний и фосфор фосфатов в этих водах были близки по значениям к содержанию этих элементов в верхнем перемешанном слое водохранилища. В придонных слоях трансформированные втекающие воды отличались существенно более низким содержанием кремния (6–11 мкг-ат/л) и фосфора фосфатов (0,13–0,14 мкг-ат/л), а из минеральных форм азота превышение над фоновыми значениями в водохранилище отмечалось лишь у его аммонийной формы (1,2–1,3 мкг-ат/л).

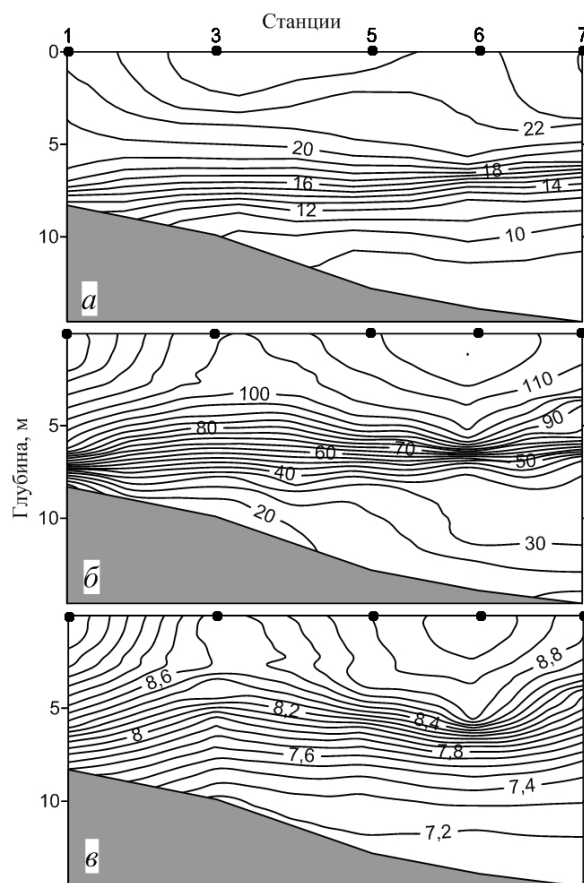


Рис. 2. Распределение температуры воды (а, °С), ее насыщения кислородом (б, %) и величины рН (в) вдоль Десногорского водохранилища (съемка 29 мая 2012 г.).

В целом можно констатировать, что наличие четко выраженного температурного скачка затрудняло вертикальный обмен в водной толще и, соответственно, пополнение эвфотического слоя биогенными элементами из придонных горизонтов. С большой степенью уверенности можно утверждать, что весенний пик фотосинтеза явно миновал, скорее всего, в апреле—начале мая. Пополнение деятельного слоя биогенными элементами в этот период может осуществляться посредством поступающего в водохранилище речного стока, дождевого смыва с поверхности бассейна и регенерации биогенных элементов в процессе деструкции органического вещества (ОВ).

Осенняя съемка, проведенная 25 сентября 2012 г., зафиксировала на аквато-

рии водохранилища состояние практически полной гомотермии (рис. 3). Температура воды в его верхней части составляла около 17°C, а в нижней достигала 18–19°C. Значения pH и содержание в воде растворенного кислорода составляли в перемешанной части соответственно 8,2–8,4 и 80%.

В целом в сравнении с состоянием вод, зафиксированным весенне-летней съемкой 29 мая 2012 г., содержание биогенных элементов в открытой части водохранилища заметно выравнивалось по вертикали. При этом их среднее содержание в перемешанном слое выросло в 5–10 раз и достигло следующих значений: кремний — 40–48, фосфор фосфатов — 0,6–0,8, минеральный азот — 4,0–6,4 мкг-ат/л (представленный преимущественно аммонийной формой — 3,1–4,8 мкг-ат/л). В придонных слоях содержание в воде рассматриваемых элементов отличалось от наблюдаемых в преимущественно перемешанной толще незначительно, за исключением областей акватории, примыкающих к местам притекания к водохранилищу вод от САЭС, о чем будет сказано ниже.

Поступающие в водохранилище воды от САЭС отличались не только повышенной температурой. В этот период года они выступали заметным источником поступления в водохранилище регенерированных биогенных элементов. Интересно, что данный процесс (регенерация) происходит в придонных слоях на участке отводного канала (северный выпуск) и р. Сельчанка (южный выпуск) от точки сброса теплых вод из теплообменников САЭС до собственно акватории водохранилища. Такой вывод позволяет сделать анализ вод, взятых на границах вышеотмеченных участков. Так, на южном выпуске теплых вод САЭС в реку Сельчанка у крытой водовыпускной галереи (станция 10) все показатели вод, кроме температуры (+26°C), практически не отличались от фоновых в самом водохранилище. Однако в точке впадения этих вод в водохранилище несколькими километрами ниже по течению (станции 8 и 4) ситуация принципиально менялась.

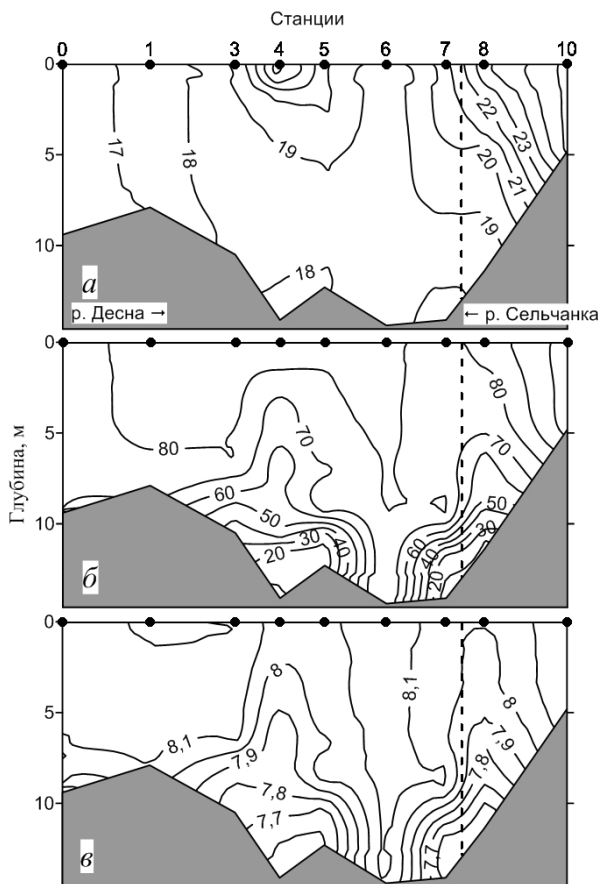


Рис. 3. Распределение температуры воды (а, °С), ее насыщения кислородом (б, %) и величины pH (в) вдоль Десногорского водохранилища (съемка 25 сентября 2012 г.).

В придонных слоях этих вод фиксировались более кислые воды ($\text{pH } 7,6$) с низким, около 10%, насыщением кислородом. Содержание кремния здесь достигало 60–70 мкг-ат/л , а фосфора фосфатов — 1,3–2,3 мкг-ат/л . Однако особенно высоким в этих водах было содержание аммонийного и нитритного азота — соответственно до 19,52 и 2,75 мкг-ат/л . При этом важно подчеркнуть, что сероводорода в придонных водах не наблюдалось. Это обстоятельство, очевидно, связано с активным перемешиванием вод и высокими скоростями деструкции ОВ. В поверхностном слое притекающие воды также имели повышенное относительно открытой части водохранилища содержание всех вышеперечисленных элементов, однако это превышение было незначительным.

Влияние притекающих от САЭС вод было хорошо заметно на прилегающих акваториях водохранилища (станции 3, 5, 7). По поверхности, постепенно перемешиваясь, растекались более теплые воды (около 24°C), а в придонных горизонтах — воды с повышенным содержанием биогенных элементов. Полное перемешивание вод достигалось в самой широкой части водохранилища, как раз напротив водозабора САЭС (станция 6).

Таким образом, перемешивание вод, активная регенерация биогенных элементов и существенное снижение интенсивности фотосинтеза являются отличительной чертой состояния водной среды этого периода.

Зима 2013 г. в районе исследования выдалась холодной и затяжной, поэтому проведенную 11 марта 2013 г. съемку можно считать репрезентативной для отражения гидролого-гидрохимических особенностей водохранилища на этапе завершения зимнего периода. В это время в водохранилище отмечалось наличие двух четко выраженных частей акватории — покрытой льдом и свободной ото льда. Съемка производилась на части акватории, свободной ото льда, однако важно отметить, что станция 1 находилась у самой кромки ледяного покрова, поэтому параметры воды, полученные на этой станции,

вполне можно принять за характеристики сформировавшейся подо льдом зимней водной массы водохранилища. Она отличается высоким содержанием минеральных форм всех биогенных элементов, что является закономерным следствием происходящей зимой активной деструкции накопленного ОВ, наличия преимущественно грунтового стока и отсутствия потребления биогенных элементов в процессе фотосинтеза. Таким образом, на выходе из-под льда в воде были отмечены максимальные в году концентрации кремния силикатов, азота нитратов и фосфора фосфатов — соответственно 145, 32 и 1,9 мкг-ат/л .

В целом специфика гидрологических процессов в водохранилище в зимний период заключалась в том, что в его открытой части повсеместно отмечалось явление зимней гомотермии (рис. 4). Теплые воды с САЭС поступали в основном к приплотинной части водохранилища через реку Сельчанка (13°C), быстро перемешиваясь с основной водной массой при впадении. С другой стороны, из-под льда вытекала вода, охлажденная

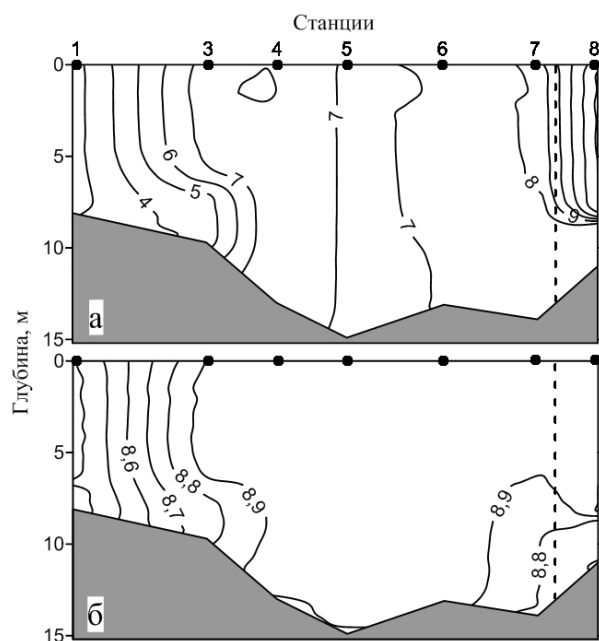


Рис. 4. Продольный разрез Десногорского водохранилища по температуре (а, $^\circ\text{C}$) и pH (б) (съемка 11 марта 2013 г.); ст. 8 — устьевая часть р. Сельчанка, несущей теплые воды от САЭС.

до 2,6°C, которая, постепенно прогреваясь, при достижении в процессе плотностного перемешивания отметки 4°C, формировала у дна небольшой язык более плотной воды, направленный в сторону плотины. В дальнейшем перемешивание водной толщи уравновешивалось около температурной отметки в 7°C в средней части незамерзающей акватории (рис. 4). Таким образом, до начала интенсивного прогрева поверхностного слоя вод весенним солнцем подавляющей части открытой акватории водохранилища свойственна перемешанная до дна однородная толща воды с близкими значениями всех исследованных параметров по вертикали. Характерная для покрытых льдом водоемов обратная стратификация здесь не прослеживалась вследствие недоохлаждения толщи воды до температур ниже 4°C. Иначе говоря, в незамерзающей части водохранилища вся толща воды представляет собой частично трансформированную, главным образом в процессе фотосинтеза, зимнюю перемешанную водную массу.

Вследствие цветения фитопланктона в открытой части акватории на 15–20% в сравнении с параметрами зимней водной массы (станция 1) возрастало насыщение вод кислородом (93–97%), соответственно, за счет потребления им углекислоты с 8,4 до 9,0 увеличились значения рН (рис. 4). Интенсивность первичного продуцирования отмечалась также по уменьшению содержания минеральных форм всех биогенных эле-

ментов: кремния, азота и фосфора — за счет его утилизации фитопланктоном в среднем на 25, 7–9, 0,3 мкг-ат/л соответственно. Необходимо также отметить устойчивую связь между величиной насыщения воды кислородом и рН, а также минерального кремния, азота и фосфора друг с другом. Коэффициенты корреляции указанных пар повсеместно выше 0,9. Все это подтверждает процесс фотосинтеза в открытой части водохранилища в этот период. Поскольку биогенная обеспеченность водной толщи еще очень высока, можно предположить, что фотосинтетическая деятельность диатомового планктона еще только в самом начале.

Влияние притекающих к водохранилищу от САЭС вод в этот период проявлялось в повышенной температуре и вдвое превышающей фоновую концентрации аммонийного азота в придонных слоях на южном выходе (р. Сельчанка, станция 8).

Растворенное органическое вещество. В распределении средневзвешенных значений растворенного ОВ, которые рассчитаны для акватории водохранилища, подверженной тепловому воздействию САЭС, необходимо отметить следующие особенности (таблица).

В весенне-летний период валовый азот и фосфор в верхнем перемешанном слое представлены практически целиком в органической форме. В придонных слоях органический азот составлял половину, а органический фосфор — 2/3 их валового количества.

Средневзвешенные сезонные значения растворенного в воде органического вещества для части акватории Десногорского водохранилища, испытывающей тепловое воздействие от САЭС

Дата съемки	Углерод органический растворенный, мг/л	Азот, мкг-ат/л		Фосфор, мкг-ат/л	
		органический растворенный	валовый	органический растворенный	валовый
29.05.2012	9,0/9,1	45/30	46/62	2,4/2,1	2,5/3,0
25.09.2012	8,1/8,2	65/62	71/72	0,6/0,6	1,3/1,8
11.03.2013	8,2/8,3	32/34	56/59	0,5/0,5	2,1/2,1

Примечание: до косой черты — значения характеристики на поверхности, после — у дна.

К завершению активного вегетационного периода осенью в условиях установившейся гомотермии содержание органических форм в воде выравнивалось по вертикали, однако тенденции у органического азота и фосфора оказались различными. Содержание первого, по сравнению с весенне-летним периодом, увеличилось на 30%, а второго уменьшилось в 4 раза. Иначе говоря, азот по-прежнему в значительной степени находился в органической форме, а вот органический фосфор регенерировал до минерального. К зиме процессы регенерации захватили и органический азот, минеральные формы которого в валовом количестве составляли уже около 50%, в то время как распределение органического фосфора изменилось незначительно. Интересно, что зафиксированные зимой величины содержания в воде органического и минерального азота оказались аналогичными наблюдаемым в придонных слоях в весенне-летний период, что подтверждает их единую природу. Иначе говоря, они отражают характеристики складывающейся в водохранилище зимней водной массы.

Содержание в водах растворенного органического углерода, который является наиболее репрезентативным показателем количества ОВ, очевидно, в большей степени связано с объемом поступающего в водохранилище речного стока, где его содержание всегда выше, чем в водохранилище. Исходя из этого, максимальная концентрация органического углерода в водах водохранилища отмечается весной при прохождении волны половодья, а в дальнейшем она падает с 9 до 8 мг/л.

ВЫВОДЫ

Десногорское водохранилище в части, испытывающей воздействие теплового стока от САЭС, обладает следующими особенностями:

— круглогодичным отсутствием ледяного покрова, а соответственно, и существенно более длительным, чем в естественных условиях, периодом синтеза ОВ фитопланктоном;

— длительным периодом осенне-зимней гомотермии, продолжающимся более полугодия и позволяющим автотрофам более полно использовать минеральный запас всей толщи вод;

— активным процессом регенерации минеральных форм биогенных элементов из ОВ в области влияния теплых потоков от САЭС.

Вышеупомянутые процессы позволяют биоценозу водохранилища максимально использовать приносимые рекой биогенные элементы, а высокие скорости трансформации ОВ в водоеме пополняют их запас за счет регенерации. Относительно низкие значения процентного насыщения воды кислородом в придонных слоях свойственны лишь весенне-летнему периоду при наличии устойчивого слоя температурного скачка и, по нашим данным, к заморам не приводят. Дополнительно к вышесказанному необходимо упомянуть и планомерно проводящееся с первых лет эксплуатации водохранилища зарыбление его молодью растительноядных рыб, потребляющих «излишки» ОВ и обеспечивающих необходимое качество воды, забираемой на охлаждение САЭС.

Проведенный анализ позволяет говорить о высокой продукционной эффективности Десногорского водохранилища на всех уровнях трофической цепи от первичной продукции до нектона, что обуславливается особенностями динамики и антропогенного использования его вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Под ред. Сапожникова В. В. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

Руководство по современным биохимическим методам исследования водных экосистем, перспективных для промысла и марикультуры / Под ред. Агатовой А. И. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 123 с.

**SPECIFIC FEATURES OF SEASONAL VARIABILITY OF HYDROLOGICAL
AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF DESNOGORSK RESERVOIR**

© 2014 г. S. A. Lapin, I. A. Gangnus, N. M. Zozulya

Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, 107140

Some specific features of changes of hydrological and hydrochemical characteristics of the Desnogorsk reservoir in the region of Smolensk nuclear station influence were examined. Analysis has been based on data from three complex hydrological and hydrochemical surveys of the Desnogorsk reservoir during different seasons from 2012–2013.

Keywords: hydrology, hydrochemistry, reservoir, nutrients, cooling pond.