

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ЭКОСИСТЕМЫ ВОДОХРАНИЛИЩА-ОХЛАДИТЕЛЯ СУРГУТСКОЙ ГРЭС

© 2018

Шорникова Елена Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии
Кукуричкин Глеб Михайлович, кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии
Сургутский государственный университет
(г. Сургут, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, Российская Федерация)

Аннотация. Стремительное развитие нефтегазового комплекса на севере Западной Сибири в середине XX века потребовало значительного количества электроэнергии. Выполнение этой стратегической задачи осуществлялось поэтапно. В окрестностях города Сургута, крупнейшего нефтедобывающего центра в Среднем Приобье, последовательно были построены две тепловые электростанции, работающие на попутном газе. Для охлаждения циркуляционной воды в системе оборотного водоснабжения электростанций в русле р. Черная было сооружено объединенное водохранилище-охладитель. В данной работе представлена оценка последствий затопления ложа Сургутского водохранилища. Общая площадь акватории водохранилища составила 2211 га, в том числе под затоплением оказались 50% лесных, 20% луговых, 5% болотных сообществ. Создана опорная экологическая карта окрестностей водохранилища с указанием природных и техногенных объектов. Приведены результаты двухлетнего мониторинга эколого-трофической структуры микробного сообщества водохранилища-охладителя тепловых электростанций в прибрежной зоне акватории. Выполнена оценка интенсивности процессов самоочищения водного объекта. Выявлены источники антропогенной нагрузки на водный объект. Микробиологические методы, использованные для биоиндикации экологического состояния Сургутского водохранилища, позволили оценить трофический статус, выявить экологически неблагоприятные участки акватории и определить интенсивность процессов самоочищения водного объекта.

Ключевые слова: мониторинг водных экосистем; водохранилище-охладитель; нарушенные экосистемы; последствия затопления; гидрохимические показатели; антропогенная нагрузка; тепловое загрязнение; оценка качества воды; структура микробного сообщества; индикаторы антропогенной нагрузки; самоочищение водоема.

Введение

Активное освоение территории и развитие нефтегазодобычи на севере Западной Сибири во второй половине XX в. потребовали значительного и прогрессирующего количества электроэнергии, что послужило причиной строительства в окрестностях г. Сургута двух крупных тепловых электростанций, работающих на попутном нефтяном газе: Сургутской ГРЭС-1 в 1972 г. и Сургутской ГРЭС-2 в 1985 г. В системе водного хозяйства электростанций для охлаждения циркуляционной воды на расстоянии 8,5 км от устья р. Черной было сооружено объединенное водохранилище-охладитель.

Водоохранилища-охладители тепловых электростанций представляют собой особый класс природно-технических систем, в структуру которых входят как природные комплексы, так и производственные объекты и технологические процессы. Изучение закономерностей функционирования таких специфических экосистем представляется актуальным с точки зрения управления качеством вод, рациональной организации водопользования. К тому же в условиях севера Западной Сибири подобные водные экосистемы встречаются довольно редко и изучены недостаточно.

В научной печати имеются лишь незначительные сведения об экосистеме Сургутского водохранилища. В 2000–2004 гг. выполнено исследование водных беспозвоночных в водохранилище-охладителе Сургутских ГРЭС, проведена оценка экологического состояния водного объекта с использованием организмов-индикаторов сапробности [1].

Имеются сведения о разнообразии, обилии и морфо-патологических изменениях рыб в р. Черной

и Сургутском водохранилище как индикаторах антропогенного воздействия [2–4]. Доминирующий комплекс ихтиофауны этих водных объектов представлен рыбами семейства карповых: плотва – доминант, лещ и язь – субдоминанты.

В работах [5–6] представлен значительный фрагмент настоящего исследования – результаты двухлетнего мониторинга температуры и физико-химических показателей проб воды за период 2014–2016 гг. Вода водохранилища-охладителя в прибрежной зоне акватории Сургутских ГРЭС по показателям химического состава характеризуется преимущественно как нейтральная, маломинерализованная, очень мягкая. Было выявлено превышение нормативов ПДК_{вр} ионов аммония до 8 раз и нитрит-ионов до 15 раз, превышение региональных фоновых концентраций хлорид-ионов [7, с. 68; 8]. На основе анализа результатов пространственного распределения физико-химических показателей выявлено три характерных участка акватории водохранилища: 1 – фоновый участок р. Черной, в котором все исследованные показатели имели наиболее низкие значения, характерные для ненарушенных природных водисточников Среднего Приобья; 2 – участок акватории с преимущественно рекреационным характером антропогенной нагрузки от СОТ, где отмечено увеличение значений рН, концентраций биогенных ионов, органических веществ, растворенных солей, никеля; 3 – участок акватории ниже плотины ГРЭС с техногенным характером антропогенной нагрузки, на котором зафиксировано увеличение температуры воды, значений рН, концентраций свинца и хрома, снижение концентрации кислорода, марганца, органических веществ, биогенных ионов. Выявлены индикаторы характера антропогенной нагрузки на водный объект. Индикаторами рекреационной антропо-

генной нагрузки являются высокие концентрации биогенных ионов. Индикаторами техногенной нагрузки от тепловой электростанции выступают высокая температура воды, переход рН в область слабощелочных значений, дефицит кислорода, увеличение концентраций свинца и хрома, снижение концентраций органических веществ, растворенных солей и биогенных ионов ниже фоновых значений.

Целью настоящего исследования являлась оценка современного состояния Сургутского водохранилища в условиях антропогенной нагрузки.

Авторы выражают благодарность В.Н. Тюрину и Ю.Р. Габдрахмановой за подготовку цифровых тематических карт водохранилища, Е.В. Рыбчак за помощь в отборе и анализе проб воды.

Объект и методы исследования

Объектом исследования является объединенный водоем-охладитель ГРЭС-1 и ГРЭС-2 (Сургутское водохранилище), расположенный на территории г. Сургута Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Площадь акватории 35 км², емкость 14,5 млн м³, средняя глубина водохранилища 5 м, максимальная глубина – 7 м. Фоновые наблюдения для оценки характера и интенсивности антропогенной нагрузки осуществлялись на р. Черной, выше по течению от плотины ГРЭС. Река Черная – сравнительно небольшой правобережный приток Оби в среднем ее течении. Длина реки до устья составляет 93 км, площадь водосбора – 776 км² [9, с. 20].

Основными водопользователями объединенного водохранилища на р. Черной являются Сургутская ГРЭС-1 и ГРЭС-2. Основной характер антропогенно-

го воздействия на экосистему водохранилища проявляется в тепловом загрязнении, которое обуславливает изменение среднегодовой температуры воды и отсутствие ледостава, а значит, и изменение кислородного режима, а также других гидрохимических показателей. Кроме того, в границах площади водосбора р. Черной и в прибрежной зоне водохранилища расположены многочисленные садово-огороднические товарищества (СОТ), железная дорога, промышленные зоны предприятий г. Сургута и Сургутского района [5, с. 89].

С целью выявления площадей и типов затопленных ландшафтов на месте Сургутского водохранилища использовалось сопоставление и сопряженный анализ карт разного содержания и времени на одну и ту же территорию. В данной работе использовались программы MapInfo Professional и Google Earth. В качестве начальной основы из Google Earth были взяты космоснимки Image 2015 с акваторией Сургутского водохранилища. Также был использован фрагмент топографической карты Сургутского района 1965–1985 гг. (до строительства водохранилища).

Отбор проб поверхностных вод осуществляли в соответствии с ГОСТ 31861–2012 [10] в 15 контрольных створах в прибрежной зоне акватории водохранилища в период осенней межени в 2014 и 2016 гг. Схема расположения точек отбора проб воды представлена на экологической карте водохранилища (рис. 1), которая также была подготовлена в рамках настоящего исследования.

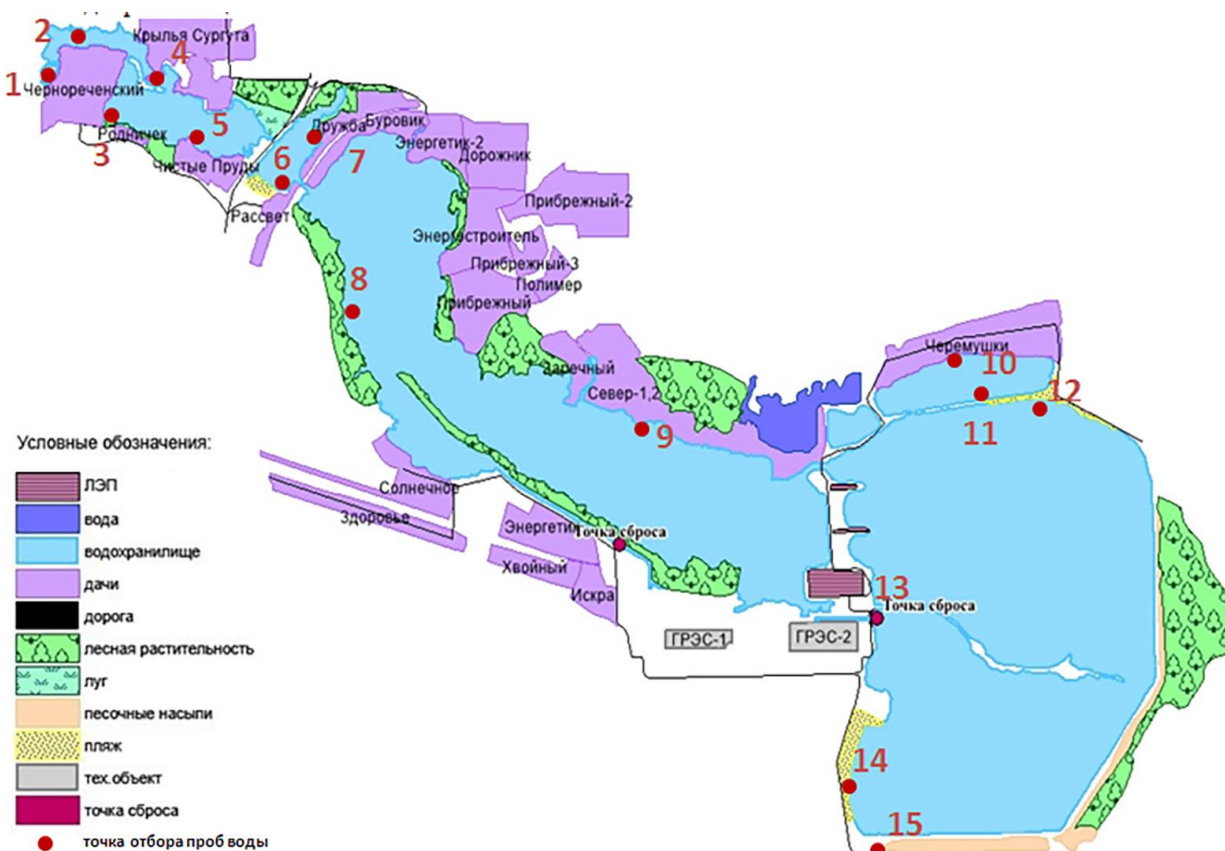


Рисунок 1 – Экологическая карта Сургутского водохранилища

Для оценки качества вод и потенциала водного объекта к самоочищению использовали стандартные методы гидрохимического анализа и количественного учета микроорганизмов различных экологи-

трофических групп [11–12]. Значительным фрагментом данного исследования явилась подробная гидрохимическая характеристика прибрежной зоны Сургутского водохранилища [5–6]. В настоящей статье

представлены результаты количественного учета сапрофитных гетеротрофных бактерий (СБ, среда МПА, культивирование при 25°C в течение 5 суток), бактерий группы кишечной палочки (БГКП, среда Эндо, культивирование при 37°C в течение 1 суток), бактерий цикла азота (БЦА), усваивающих аммонийный азот и полимерные субстраты (крахмало-аммиачный агар, культивирование при 25°C в течение 14 суток). Соотношение численности бактерий СБ и БЦА позволило оценить потенциал водного объекта к самоочищению [13]. Характерные морфологические формы бактерий были изолированы, микроскопированы, определена их принадлежность и морфологическая форма.

Статистическая обработка полученных данных выполнена в программе StatSoft Statistica v6.0 Rus. Нормальность распределения массивов данных проверялась при помощи квантиль-анализа. Взаимосвязи полученных гидрохимических и микробиологических показателей определяли при помощи корреляционного анализа (по Пирсону), статистическую значимость коэффициентов корреляции – при помощи t-критерия Стьюдента ($\alpha = 0,05$). Коэффициенты корреляции для пар показателей, оказавшихся статисти-

чески не значимыми, были исключены из дальнейшего анализа.

Полученные результаты и обсуждение

На рис. 2 представлена карта затопленных участков и диаграмма, отражающая соотношение площадей затопленных земель. В целом площадь затопления составила 2211 га. Большая часть ложа водохранилища была занята лесной растительностью – 1104 га. Лесные экосистемы в данном районе представлены сосняками, березняками, реже кедрчашами и смешанными насаждениями. Есть участки, где лес был вырублен, площадь таких участков составила 81 га (4% от всей площади затопления). Болотные экосистемы занимали 5% от затопленной территории – 120 га, из них 53 га приходится на рямы (сосново-кустарничково-сфагновые болота), остальные 67 га – открытые моховые болота. Притеррасная зона обско-чернореченской поймы была представлена заболоченными зарослями кустарниковых ив – 153 га. Также здесь были широко распространены пойменные луга и травяные болота – 438 га (20% территории). Пойменные луга в данном районе обычно представлены разнотравно-злаковыми и крупноосоковыми сообществами – 260 га (12%) [14, с. 36].

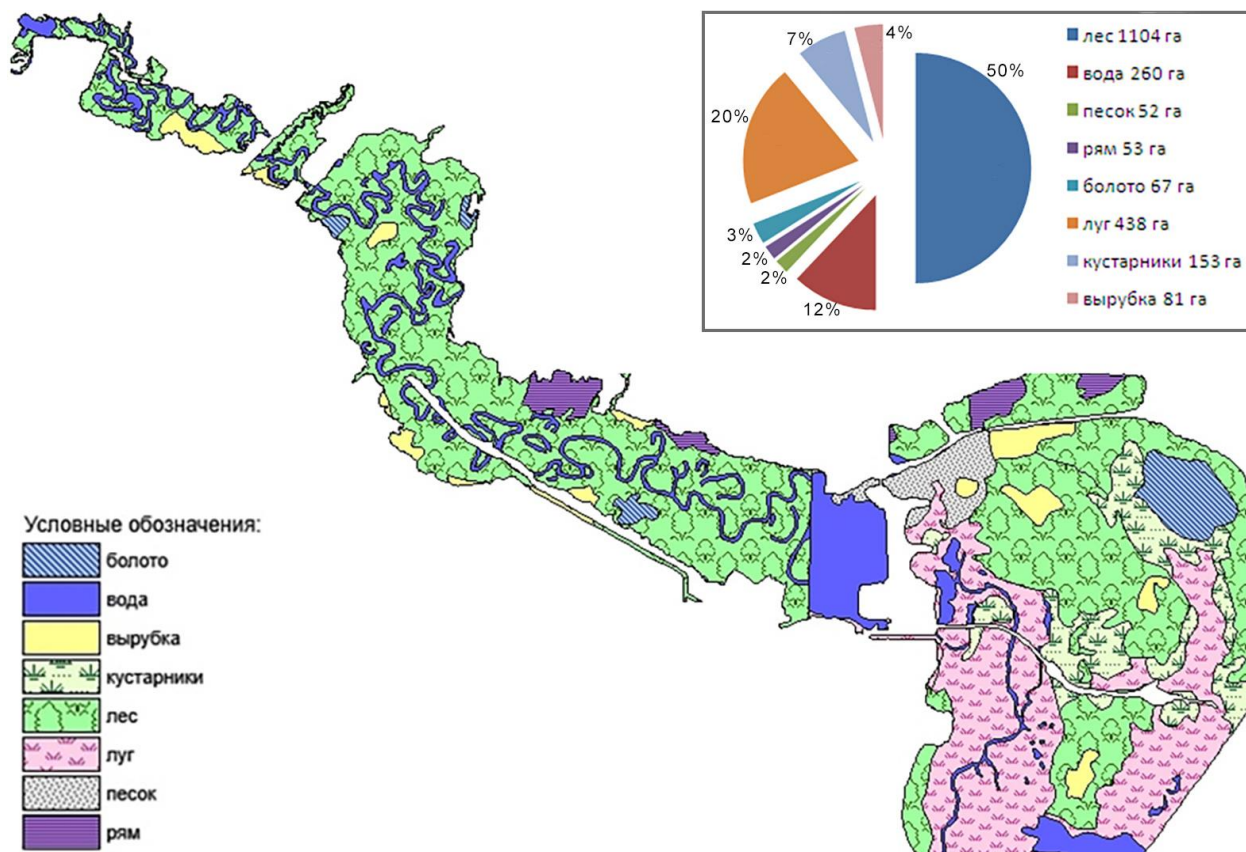


Рисунок 2 – Карта компонентов ландшафтов, затопленных при строительстве Сургутского водохранилища (составлена Ю.Р. Габдрахмановой и В.Н. Тюриным, оформлена Ю.Р. Габдрахмановой)

Результаты количественного учета микроорганизмов в пробах воды представлены на рис. 3. Численность сапрофитных бактерий значительно меняется от фоновых участков р. Черная вниз по течению. На фоновом участке численность СБ составляет 7–10 тыс. кл/мл, далее повышается до максимальных значений 21–39 тыс. кл/мл в точках 5–10, эти точки территориально соответствуют участкам СОТ, которые выходят в акваторию водохранилища. За плотинной численность сапрофитных бактерий уменьшает-

ся в 2 раза, что объясняется снижением влияния рекреационной нагрузки на водный объект, и вместе с тем снижением концентраций биогенных ионов. Однако численность СБ не достигает значений, отмеченных на фоновом участке. Присутствие микроорганизмов данной эколого-трофической группы ниже плотины ГРЭС объясняется высокой температурой воды в водохранилище, что формирует благоприятные условия для их развития. По численности сапрофитных бактерий водохранилище относится к ка-

теории загрязненных вод, за исключением фоновых участков р. Черная, воды здесь относятся к категории «слабо загрязненные» [15, с. 38]. Анализ санитарно-показательных микроорганизмов показал, что во всех пробах воды присутствует БГКП, что является индикатором свежего фекального загрязнения водного объекта [16, с. 95, 99]. Наибольшие значения численности отмечены в тт. 7–10, их пространственное распределение имеет похожий характер с численностью СБ.

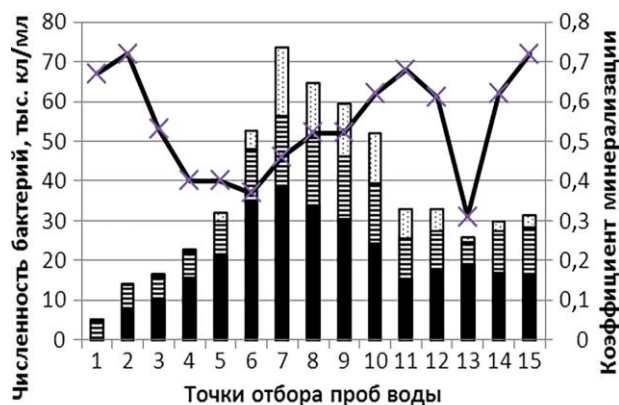


Рисунок 3 – Численность бактерий различных эколого-трофических групп (СБ – сапрофитные бактерии; БЦА – бактерии цикла азота; БГКП – бактерии группы кишечной палочки) и коэффициенты минерализации (K_m)



Рисунок 4 – Грампринадлежность и морфологические формы бактерий в пробах воды

Индикатором уровня органического загрязнения водного объекта также является соотношение морфологических форм бактерий. Так, на завершающих стадиях распада органического вещества в водоеме преобладают кокки, высокая численность палочковидных форм бактерий свидетельствует о большом количестве труднорастворимого органического вещества [17; 18, с. 26–27; 20]. Доля палочковидных форм бактерий от общего числа изолированных колоний составила от 27% (в тт. 6 и 8) до 100% (в т. 7). На фоновом участке р. Черная и на участке акватории водохранилища ниже плотины ГРЭС все изоляты бактерий были представлены кокковидными формами. Большое количество палочковидных форм бактерий было выделено в точках 6–8, где располагаются СОТ. В перечисленных точках значительную долю среди выделенных бактерий составляли Г⁻ формы, коэффициенты минерализации варьировали в диапазоне 0,4–0,5. Из чего можно заключить, что труднорастворимая органика, накопленная в перечисленных точках, имеет не природное, а антропо-

генное (возможно, фекальное) происхождение, поступающее от садовых участков.

Численность бактерий, усваивающих минеральные формы азота и полимерные органические субстраты (БЦА), использовали для расчета коэффициента минерализации (K_m), который позволяет оценить интенсивность процессов самоочищения водного объекта. Наибольшие коэффициенты минерализации (рис. 3) отмечены в акватории водохранилища ниже плотины, а также на фоновом участке р. Черная (тт. 1 и 2). В точках 3–9, расположение которых связано с близостью расположения СОТ, и в точке 13, где производится водосброс, коэффициент минерализации снижается и составляет 0,5 ед., что свидетельствует о низкой способности водного объекта к самоочищению на данных участках акватории.

Хорошим диагностическим признаком уровня загрязнения водного объекта является соотношение числа грамположительных (Г⁺) и грамотрицательных (Г⁻) форм бактерий. В незагрязненных водоемах преобладают Г⁺ формы бактерий, увеличение доли Г⁻ форм свидетельствует об антропогенной нагрузке на водный объект [17; 18, с. 26; 19, с. 132–133]. Результаты подсчета морфологии и грампринадлежности изолированных культур бактерий представлены на рис. 4. Во всех исследованных пробах воды, за исключением точек 6 и 7, в числе изолированных колоний бактерий доминировали Г⁺ формы. Значительная доля Г⁻ форм (более 40%) выявлена в точках 6 и 7 в зонах влияния СОТ «Буровик» и «Рассвет» с выходом дачных участков в акваторию.

генное (возможно, фекальное) происхождение, поступающее от садовых участков.

Для корреляционного анализа (табл. 1), помимо данных о численности бактерий, были использованы данные о гидрохимических показателях проб воды, которые были опубликованы ранее [5]. Бактерии всех изучаемых групп осуществляют процессы микробиологического самоочищения водного объекта от органических веществ с образованием подвижных биогенных ионов. Полученные взаимосвязи подтверждают нормальное протекание процессов микробиологической трансформации органики в водохранилище. Так, получены положительные коэффициенты корреляции средней силы численности бактерий с температурой воды (0,49–0,61), перманганатной окисляемостью (0,74–0,75), концентрацией нитрит-ионов (0,5–0,62), ионов аммония (0,4–0,64). Также мы получили высокие положительные корреляционные взаимосвязи численности бактерий различных групп между собой (0,8–0,93), что объясняется гетеротрофным характером питания микроорганизмов.

Таблица 1 – Результаты корреляционного анализа

Коррелирующие показатели	Коэффициент корреляции Пирсона
БЦА/Температура воды	0,61
СБ/Температура воды	0,57
БГКП/Температура воды	0,49
БЦА/Перманганатная окисляемость	0,74
СБ/Перманганатная окисляемость	0,75
БГКП/Перманганатная окисляемость	0,74
БЦА/NO ₂ ⁻	0,55
СБ/ NO ₂ ⁻	0,82
БГКП/ NO ₂ ⁻	0,5
БПН/NH ₄ ⁺	0,4
СБ/ NH ₄ ⁺	0,64
БГКП/ NH ₄ ⁺	0,42
БЦА/СБ	0,86
БЦА/БГКП	0,93
СБ/БГКП	0,80

Выводы

1. Выполнена оценка площади нарушенных компонентов ландшафта при затоплении ложа водохранилища. Общая площадь акватории составила 2211 га, в том числе под затоплением оказались 50% лесных, 20% луговых, 5% болотных сообществ. Для ведения экологического мониторинга создана опорная экологическая карта окрестностей водохранилища с указанием природных и техногенных объектов, которая в дальнейшем была использована для обоснования выбора точек отбора проб воды.

2. Изучена численность бактерий трех экологотрофических групп в структуре микробного сообщества. По численности сапрофитных бактерий водохранилище-охладитель относится к категориям «слабо загрязненные» на фоновом участке р. Черная и «загрязненные» в остальных контрольных створах. Во всех пробах воды были выявлены бактерии группы кишечной палочки, что подтверждает фекальное загрязнение. Значительная доля Г⁺ кокковидных форм бактерий была выявлена на фоновом участке реки Черная и в акватории водохранилища ниже водозаборной плотины. Потенциал водоема-охладителя к самоочищению с наибольшими коэффициентами минерализации органического вещества был наиболее высоким на тех же участках акватории. Полученные корреляционные взаимосвязи подтверждают нормальное протекание процессов микробиологической трансформации органики в водохранилище.

3. Индикаторами антропогенной нагрузки на водный объект по микробиологическим показателям являются высокая численность сапрофитных гетеротрофных бактерий и бактерий группы кишечной палочки, преобладание в структуре микробного сообщества грамотрицательных палочковидных форм бактерий, низкие значения коэффициента минерализации. Антропогенная нагрузка преимущественно рекреационного характера формируется от садоводогороднических товариществ, выходящих к акватории водохранилища. Техногенное воздействие на микробное сообщество от тепловых электростанций выражается в создании оптимального температурного режима для развития бактерий в результате сброса нагретых циркуляционных вод.

Список литературы:

1. Маюрова М.В. Водные беспозвоночные водотоков Сургутского района: фауна, экология, биоиндикация: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сургут, 2004. 20 с.
2. Павленко А.В., Стариков В.П., Матковский А.В. Комплексная оценка водных объектов с помощью рыб-индикаторов (на примере водоемов г. Сургута и Сургутского района) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 8. С. 47–53.
3. Павленко А.В., Стариков В.П. Карповые (Cypripinidae) урбанизированных и ненарушенных территорий Среднего Приобья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 10. С. 39–44.
4. Павленко А.В., Стариков В.П., Ибрагимов Д.В., Берников К.А. О морфо-патологических изменениях рыб в водных объектах в районе города Сургута // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2016. № 2. С. 45–49.
5. Шорникова Е.А., Рыбчак Е.А. Гидрохимическая характеристика прибрежных участков акватории Сургутского водохранилища // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2018. № 1. С. 88–101.
6. Рыбчак Е.А., Шорникова Е.А. Характеристика экосистемы охладителя тепловой электростанции на примере водохранилища Сургутской ГРЭС-2 // Роль науки в решении проблем региона и страны: фундаментальные и прикладные исследования: мат-лы междунар. конф., посв. 70-летию КарНЦ РАН. Петрозаводск, 2016. С. 191.
7. Шорникова Е.А. Характеристика гидрохимического режима водотоков широтного отрезка Средней Оби // Водное хозяйство России. 2007. № 2. С. 57–72.
8. Бабушкин А.Г., Московченко Д.В., Пикун С.В. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: монография. Новосибирск: Изд-во «Наука», 2007. 151 с.
9. Обзор состояния окружающей среды города Сургута 1993–2003 гг. Сургут: Дефис, 2003. 148 с.
10. ГОСТ 31861–2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 36 с.
11. Шорникова Е.А. Методические рекомендации по планированию, организации и ведению мониторинга поверхностных водотоков: гидрохимические и микробиологические методы. Сургут: Дефис, 2007. 88 с.
12. Булатов А.И., Макаренко П.П., Шеметов В.Ю. Справочник инженера-эколога нефтегазодобывающей промышленности по методам анализа загрязнителей окружающей среды. М.: Недра, 1999. Ч. 1. Вода. 732 с.
13. Микроорганизмы в экосистемах Приамурья / Л.М. Кондратьева, Л.А. Гаретова, Е.Л. Имранова, О.А. Кириенко, Л.М. Чухлебцова, Е.А. Каретникова. Владивосток: Дальнаука, 2000. 198 с.
14. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / И.С. Ильина, Е.И. Лапшина, Н.Н. Лавренко и др. Новосибирск: Наука, 1985. 251 с.
15. Жукин В.Н., Оксий О.П., Олейник Г.Н., Кошелева С.И. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиологический журнал. 1981. Т. 17, № 2. С. 38–39.

16. Шорникова Е.А., Куяров А.В. Оценка санитарно-микробиологического состояния водотоков бассейна широтного отрезка Средней Оби // Проблемы региональной экологии. 2007. № 4. С. 95–99.

17. Мамонтова Л.М. Основы микробиологического мониторинга водных экосистем и контроля питьевой воды: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Иркутск, 1998. 40 с.

18. Перетрухина А.Т., Богданова О.Ю., Макаревич Е.В., Мищенко Е.С., Новикова А.Н. Разработка методологии микробиологического мониторинга во-

дных экосистем бассейна Кольского залива // Фундаментальные исследования. 2011. № 1. С. 22–28.

19. Анганова Е.В., Фадеева Т.В., Астафьев В.А., Курносоев А.Д., Мамонтова Л.М. Характеристика структуры микробного сообщества р. Вилюй // Acta Biomedica Scientifica. 2006. № 6. С. 132–135.

20. Студеникина Е.И., Толоконникова Л.И., Воловик С.П. Микробиологические процессы в Азовском море в условиях антропогенного воздействия. М.: ФГУП «Нацрыбресурсы», 2002. 168 с.

CURRENT STATE OF THE ECOSYSTEM OF THE RESERVOIR COOLER (ON THE EXAMPLE OF THE SURGUT POWER STATION)

© 2018

Shornikova Elena Aleksandrovna, candidate of biological sciences, associate professor of Ecology Department
Kukurichkin Gleb Mikhaylovich, candidate of biological sciences, associate professor of Ecology Department
Surgut State University (Surgut, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russian Federation)

Abstract. Rapid development of an oil and gas industry in the north of Western Siberia in the middle of the 20th century has demanded a significant amount of the electric power. This strategic task was carried out step by step in the neighborhood of Surgut (the largest oil and gas industry center on the Middle Priobye). Two gas-fired power stations have been consistently constructed. The integrated reservoir cooler has been built on the river Chernaya for cooling of circulating water in the system of reverse water supply of power plants. The article presents the assessment of consequences of flooding at construction of the Surgut reservoir. The total area of the water area of a reservoir is 2211 hectares, including 50% of forest, 20% of meadow, 5% of peat bog communities were under flooding. The authors of the paper develop the basic ecological map of the reservoir and neighborhood with the indication of natural and technogenic objects. Moreover they give the results of two years' monitoring of microbial community structure in the coastal zone of the reservoir cooler. They find it is important to provide the assessment of intensity of self-cleaning processes of the water object and analyze the sources of anthropogenic load on the water object. The microbiological methods which important to use for bio indication of an ecological condition of the Surgut reservoir have allowed to estimate the trophic status, to reveal ecologically unsuccessful sites of the water area, and to define intensity of self-cleaning processes in the water body.

Keywords: monitoring of water ecosystems; reservoir cooler; broken ecosystems; flooding area; hydrochemical indicators; anthropogenic loading; thermal pollution; assessment of water quality; structure of microbial community; indicators of anthropogenic loading; self-cleaning of water body.