



УДК 556.114:556.115:579.8  
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.28.36>

## Гидрохимическая, микробиологическая характеристика и качество вод Богучанского водохранилища в первые годы формирования режима

Т. И. Земская, А. С. Захаренко, Л. М. Сороковикова, Н. П. Сезько,  
Н. А. Жученко, Н. В. Башенхаева, В. В. Минаев

*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск, Россия*  
*E-mail: tzema@lin.irk.ru*

**Аннотация.** Представлены результаты гидрохимических и микробиологических исследований, выполненных в июле 2016 г. на акватории Богучанского водохранилища от зоны подпора до плотины. Обсуждаются изменения температуры воды, концентраций химических компонентов, численности и видового разнообразия бактериопланктона при зарегулировании р. Ангары. Установлены увеличение концентраций биогенных элементов, особенно в придонных слоях, значительные колебания общей численности микроорганизмов (ОЧМ) и органотрофных бактерий. Аналогичная ситуация наблюдалась при создании других ангарских водохранилищ. На правобережных станциях зарегистрированы колиформные бактерии (ОКБ), термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) и энтерококки, что указывает на поступление в водоём хозяйственно-бытовых стоков. На основании полученных результатов дана оценка качества воды Богучанского водохранилища в первые годы его формирования.

**Ключевые слова:** водохранилища, химический состав, микробиологические показатели, качество вод.

**Для цитирования:** Гидрохимическая, микробиологическая характеристика и качество вод Богучанского водохранилища в первые годы формирования режима / Т. И. Земская, А. С. Захаренко, Л. М. Сороковикова, Н. П. Сезько, Н. А. Жученко, Н. В. Башенхаева, В. В. Минаев // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2019. Т. 28. С. 36–55. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.28.36>

### **Введение**

Богучанское водохранилище является четвёртым в каскаде ангарских водохранилищ, объединённых в единую эколого-гидрологическую систему проточных водоёмов. Особенностью этих водохранилищ является высокая зарегулированность водного стока р. Ангары озером Байкал. Создание Иркутского, Братского и Усть-Илимского водохранилищ привело к перераспределению водного стока и изменению условий формирования гидрохимического и гидробиологического режимов [Васильева, Кожова, 1960; Верболова, 1973; Воробьёва, 1995; Кожова, Мамонтова, 1979; Формирование природных ... , 1970]. На основании результатов исследований в разные периоды существования ангарских водохранилищ и данных, получен-

ных на незарегулированном участке Ангары ниже плотины Усть-Илимской ГЭС [Воробьёва, Стрижова, Земская, 1986; Егорова, Стрижова, 1985; Стрижова, Егорова, 1983], был подготовлен прогноз состояния разных компонентов экосистемы Богучанского водохранилища в период формирования и стабилизации [Элементы прогноза ... , 2010]. Прогнозировалось ухудшение гидрохимической обстановки (дефицит кислорода, развитие сероводородных зон над затопленными болотами и в слабопроточных заливах, увеличение концентраций минеральных соединений азота и фосфора), увеличение общей численности микроорганизмов (ОЧМ) и сапрофитных (органотрофных) бактерий. В качестве основных факторов, влияющих на состояние и формирование химического состава воды и микробиологических показателей, рассматривались такие, как сток из Усть-Илимского водохранилища, поступление промышленно-коммунальных стоков, а также процессы окисления затопленных органических веществ почв и растительности.

Наполнение Богучанского водохранилища до нормального подпорного уровня (НПУ) было закончено в 2014 г. Как правило, во вновь созданных водохранилищах [Мусатов, Эйно́р, Эльпинер, 1979] в этот период наблюдается наименьшая стабильность состава вод, которая определяется состоянием затопленной территории, поступлением очищенных и неочищенных промышленных и бытовых сточных вод и эффективностью режима эксплуатации водохранилища. Целью настоящей работы являлось исследование пространственной динамики концентраций компонентов химического состава воды, численности микроорганизмов, в том числе санитарно-бактериологических, а также оценка качества вод в первые годы формирования режима Богучанского водохранилища.

### *Материал и методы*

Комплексные гидрохимические и микробиологические исследования на акватории водохранилища выполнены в июле 2016 г. Отбор образцов для гидрохимических и микробиологических анализов проводился на 15 разрезах Богучанского водохранилища, включая районы нижних бьефов Усть-Илимской и Богучанской ГЭС (рис. 1).

На санитарно-микробиологический и химический анализы было отобрано и исследовано 110 проб воды. Для подсчёта ОЧМ пробы воды фиксировали 4%-ным формалином, окрашивали флюорохромным красителем ДАФИ (4,6-диамино-2-фенилиндол) (Sigma-Aldrich, США) [Porter, 1980] и просматривали под эпифлуоресцентным микроскопом (AxioImagerM1, Carl Zeiss, Германия).

Санитарно-микробиологический анализ воды проводили в соответствии с методическими указаниями МУК 4.2.1018-01 и МУК 4.2.1884-04 [Санитарно-микробиологический ... , 2001, 2005]. Общее число мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (ОМЧ), способных образовывать колонии на питательном агаре, определяли на мясопептонном агаре (МПА) при температуре 37 °С в течение 24 ч и при температуре 22 °С в течение 72 ч. Для определения численности органотрофных бактерий использовали среду с рыбо-пептонным агаром (РПА:10)

[Горбенко, 1961]. Чашки Петри с посевами инкубировали при 22 °С в течение 7 сут., после чего учитывали количество выросших колоний. Количество общих (ОКБ) и термотолерантных колиформных (ТКБ) бактерий определяли методом мембранной фильтрации. ОКБ инкубировали на среде Эндо при температуре 37 °С в течение 24 ч. Оксидазный тест проводили с использованием полосок OXItest (Erba Lachema, Чешская Республика). ТКБ определяли на лактозо-пептонной среде при температуре 44 °С в течение 24 ч. Определение спор сульфитредуцирующих клостридий проводили методом фильтрации, как описано выше. Фильтры переносили на чашки Петри, предварительно залитые железосульфитным агаром. Культивирование проводили при температуре 44 °С в течение 16–18 ч.

Анализ исследуемых проб на содержание бактерий рода *Enterococcus* проводили методом мембранной фильтрации: объёмы воды (50–100 мл) пропускали через фильтр с размером пор 0,45 мкм, который затем помещали на селективные среды. Для выявления энтерококков использовали питательный селективный агар, содержащий 2,3,5-трифенилтетразолийхлорид и азид натрия ( $\text{NaN}_3$ ), который подавляет рост грамотрицательных бактерий. Посевы инкубировали при 37 °С. Для уточнения результата фильтр с выросшими колониями переносили на среду, содержащую желчь, эскулин и лимонно-аммиачное железо (III), и инкубировали при 44 °С в течение двух часов. Наличие фекальных энтерококков определяли по наличию в среде черного пигмента, образующегося при гидролизе эскулина. На разрезах 2 и 3 исследовалась численность целлюлозоразрушающих и нефтеокисляющих бактерий. Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов учитывали чашечным методом на агаре Гетчинсона – Клейтона. Инкубацию проводили при 22 °С, колонии учитывались на десятый день после посева [Титова, Козлов, 2012]. Численность нефтеокисляющих бактерий учитывали на среде Бушнелл – Хааса [Bushnell, Haas, 1941] методом глубинного посева при температуре 22 °С. Метанотрофные бактерии учитывали на средах NMS и M2 [Dedysh, Panikov, Tiedje, 1998].

Химический анализ воды выполнен общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [Барам, Верещагин, Голобокова, 1999; Руководство по химическому ... , 2009; Wetzel, Likens, 1991]. Определение катионов ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) выполнено атомно-абсорбционным и пламенно-эмиссионным методами (относительная погрешность 2–3 %), анионов ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) – методом ВЭЖХ (относительная погрешность 5–10 %). Определение биогенных элементов осуществлялось колориметрическим методом: относительная погрешность метода для фосфат-ионов –  $\pm 1,5$  %, нитрат-ионов –  $\pm 3$ –5 %. Определение аммонийного азота выполнено индофенольным методом, относительная погрешность до  $\pm 5$ %.

Достоверность полученных результатов концентраций биогенных элементов проверялась регулярным проведением контроля качества анализов в рамках международной программы EANET по тестированию стандартных образцов поверхностных вод. Измеренные концентрации главных ионов контролировали путём расчёта ошибки ионного баланса ( $R_1$ ) и сравнением рассчитанной и измеренной удельной электропроводности ( $R_2$ ).

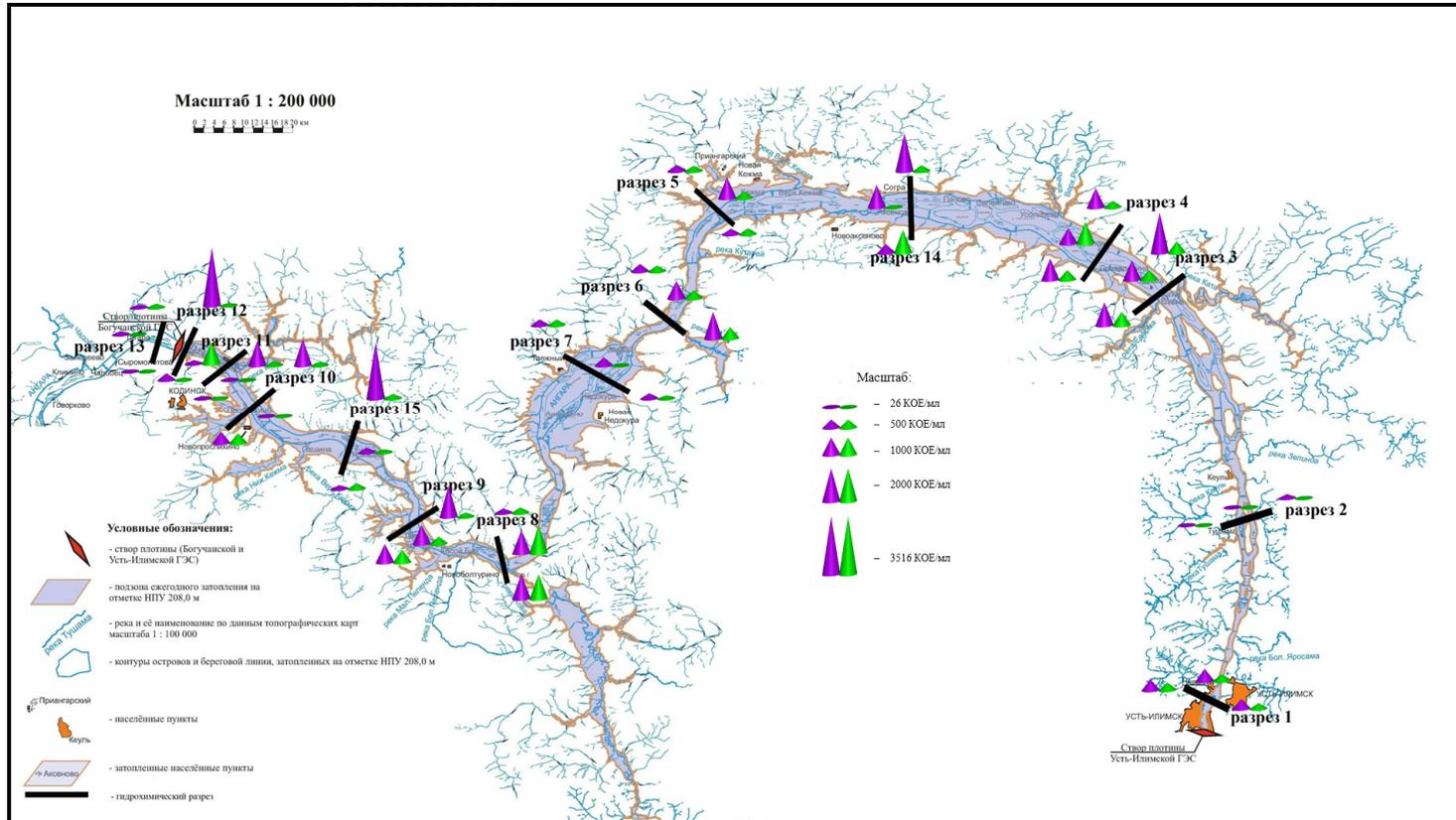


Рис. 1. Схема отбора проб и численность органотрофных бактерий в поверхностной (чёрные) и придонной (серые) воде в разных районах Богучанского водохранилища

### Результаты и обсуждение

*Физико-химическая характеристика вод.* В период исследования температура воды в Богучанском водохранилище изменялась от 3,5 до 20,1 °С. По длине водохранилища более низкие значения температуры (4,1–5,7 °С) отмечены в зоне подпора (разрез 1 на рис. 1), что обусловлено поступлением глубинных вод Усть-Илимского водохранилища. На этом участке и ниже по течению до разреза р. Ёдарма – р. Ката (разрезы 1–3) распределение температуры по глубине было достаточно равномерным. На разрезе 3 и далее к плотине наблюдалось увеличение глубины и снижение температуры воды в придонных слоях на 5–6 °С. Ниже по течению у устьев рек Ёдарма – Ката (разрез 3) температура поверхностного слоя воды на акватории водохранилища изменялась от 17,2 до 20,1 °С, в придонных – от 3,5 до 7,5 °С, наиболее низкие температуры зарегистрированы на приплотинном участке Богучанского водохранилища. Вертикальный профиль температуры воды в этом районе свидетельствовал о наличии температурного скачка на глубине 10–15 м, разница температуры между этими горизонтами составляла 7 °С (рис. 2). Температура воды в центральной транзитной части водохранилища на 1–2 °С ниже по сравнению с регистрируемой в прибрежной части разрезов. Например, на разрезе 9 температура у правого берега составляла 19,8 °С, на середине – 18,5 °С, у левого – 19,3 °С.

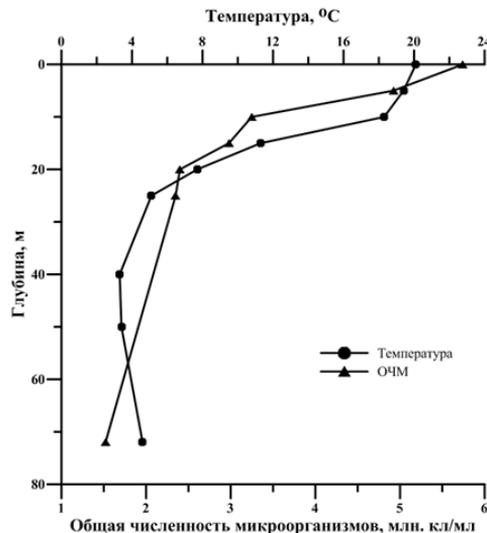


Рис. 2. Вертикальное распределение температуры воды на приплотинном участке Богучанского водохранилища, июль 2016 г.

В Богучанском, как и в вышерасположенных водохранилищах Ангарского каскада, вода маломинерализованная, гидрокарбонатного класса, группы кальция. Сумма ионов в воде водохранилища изменялась в пределах 135–154 мг/дм<sup>3</sup> и была близка к прогнозным данным – 136±10 мг/дм<sup>3</sup> [Элементы прогноза ... , 2010]. Рост показателя (на 5–10 мг/дм<sup>3</sup>) отмечен выше

по течению в зоне влияния Усть-Илимского водохранилища. При продвижении к плотине Богучанской ГЭС минерализация снижалась незначительно, что могло быть следствием поступления менее минерализованных паводковых вод. Незначительные изменения содержания главных ионов в воде водохранилища обусловили небольшой диапазон колебаний электропроводности: 190–228 мкСм/см. Более высокие показатели этого параметра (200–228 мкСм/см), как и минерализации воды, отмечены на разрезах 1–3, где содержание ионов определяется составом вод Усть-Илимского водохранилища. Ниже по течению вплоть до верхнего бьефа Богучанской ГЭС электропроводность изменялась от 190 до 197 мкСм/см. Определённой закономерности в распределении концентраций главных ионов, минерализации воды и электропроводности по глубинным горизонтам в водохранилище не установлено.

Воды водохранилища слабощелочные, величина рН составляла 7,31–8,79, повышение показателя отмечалось в поверхностном слое, что обусловлено пониженными концентрациями диоксида углерода. Содержание  $\text{CO}_2$  в поверхностном слое изменялось в пределах 0,5–1,8 мг/дм<sup>3</sup>, в придонном – 2,9–8,9 мг/дм<sup>3</sup>. Концентрация растворённого кислорода в основном была благоприятной для жизни гидробионтов и изменялась от 5,1 до 12,4 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные концентрации кислорода отмечены в зоне подпора (разрез 1) в результате обогащения водных масс кислородом при прохождении через плотину Усть-Илимской ГЭС. На среднем и нижнем участках водохранилища концентрация кислорода снижалась у дна до 5,1–7,4 мг/дм<sup>3</sup>, в поверхностном слое – до 7,7–10,1 мг/дм<sup>3</sup>. Снижение содержания кислорода в придонных слоях обусловлено его расходом на деструкцию органического вещества. Наиболее низкие концентрации растворённого кислорода у дна зарегистрированы над заболоченными участками и в малопроточных заливах. Так, на разрезе 6 у левого берега концентрация кислорода у дна составляла 1,4 мг/дм<sup>3</sup>, а в зал. Кова, над затопленным озером, кислород в пробе не зафиксирован, при отборе проб регистрировался запах сероводорода.

Распределение концентраций азота, фосфора и органических веществ по акватории и по глубине водохранилища существенно различалось. Повышенные концентрации этих биогенных элементов на участке водохранилища между разрезами 1 и 3 обусловлены поступлением хозяйственно-бытовых сточных вод г. Усть-Илимска и глубинных вод Усть-Илимского водохранилища, обогащённых азотом и фосфором. Здесь отмечалось повышение содержания нитратного азота (до 204–227 мкг  $\text{NO}_3^-/\text{дм}^3$ ), минерального фосфора (до 62–88 мкг  $\text{PO}_4^{3-}/\text{дм}^3$ ), а также численности ОКБ и энтерококков (по правому берегу). Увеличение концентраций биогенных элементов и органических веществ в придонном слое разреза 3 и далее по водохранилищу, скорее всего, являлось следствием увеличения глубин, снижения скорости течения и температурного расслоения водных масс, препятствующего вертикальному водообмену. Более низкие концентрации биогенных элементов в поверхностном слое по сравнению с придонным (табл. 1) могут быть следствием их активного потребления фитопланкто-

ном, массовое развитие которого отмечается в ангарских водохранилищах в июле – августе [Воробьева, 1995].

Общее содержание органических веществ в воде изменялось в пределах 5,9–12,1 мг  $O_2/дм^3$  (см. табл. 1), более высокие концентрации (16,6 мг  $O_2/дм^3$ ) в поверхностном слое отмечены на разрезе 14 у левого берега, в придонном слое (19,1 мг  $O_2/дм^3$ ) – на разрезе 6 у левого берега, где зафиксировано наименьшее содержание растворённого кислорода. Величина биохимического потребления кислорода (БПК<sub>5</sub>), являющегося показателем содержания легкогидролизуемого органического вещества (ЛОВ), в поверхностном слое воды по всей акватории водохранилища изменялась от 0,79 до 2,28 мг  $O_2/дм^3$ , в придонном – 0,37–1,68 мг  $O_2/дм^3$ . Более высокие значения величины БПК<sub>5</sub> (см. табл. 1) и температуры воды (см. рис. 2) в поверхностных слоях могут свидетельствовать о более высокой активности деструкционных процессов в этой зоне водного столба.

Таблица 1

Концентрация биогенных элементов и органических веществ в водах Богучанского водохранилища (центральные станции), июль 2016 г.

Разрезы (согласно рис. 1)	$NO_3^-$ , мкг/дм <sup>3</sup>		$PO_4^{3-}$ , мкг/дм <sup>3</sup>		$NH_4^+$ , мкг/дм <sup>3</sup>		БПК <sub>5</sub> , мг $O_2/дм^3$		ХПК, мг $O/дм^3$	
	пов.*	дно	пов.	дно	пов.	дно	пов.	дно	пов.	дно
2	100	199	36	59	2	3	1,80	1,25	5,9	5,9
4	40	29	9	33	1	2	1,24	0,51	10,4	8,2
7	23	56	1	55	4	2	1,52	0,69	6,9	7,5
9	3	298	7	67	1	23	2,16	0,87	8,3	8,3
10	1	399	3	59	2	4	1,08	0,50	9,5	10,4
12	23	469	3	82	8	21	1,22	0,43	12,1	10,7

Примечание.\* – поверхность

Химический состав воды, абсолютные концентрации компонентов и температура воды в нижнем бьефе Богучанской ГЭС близки к отмечаемым в верхнем бьефе на глубине 25–40 м, что согласуется с техническими характеристиками Богучанской ГЭС, предусматривающими забор воды в верхнем бьефе именно с этих горизонтов. Минерализация воды изменялась в пределах 141–146 мг/дм<sup>3</sup>, концентрации аммонийного азота – 2–4 мкг  $NH_4^+/дм^3$ , нитратного азота – 52–380 мкг  $NO_3^-/дм^3$ , нитритного азота – <1 мкг  $NO_2^-/дм^3$ , минерального фосфора – 45–100 мкг  $PO_4^{3-}/дм^3$ .

*Санитарно-микробиологические исследования.* Распределение микроорганизмов по вертикали и медиали Богучанского водохранилища оказалось мозаичным, что отмечалось и в других ангарских водохранилищах [Виноградова, 1987; Кожова, 1979; Мамонтова, 1976; Планктон Братского ... , 1981]. Численность органотрофных бактерий варьировала от 26 до 3516 кл/мл (см. рис. 1), ОЧМ – от 1,5±0,2 до 9,8±1,0 млн кл/мл. Значения ОЧМ в воде ниже Усть-Илимской и Богучанской ГЭС различаются незначительно: 1,6±0,1–2,4±0,2 и 1,5±0,2–2,9±0,4 млн кл/мл соответственно. В верхнем бьефе Богучанской ГЭС численность микроорганизмов варьировала в более широких пределах: от 1,5±0,2 до 9,8±1,0 млн кл/мл. Повышенные (до 3516 кл/мл) значения содержания ОЧМ и органотрофных бактерий реги-

стрировались в прибрежной части разрезов по правому берегу. В этих же локациях в небольших количествах отмечались ОКБ (4–8 КОЕ в 100 мл), ТКБ (до 4 КОЕ в 100 мл), ОМЧ (до 606 КОЕ на 100 мл), энтерококки (24 КОЕ в 100 мл), что может быть следствием поступления хозяйственно-бытовых стоков и фекального загрязнения.

Вертикальное распределение ОЧМ коррелировало с температурой воды. Высокие значения ОЧМ отмечены в поверхностном слое верхнего бьефа Богучанской ГЭС и на глубине 5 м, где она составляла  $5,7 \pm 0,7$  и  $4,9 \pm 0,3$  млн кл/мл соответственно (см. рис. 2). Ниже слоя температурного скачка, на глубинах 20–40 м и в придонном слое численность бактерий снижалась и варьировала от  $1,5 \pm 0,3$  до  $2,4 \pm 0,3$  млн кл/мл. Близкие по величине значения ОЧМ из этих горизонтов отмечались в водных образцах, отобранных ниже плотины Богучанской ГЭС ( $1,5 \pm 0,2$  –  $2,9 \pm 0,4$  млн кл/мл).

Численность органотрофных бактерий также значительно изменялась по длине и на поперечных разрезах водохранилища. В верхней части Богучанского водохранилища (разрез 1) численность органотрофных бактерий (355–742 кл/мл) оказалась выше наблюдаемой в нижнем бьефе (46–419 кл/мл), что может быть обусловлено меньшим объёмом поступающих сюда промышленно-коммунальных стоков. Количество бактерий этой группы было выше по правому берегу (разрезы 3, 9–12, 15) и лишь на разрезе 6 – по левому (см. рис. 1). Такое распределение согласуется с топографией источников хозяйственно-бытовых и промышленных сбросов в районе г. Усть-Илимска: стоки КОС поступают с левого берега, а стоки ЛПК – с правого. Кроме того, пространственная неоднородность распределения микроорганизмов может быть обусловлена неодинаковой доступностью ЛОВ и различием в составе затопленных растительных субстратов и земель (луговая и болотная растительность, деревья, затопленные сельхозугодья).

В зоне подпора Богучанского водохранилища (ниже Усть-Илимской ГЭС) численность органотрофов варьировала от 670 до 742 кл/мл, наиболее низкие значения отмечались на разрезе 2 (43–252 кл/мл), что может быть следствием разбавления ангарских вод водами р. Тушамы. Ниже по течению более высокие значения численности органотрофных бактерий, как правило, отмечались в поверхностных слоях воды (см. рис. 1), характеризующихся более высокой температурой и значениями величины БПК<sub>5</sub> (см. табл. 1). Дополнительным источником ЛОВ, скорее всего, является фитопланктон, в массе развивающийся в этот период в ангарских водохранилищах [Воробьёва, 1995], количество и доступность поставляемого им вещества может быть выше по сравнению с поступающим из затопленных почв и от растительности. Лишь на некоторых разрезах (4 и 14) более высокое содержание органотрофных бактерий отмечалось в придонном слое воды, где сказывается влияние затопленных угодий или пашен. Значительные колебания численности органотрофных бактерий отмечались и в приплотинной части Богучанского водохранилища (разрез 12) –  $160$ – $3\ 516$  кл/мл.

*Санитарно-бактериологические показатели* приведены в табл. 2 и 3. ОКБ не выявлены в 23 % проб, а наиболее высокие их значения отмечены на

разреze 2 (до 80 КОЕ ОКБ в 100 мл воды) и в поверхностных слоях воды в районах затопленных поселений (разрезы 15 и 10). Наличие ТКБ зарегистрировано в 51 % исследованных образцов воды, но превышение норматива по этому показателю зарегистрировано всего в 5 % проб. Наибольшее количество этих бактерий (492 КОЕ в 100 мл) отмечалось в поверхностных слоях воды на разрезе 15 (дер. Рожково) и у правого берега на разрезе 10 (144 КОЕ в 100 мл).

Таблица 2

Оценка качества воды в Богучанском водохранилище, по данным 2016 г.  
(в соответствии с СанПиН 2.1.5.980-00 [2000])

Показатели	Категории водопользования	
	для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий	для рекреационного водопользования, а также в черте населённых мест
Термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) [СанПиН 2.1.5.980-00, 2000]	Не более 100 КОЕ/100 мл	
КОЕ ТКБ в Богучанском водохранилище	КОЕ/100 мл не выявлялись в 51 % проб, максимальное – 492 КОЕ/100 мл	
Общие колиформные бактерии (ОКБ) [СанПиН 2.1.5.980-00, 2000]	< 1000 КОЕ/100 мл	< 500 КОЕ/100 мл
КОЕ ОКБ в Богучанском водохранилище	Минимальное 0 КОЕ/100 мл (23 % проб), максимальное – 492 КОЕ/100 мл	

Таблица 3

Санитарно-бактериологические и химические показатели вод  
Богучанского водохранилища, по данным 2016 г.  
(в соответствии с СанПиН 2.1.4.1074-01 [2002])

Показатели [СанПиН 2.1.4.1074-01, 2002]	Единицы измерения	Нормативы	Минимальные и максимальные значения
Термотолерантные колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	0	0–492
Общие колиформные бактерии	Число бактерий в 100 мл	0	0–492
Общее микробное число при культивировании 22 °С	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50	10–1515
Общее микробное число при культивировании 37 °С	Число образующих колонии бактерий в 1 мл	Не более 50	0–606
Споры сульфитредуцирующих клостридий	Число спор в 20 мл	0	0–2 (только на разрезе 2)
Минерализация	мг/дм <sup>3</sup>	1000	136–157
Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	500	7,9–14,5
Хлориды (Cl <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	350	4,5–13,6
Нитраты (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	45	0,002–0,588

По содержанию ОКБ и ТКБ вода в разных районах Богучанского водохранилища в июле 2016 г. соответствовала нормативам для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, а также для водоснабжения пищевых предприятий, и лишь в одной пробе может рассматриваться как не соответ-

ствующая нормативу для рекреационного водопользования, а также в черте населённых мест (см. табл. 2).

Бактерии рода *Enterococcus* были обнаружены в 19 % анализируемых проб, в основном в поверхностной воде прибрежных районов, где их количество колебалось от 1 до 142 КОЕ/100 мл. Поскольку фекальные стрептококки способны выживать в воде непродолжительное время, их присутствие свидетельствует о наличии фекального загрязнения [Нетрусов, Егорова, Захарчук, 2005], поступающего, очевидно, со сточными водами г. Усть-Илимска. В воде Богучанского водохранилища также выявлены аэробные целлюлозоразлагающие бактерии, численность которых сопоставима с таковой органотрофных бактерий. Максимальное количество первых составляло 540 кл/мл, что гораздо выше значений, отмечаемых в Усть-Илимском и Хантайском водохранилищах (табл. 4) [Виноградова, 1987; Гидрохимические и гидробиологические ... , 1986]. Возможно, более высокие значения численности этих бактерий обусловлены не только высокой степенью прогрева вод в наблюдаемый период, но также применявшимся для их культивирования субстратом: в качестве единственного источника углерода была использована лигноцеллюлоза, а не фильтровальная бумага.

Численность нефтеокисляющих микроорганизмов определяли на четырёх разрезах (1, 3, 5, 13) и в р. Ангаре выше устья р. Ковы. Максимальные значения отмечены в устье р. Ковы, где были затоплены старые нефтяные скважины. Количество бактерий варьировало от 5 до 623 КОЕ/мл. В поверхностной воде их содержание было на порядок выше, чем в придонных образцах. Численность нефтеокисляющих бактерий в исследуемых районах сопоставима со значениями, отмечаемыми в районах естественного выхода нефти в оз. Байкал [Микробные сообщества ... , 2012].

Формирование гидрохимического и микробиологического режимов в Богучанском водохранилище происходило под влиянием стока из вышерасположенных водоёмов. Зарегулирование стока р. Ангары и создание ангарских водохранилищ обусловило увеличение суммы ионов вниз по каскаду: 88–100 мг/дм<sup>3</sup> в Иркутском водохранилище [Николаева, 1964] до 100–136 мг/дм<sup>3</sup> в Братском [Верболова, 1973] и до 123–188 мг/дм<sup>3</sup> или 117–165 мг/л в Усть-Илимском [Стрижова, 1985]. В этих водохранилищах значения показателя повышались по направлению к плотине на 10–20 мг/дм<sup>3</sup>, тогда как в Богучанском – снижались на 5–10 мг/дм<sup>3</sup> (при максимальных значениях 135–154 мг/дм<sup>3</sup>).

Снижение минерализации, скорее всего, определяется большей проточностью водоёма и низкой минерализацией вод, поступающих с притоками. Рост минерализации в нижерасположенных по каскаду водохранилищах был отмечен при зарегулировании Волги и Днепра [Денисова, 1979; Зенин, 1965]. В результате зарегулирования в воде Богучанского водохранилища произошли повышение концентраций биогенных элементов, значительные колебания ОЧМ и численности органотрофных бактерий [Виноградова, 1987; Гак, Кудрина, 1979; Мамонтова, 1976; Планктон Братского ... , 1981], что отмечалось и в вышерасположенных ангарских и енисейских водохранилищах [Волкова, 1975; Гидрохимические и гидробиологические ... , 1986; Сороковикова, 1985, 1994].

Таблица 4

## Общая численность микроорганизмов и органотрофных бактерий в водохранилищах бассейна Енисея

Параметры	Иркутское		Братское			Усть-Илимское [Виноградова, 1987]		Хантайское [Гидрохимические и гидробиологические ... , 1986]			Богучанское, данные авторов
	1958 г. [Васильева, Кожова, 1960]	1973–1980 гг. [Кожова, 1979]	1962–1964 гг., среднее за весь период [Кибальчич, Артемова, 1970]	1965–1972 гг. [Мамонтова, 1976]	1973–1980 гг. [Мамонтова, 1976; Планктон Братского ... , 1981]	После достижения НПУ, 1978–1981 гг.	1982–1990 гг.	1981 г., август	1982 г., июль	1983 г., июль	2016 г., июль
ОЧМ (тыс. кл/мл)	167–324	502–716	489 (зима), 1144 (лето)	28– 8828	550–2105	100–6800	1000– 12 000	538– 1823	399– 2016	648– 2149	1520–9887
Численность органотрофных бактерий (кл/мл)	–	16–1688	24 (зима), 340 (лето)	24– 9600	–	до 18 000		70–708	24–726	143– 1680	26–3516
Целлюлозо- разлагающие бактерии (кл/мл)	–	–	35 (лето, 1963 г.), 250 (лето, 1964 г.)	–	–	–	45 (1987 г.)	–	1–10	0,01–0,2	до 540
Нефтеокисляю- щие бактерии (кл/мл)	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	до 455

Результаты исследований гидрохимических и микробиологических показателей, полученные при исследовании водной толщи Богучанского водохранилища в 2016 г., в целом соответствуют прогнозным данным. По сравнению с р. Ангарой в водохранилище отмечены небольшое увеличение концентраций минерального азота и фосфора, повышение значений ОЧМ и численности органотрофных бактерий в локальных зонах, неудовлетворительный кислородный режим. В водной толще разных районов Богучанского водохранилища выявлены микроорганизмы, способные окислять широкий спектр субстратов (ЛОВ, метан, целлюлозу, жидкие углеводороды) и таким образом обеспечивать деструкцию этих соединений в районах затопленных торфяников, лесных и сельскохозяйственных угодий. Более высокие значения микробиологических показателей и БПК<sub>5</sub> в поверхностных слоях воды могут быть следствием более интенсивной деструкции ОВ, образованного в процессе массового развития водорослей [Воробьева, 1995]. Кроме того, на качество вод в дальнейшем могут оказывать влияние торфяники, поскольку процесс их оттаивания и всплывания на водохранилищах Сибири имеет долгосрочный характер [Савкин, 2000].

В отношении органотрофных бактерий и отношению ОЧМ к численности органотрофных бактерий вода Богучанского водохранилища по степени загрязнённости характеризуется как условно-чистая, тогда как по содержанию ОЧМ в разных частях водохранилища варьирует от условно-чистой до грязной [РД-52.24.309-2016, 2016]. При использовании воды в целях питьевого водоснабжения необходимо проведение дополнительных мероприятий, поскольку практически все показатели превышают санитарно-эпидемиологические нормативы [СанПиН 2.1.4.1074-01, 2002].

Минерализация воды, концентрации биогенных элементов и органических веществ в воде Богучанского водохранилища в июле 2016 г. не превышают ПДК для водоёмов нецентрализованного водоснабжения, незначительное превышение величины БПК<sub>5</sub> (2,16 мг О<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) отмечено только на разрезе 9. В соответствии с санитарными нормами [Вода. Санитарные ... , 2004], вода в Богучанском водохранилище по содержанию нормируемых химических компонентов (минерализация воды, концентрации главных ионов, нитратного азота, БПК<sub>5</sub>) в основном соответствует нормам нецентрализованного водоснабжения. Следует отметить, что низкие концентрации кислорода в заливах и придонном горизонте некоторых районов водохранилища могут ограничивать использование для рыбохозяйственных целей [Перечень рыбохозяйственных ... , 2010].

### ***Заключение***

Гидрохимические и микробиологические исследования, выполненные в июле 2016 г. на акватории Богучанского водохранилища, показали, что в Богучанском, как и в других водохранилищах ангарского каскада, отмечено повышение концентраций биогенных элементов с максимумом в придонных слоях: минерального фосфора до 88 мкг PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>/дм<sup>3</sup>, нитратного азота до 469

мкг  $\text{NO}_3^-/\text{дм}^3$ , аммонийного азота до  $46 \text{ NH}_4^+$  мкг/ $\text{дм}^3$ . Минерализация вод достигала  $135\text{--}154 \text{ мг}/\text{дм}^3$  и была близка к прогнозной –  $136 \pm 10 \text{ мг}/\text{дм}^3$ .

Зарегистрированы значительные колебания общей численности микроорганизмов (ОЧМ) –  $1\ 520\text{--}9\ 887$  тыс. кл/мл и органотрофных бактерий –  $26\text{--}3516$  кл/мл. В водной толще правобережных станций определены общие колиформные бактерии (ОКБ) –  $4\text{--}8$  КОЕ в 100 мл, термотолерантные колиформные бактерии (ТКБ) до 4 КОЕ в 100 мл, общее микробное число (ОМЧ) до 606 КОЕ на 100 мл, энтерококки до 24 КОЕ в 100 мл, что может быть следствием фекального загрязнения, поступающего с хозяйственно-бытовыми стоками. По содержанию органотрофных бактерий и соотношению ОЧМ к численности органотрофных бактерий воды по степени загрязнённости характеризуются как условно-чистые, тогда как по содержанию ОЧМ на отдельных участках Богучанского водохранилища качество их снижается до условно-чистой или грязной.

По содержанию нормируемых химических компонентов (минерализация воды, концентрации главных ионов, нитратного азота, БПК<sub>5</sub>) вода в Богучанском водохранилище в основном соответствует нормам нецентрализованного водоснабжения.

При изменении режима эксплуатации водохранилища (проточности, уровня, количества всплывающих торфяников, количества сбрасываемых бытовых и промышленных стоков) следует учитывать большую степень вероятности увеличения продукции гидробионтов и, как следствие, изменения трофности водохранилища.

*Работа выполнена в рамках темы № 0345-2019-0008 госзадания НИИР Лимнологического института СО РАН.*

#### Список литературы

Барам Г. И., Верещагин А. Л., Голобокова Л. П. Применение микроколоночной высокоэффективной жидкостной хроматографии с УФ-детектированием для определения анионов в объектах окружающей среды // Журн. аналит. химии. 1999. Т. 54, № 9. С. 962–965.

Васильева Г. Л., Кожова О. М. Некоторые данные о бактерио-, фито- и зоопланктоне Иркутского водохранилища в годы его образования (1957–1958) // Бюл. Ин-та биологии водохранилищ. 1960. № 8–9. С. 6–8.

Верболова Н. В. Формирование гидрохимического режима Братского водохранилища // Формирование планктона и гидрохимия Братского водохранилища. Новосибирск : Наука, 1973. С. 78–118.

Виноградова Т. П. Бактериопланктон // Биология Усть-Илимского водохранилища. Новосибирск : Наука, 1987. С. 82–111.

Вода. Санитарные правила, нормы и методы безопасного водопользования населения. М. : ИнтерСЭН, 2004. 754 с.

Волкова Н. И. Гидрохимическая характеристика Красноярского водохранилища после наполнения // Биологические исследования Красноярского водохранилища. Новосибирск : Наука, 1975. С. 36–42.

Воробьёва С. С., Стрижова Т. А., Земская Т. И. Современное состояние и прогноз формирования ангарских водохранилищ // Прогнозирование экологических процессов. Новосибирск : Наука, 1986. С. 159–164.

Воробьева С. С. Фитопланктон водоемов Ангары. Новосибирск : Наука. Сиб. отделение, 1995. 126 с.

Гак Д. З., Кудрина Е. С. Бактериальные процессы // Водохранилища мира. М. : Наука, 1979. С. 135–145.

Гидрохимические и гидробиологические исследования Хантайского водохранилища / В. В. Дрюккер, В. М. Домышева, Н. Г. Шевелева, А. Е. Кузьмина, И. Г. Никулина, И. М. Балонов, Б. А. Шишкин. Новосибирск : Наука, 1986. 119 с.

Горбенко Ю. А. О наиболее благоприятном количестве сухого питательного агара в средах для культивирования морских микроорганизмов // Микробиология. 1961. Т. 30, № 1. С. 168–172.

Денисова А. И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. Киев: Наукова думка, 1979. 290 с.

Егорова Л. И., Стрижова Т. А. Современная гидрохимическая характеристика р. Ангары в зоне создания Богучанского водохранилища // Круговорот вещества и энергии в водоемах. Иркутск, 1985. Вып. 7. С. 33.

Зенин А. А. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. Л. : Гидрометеиздат, 1965. 257 с.

Кибальчич И. А., Артемова Т. З. Санитарное состояние Братского водохранилища в первые годы его затопления (1962–1964 гг.) // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. М. : Наука, 1970. С. 226–275.

Кожова О. М., Мамонтова Л. М. Бактериопланктон ангарских водохранилищ и статистические методы его анализа. Л. : Гидрометеиздат, 1979. 119 с.

Мамонтова Л. М. Микробиологическая характеристика толщи вод в процессе формирования биологического режима Братского водохранилища // Гидробиологические исследования водоемов Сибири. Иркутск, 1976. С. 34–52.

Микробные сообщества и их способность окислять n-алканы в районе разгрузки газо-нефте содержащих флюидов в Среднем Байкале (мыс Горевой Утес) / О. Н. Павлова, А. В. Ломакина, А. Г. Горшков, М. Ю. Сулова, А. В. Лихошвай, Т. И. Земская // Изв. РАН. Сер. биол. 2012. № 5. С. 540–545.

Мусатов А. П., Эйнон Л. О., Эльпинер Л. И. Качество воды в водохранилищах // Водохранилища мира. М. : Наука, 1979. С. 181–206.

Нетрусов А. И., Егорова М. А., Захарчук Л. М. Практикум по микробиологии. М. : Издательский центр Академия, 2005. 612 с.

Николаева М. Д. К гидрохимии Иркутского водохранилища // Биология Иркутского водохранилища. Новосибирск : Наука, 1964. С. 41–114.

Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М. : ВНИРО, 2010. 304 с.

Планктон Братского водохранилища. Новосибирск : Наука, 1981. 135 с.

РД-52.24.309-2016. Руководящий документ. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону : Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2016.

Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Ч. 1. Ростов-на-Дону : НОК, 2009. 1045 с.

Савкин В. М. Водохранилища Сибири, водно-экологические и водно-хозяйственные последствия их создания // Сибирский экологический журнал. 2000, № 2. С. 109–121.

Санитарно-микробиологический анализ питьевой воды: Методические указания 4.2.1018-01. М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2001. 28 с.

Санитарно-микробиологический и санитарно-паразитологический анализ воды поверхностных водных объектов: Методические указания 4.2.1884-04. М. : Федер. центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2005. 75 с.

СанПиН 2.1.5.980-00. Гигиенические требования к охране поверхностных вод: Санитарные правила и нормы. М.: Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2000. 24 с.

СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: Санитарные правила и нормы. М.: Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 110 с.

Сороковикова Л. М. Формирование гидрохимического режима Саяно-Шушенского водохранилища в первые годы наполнения (1980–1982) // Комплексные исследования экосистем бассейна реки Енисей. Красноярск, 1985. С. 70–75.

Сороковикова Л. М. Формирование гидрохимического режима Курейского водохранилища в первые годы наполнения // Водные ресурсы. 1994. Т. 21, № 6. С. 662–666.

Стрижова Т. А. Условия и особенности формирования гидрохимического режима, состава и качества вод искусственных водоёмов Восточной Сибири (на примере Усть-Илимского водохранилища): автореф. дис. ... канд. географ. наук. Иркутск, 1985. 16 с.

Стрижова Т. А., Егорова Л. И. Гидрохимическая характеристика р. Ангары и ее притоков в зоне Богучанского водохранилища в период летне-осенней межени // Водные ресурсы Байкала и Ангары. Предсказание, рациональное использование и охрана. Иркутск, 1983. С. 97–99.

Титова В. И., Козлов А. В. Методы оценки функционирования микробсообщества почвы, участвующего в трансформации органического вещества: научно-методическое пособие. Ниж. Новгород: Нижегород. с.-х. академия, 2012. 64 с.

Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. М.: Наука, 1970. 276 с.

Элементы прогноза качества воды в водохранилище после пуска БГЭС / В. М. Домышева, С. С. Воробьева, И. Г. Никулина, Л. М. Сороковикова, Н. Г. Шевелева // Материалы Всерос. науч.-практ. конф. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2010. С. 56–58.

Bushnell L. D., Haas H. F. The utilization of certain hydrocarbons by microorganisms // J. Bacteriol. 1941. Vol. 41. P. 653–673.

Dedysh S. N., Panikov N. S., Tiedje J. M. Acidophilic methanotrophic communities from Sphagnum peat bogs // Appl. Environ. Microbiol. 1998. Vol. 64. P. 922–929.

Porter K. G. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora // Limnol. Oceanogr. 1980. Vol. 25. P. 943–948.

Wetzel R. G., Likens G. E. Limnological Analyses. New York: Springer-Verlag, 1991. 391 p.

## Hydrochemical, Microbiological Characteristics and Water Quality in Boguchanskoe Reservoir during First Years of Regime Formation

T. I. Zemskaya, A. S. Zakharenko, L. M. Sorokovikova, N. P. Sez'ko, N. A. Zhuchenko, N. V. Bashenkhaeva, V. V. Minaev

*Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russian Federation*

**Abstract.** In July, 2016, hydrochemical and microbiological studies were performed on the water area of Boguchanskoe Reservoir. Like in other reservoirs on the Angara River, we noticed in Boguchanskoe Reservoir one increase of biogenic elements concentrations with the maximum in near-bottom layers: mineral phosphorus up to  $88 \mu\text{g PO}_4^{3-}/\text{dm}^3$ , nitrate nitrogen up to  $469 \mu\text{g NO}_3^-/\text{dm}^3$ , ammonia nitrogen up to  $46 \text{NH}_4^+ \mu\text{g}/\text{dm}^3$ . Waters mineralization reached  $135\text{--}154 \text{mg}/\text{dm}^3$  and was close to the forecasted one –  $136 \pm 10 \text{mg}/\text{dm}^3$ . Compared

with the Angara River, a slight increase in the concentrations of mineral nitrogen and phosphorus was noted in the reservoir; poor oxygen conditions were recorded over the marshy areas and in low-flow bays. In addition, peat bogs can influence the water quality in the future, since the process of thawing and flooding in the Siberian reservoirs is of a long-term nature. Considerable oscillations of total of microorganisms abundance (TMA) are registered – 1520–9887 thousand cells/ml, as well as of organotrophic bacteria – 26–3516 cells/ml. In the water column of right shore stations, common coliphormic bacteria (CCB) were revealed – 4–8 CFU in 100 ml, thermotolerant coliphormic bacteria (TCB) up to 4 CFU in 100 ml, total microbial abundance (TMA) up to 606 CFU per 100 ml, enterococci up to 24 CFU in 100 ml; this may result from fecal pollution incoming with households wastewaters. By content of organotrophic bacteria and by ratio of TMA to the abundance of organotrophic bacteria, water quality is characterized by pollution degree as conventionally clean, while by TMA content, the water in different parts of Boguchanskoe Reservoir is characterized from conventionally clean to pollute. In the middle part of the reservoir, oil-oxidizing microorganisms were detected, which is probably due to the flooding of old oil wells in the Kova River valley. The number of bacteria varied from 5 to 623 CFU/ml. The number of oil-oxidizing bacteria in the studied areas is comparable with the values observed in the areas of natural oil output in Lake Baikal. By content of standardized chemical compounds (water mineralization, major ions concentrations, nitrate nitrogen, BOD<sub>5</sub>), the water in the Boguchanskoe Reservoir generally corresponds to norms of non-centralized water supply. By results of hydrochemical and microbiological studies, the Boguchanskoe Reservoir during the period of studies is characterized as an oligo- mesotrophic reservoir.

**Keywords:** water reservoirs, chemical composition, microbiological parameters, waters quality

**For citation:** Zemskaia T.I., Zakharenko A.S., Sorokovikova L.M., Sez'ko N.P., Zhuchenko N.A., Bashenkhaeva N.V., Minaev V.V. Hydrochemical, Microbiological Characteristics and Water Quality in Boguchanskoe Reservoir during First Years of Regime Formation. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2019, vol. 28, pp. 36-55. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.28.36> (in Russian)

#### References

- Baram G.I., Vereshchagin A.L., Golobokova L.P. Microcolumn high-performance liquid chromatography with uv detection for the determination of anions in environmental materials. *J. Anal. Chem.* 1999. vol. 54, no 9. pp. 854-857.
- Bushnell L. D., Haas H. F. The utilization of certain hydrocarbons by microorganisms. *J. Bacteriol.*, 1941. vol. 41. pp. 653-673.
- Dedysh S.N., Panikov N.S., Tiedje J.M. Acidophilic methanotrophic communities from Sphagnum peat bogs. *Appl. Environ. Microbiol.* 1998. vol. 64. pp. 922-929.
- Denisova A.I. *Formirovanie gidrokhimicheskogo rezhima vodokhranilishch Dnepra i metody ego prognozirovaniya* [Formation of the hydrochemical regime of the Dnieper reservoirs and methods for its prediction]. Kiev, Naukova dumka, 1979, 290 p. (in Russian)
- Egorova L.I., Strizhova T.A. Sovremennaya gidrokhimicheskaya kharakteristika r. Angary v zone sozdaniya Boguchanskogo vodokhranilishcha [Modern hydrochemical characteristics of the river. Hangars in the zone of creation of the Boguchansk reservoir]. *Krugovorot veshchestva i energii v vodoemakh* [Cycle of matter and energy in reservoirs]. Irkutsk, 1985. vol. 7, p. 33. (in Russian)
- Domyshva V.M., Vorob'eva S.S., Nikulina I.G., Sorokovikova L.M., Sheveleva N.G. Elementy prognoza kachestva vody v vodokhranilishche posle puska BoGES [Elements for predicting the quality of water in a reservoir after the launch of the Boguchansk Hydroelectric Power Station]. *Mater. Vseros. nauchno-praktich. Konf.* [Materials of the Russian Scientific and Practical Conference]. Khabarovsk : IVEP DVO RAN, 2010, pp. 56–58. (in Russian)
- Formirovanie prirodnykh uslovii i zhizni Bratskogo vodokhranilishcha* [The formation of natural conditions and the life of the Bratsk reservoir]. Moscow, Nauka Publ., 1970, 276 p. (in Russian)

- Gak D.Z., Kudrina E.S. Bakterialnye protsessy [Bacterial processes]. *Vodokhranilishcha mira* [World Reservoirs]. М.: Nauka, 1979, pp. 135-145. (in Russian)
- GD-52.24.309-2016. *Organizatsiya i provedenie rezhimnykh nablyudenii za sostoyaniem i zagryazneniem poverkhnostnykh vod sushi* [Guidance Document GD-52.24.309-2016. Organization and conduct of regime monitoring of the state and pollution of surface water of the land]. Rostov-na-Donu, Rosgidromet, FGBU "GKHI" Publ., 2016. (in Russian)
- Dryukker V.V., Domysheva V.M., Sheveleva N.G., Kuz'mina A.E., Nikulina I.G., Balonov I.M., Shishkin B.A., Pomazkova G.I., Skryabin A.G. (eds.). *Gidrokhimicheskie i gidrobiologicheskie issledovaniya Khantaiskogo vodokhranilishcha* [Hydrochemical and hydrobiological studies of the Khantai reservoir]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986, 119 p. (in Russian)
- Gorbenko Yu.A. O naibolee blagopriyatnom kolichestve sukhogo pitatel'nogo agara v sredakh dlya kultivirovaniya morskikh mikroorganizmov [About the most favorable amount of dry nutrient agar in media for the cultivation of marine microorganisms]. *Mikrobiologiya* [Microbiology], 1961. vol. 30, no 1, pp. 168-172. (in Russian)
- Kibal'chich I.A., Artemova T.Z. Sanitarnoe sostoyanie Bratskogo vodokhranilishcha v pervye gody ego zatopeniya (1962–1964 gg.) [Sanitary condition of the Bratsk reservoir in the first years of its flooding (1962–1964)]. *Formirovanie prirodnykh uslovii i zhizni Bratskogo vodokhranilishcha* [Formation of natural conditions and life of the Bratsk reservoir]. Moscow, Nauka Publ., 1970, pp. 226-275. (in Russian)
- Kozhova O.M., Mamontova L.M. *Bakterioplankton angarskikh vodokhranilishch i statisticheskie metody ego analiza* [Bacterioplankton of the Angara reservoirs and statistical methods of its analysis]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1979, 119 p. (in Russian)
- Mamontova L.M. Mikrobiologicheskaya kharakteristika tolshchi vod v protsesse formirovaniya biologicheskogo rezhima Bratskogo vodokhranilishcha [Microbiological characteristics of the water column during the formation of the biological regime of the Bratsk reservoir]. *Gidrobiologicheskie issledovaniya vodoemov Sibiri* [Hydrobiological studies of the reservoirs of Siberia]. Irkutsk, 1976, pp. 34-52. (in Russian)
- Pavlova O.N., Lomakina A.V., Gorshkov A.G., Suslova M.Y., Likhoshvai A.V., Zemskaya T.I. Microbial communities and their ability to oxidize n-alkanes in the area of release of gas- and oil-containing fluids in Mid-Baikal (cape Gorevoi Utes). *Biology bulletin*. 2012, no 5, pp. 540-545.
- Musatov A.P., Einor L.O., El'piner L.I. Kachestvo vody v vodokhranilishchakh [Water quality in reservoirs]. *Vodokhranilishcha mira* [World Reservoirs]. Moscow, Nauka, 1979, pp. 181-206. (in Russian)
- Netrusov A.I., Egorova M.A., Zakharchuk L.M. *Praktikum po mikrobiologii* [Microbiology guide]. Moscow, Izdatel'skii tsentr Akademiya, 2005, 612 p. (in Russian)
- Nikolaeva M. D. K gidrokhimii Irkutskogo vodokhranilishcha [To the hydrochemistry of the Irkutsk reservoir]. *Biologiya Irkutskogo vodokhranilishcha* [Biology of the Irkutsk reservoir]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1964, pp. 41-114. (in Russian)
- Perechen rybokhozyaistvennykh normativov: predel'no dopustimyykh kontsentratsii (PDK) i orientirovochno bezopasnykh urovnei vozdeistviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh ob'ektov, imeyushchikh rybokhozyaistvennoe znachenie* [The nomenclature of fishery standards: maximum permissible concentrations (MPC) and tentatively safe levels of exposure (SEC) of harmful substances to water of water bodies of fishery importance]. Moscow, VNIRO, 2010, 304 p. (in Russian)
- Plankton Bratskogo vodokhranilishcha* [Plankton of the Bratsk reservoir]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981, 135 p. (in Russian)
- Porter K. G. The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.*, 1980, vol. 25, pp. 943-948.
- Rukovodstvo po khimicheskomu analizu poverkhnostnykh vod sushi. Part 1* [Guidelines for the chemical analysis of land surface waters. Part 1.]. Ed. L.V. Boeva. Rostov-na-Donu, NOK Publ., 2009. 1045 p. (in Russian)

*Sanitarно-mikrobiologicheskii analiz pit'voi vody: Metodicheskie ukazaniya 4.2.1018-01* [Sanitary and microbiological analysis of drinking water: Guidelines 4.2.1018-01]. Moscow, Federalnyi tsentr gigieny i epidemiologii of Rospotrebnadzor Publ., 2001, 28 p. (in Russian)

*Sanitarно-mikrobiologicheskii i sanitarно-parazitologicheskii analiz vody poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov: Metodicheskie ukazaniya 4.2.1884-04* [Sanitary-microbiological and sanitary-parasitological analysis of water from surface water bodies: Guidelines 4.2.1884-04]. Moscow, Federalnyi tsentr gigieny i epidemiologii of Rospotrebnadzor Publ., 2005, 75 p. (in Russian)

*SanPiN 2.1.4.1074-01. Pit'evaya voda. Gigienicheskie trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh sistem pit'evogo vodosnabzheniya. Kontrol' kachestva: Sanitarnye pravila i normy* [SanR&Rs 2.1.4.1074-01. Drinking water. Hygienic requirements for water quality of centralized drinking water supply systems. Quality Control: Sanitary rules and regulations]. Moscow, Federalnyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2002, 110 p. (in Russian)

*SanPiN 2.1.5.980-00. Gigienicheskie trebovaniya k okhrane poverkhnostnykh vod: Sanitarnye pravila i normy* [SanR&Rs 2.1.5.980-00. Hygienic requirements for the protection of surface waters: Sanitary rules and regulations]. Moscow, Federalnyi tsentr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii, 2000, 24 p. (in Russian)

Savkin V. M. Vodokhranilishcha Sibiri, vodno-ekologicheskie i vodno-khozyaistvennye posledstviya ikh sozdaniya [Reservoirs of Siberia, water-ecological and water-economic consequences of their creation]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal* [Siberian Journal of Ecology], 2000, no 2, pp. 109-121. (in Russian)

Sorokovikova L. M. Formirovanie gidrokhimicheskogo rezhima Kureiskogo vodokhranilishcha v pervye gody napolneniya [Formation of the hydrochemical regime of the Kureysky reservoir in the first years of filling]. *Vodnye resursy* [Water Resources], 1994, vol. 21, no 6, pp. 662-666. (in Russian)

Sorokovikova L. M. Formirovanie gidrokhimicheskogo rezhima Sayano-Shushenskogo vodokhranilishcha v pervye gody napolneniya (1980-1982) [Formation of the hydrochemical regime of the Sayan-Shushensky reservoir in the first years of filling (1980-1982)]. *Kompleksnye issledovaniya ekosistem basseina reki Enisei* [Integrated Studies of the Yenisei River Basin Ecosystems]. Krasnoyarsk, 1985, pp. 70-75. (in Russian)

Strizhova T. A. *Usloviya i osobennosti formirovaniya gidrokhimicheskogo rezhima, sostava i kachestva vod iskusstvennykh vodoemov Vostochnoi Sibiri (na primere Ust-Ilimskogo vodokhranilishcha)* [Conditions and features of the formation of the hydrochemical regime, composition and quality of the waters of artificial reservoirs in Eastern Siberia (on the example of the Ust-Ilimsk Reservoir)]. Abstract of the dissertation ... cand. geographer. sciences]. Irkutsk, 1985, 16 p. (in Russian)

Strizhova T.A., Egorova L.I. Gidrokhimicheskaya kharakteristika r. Angary i ee pritokov v zone Boguchanskogo vodokhranilishcha v period letne-osennei mezheni [Hydrochemical characteristics of the river. Hangars and its tributaries in the zone of the Boguchansky reservoir during the summer-autumn low water]. *Vodnye resursy Baikala i Angara. Predskazanie, ratsionalnoe ispolzovanie i okhrana* [Water resources of Baikal and Angara. Prediction, rational use and protection]. Irkutsk, 1983, pp. 97-99. (in Russian)

Titova V.I., Kozlov A.V. *Metody otsenki funktsionirovaniya mikrobootsenoza pochvy, uchastvuyushchego v transformatsii organicheskogo veshchestva: nauchno-metodicheskoe posobie* [Methods for assessing the functioning of the soil microbiocenosis involved in the transformation of organic matter: a scientific and methodological manual]. Nizhnii Novgorod, Nizhegorodskaya s.-kh. Akademiya Publ., 2012, 64 p. (in Russian)

Vasil'eva G. L., Kozhova O. M. Nekotorye dannye o bakterio-, fito- i zooplanktone Irkutskogo vodokhranilishcha v gody ego obrazovaniya (1957–1958) [Some data on the bacterio-, phyto- and zooplankton of the Irkutsk reservoir during its formation (1957-1958)]. *Byull. In-ta Biologii vodokhranilishch* [Bulletin of the Institute of Reservoir Biology], 1960, no 8–9, pp. 6-8. (in Russian)

Verbolova N.V. Formirovanie gidrokhimicheskogo rezhima Bratskogo vodokhranilishcha [Formation of the hydrochemical regime of the Bratsk reservoir]. *Formiro-*

*vanie planktona i gidrokhimiya Bratskogo vodokhranilishcha* [Plankton Formation and Hydrochemistry of the Bratsk Reservoir]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1973, pp. 78-118. (in Russian)

Vinogradova T. P. Bakterioplankton [Bacterioplankton]. *Biologiya Ust'-Ilimskogo vodokhranilishcha* [Biology of the Ust'-Ilim Reservoir]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1987, pp. 82-111. (in Russian)

*Voda. Sanitarnye pravila, normy i metody bezopasnogo vodopol'zovaniya naseleniya* [Water. Sanitary rules, norms and methods of safe water use of the population]. Moscow, InterSEN, 2004, 754 p. (in Russian)

Volkova N.I. Gidrokhimicheskaya kharakteristika Krasnoyarskogo vodokhranilishcha posle napolneniya [Hydrochemical characteristics of the Krasnoyarsk reservoir after filling]. *Biologicheskie issledovaniya Krasnoyarskogo vodokhranilishcha* [Biological studies of the Krasnoyarsk reservoir]. Novosibirsk, Nauka, 1975, pp. 36-42. (in Russian)

Vorob'eva S.S. *Fitoplankton vodoemov Angary* [Phytoplankton of the Angara ponds]. Novosibirsk : Nauka. Sib. otd-nie, 1995, 126 p. (in Russian)

Vorob'eva S.S., Strizhova T.A., Zemskaya T.I. Sovremennoe sostoyanie i prognoz formirovaniya angarskikh vodokhranilishch [The current state and forecast of the formation of the Angara reservoirs]. *Prognozirovaniye ekologicheskikh protsessov* [Forecasting of ecological processes]. Novosibirsk, Nauka, 1986, pp. 159-164. (in Russian)

Wetzel R.G., Likens G.E. *Limnological Analyses*. New York, Springer-Verlag, 1991, 391 p.

Zenin A.A. *Gidrokhimiya Volgi i ee vodokhranilishch* [Hydrochemistry of the river Volga and its reservoirs]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1965, 257 p. (in Russian)

*Земская Тамара Ивановна*  
доктор биологических наук,  
заведующий лабораторией  
Лимнологический институт СО РАН  
Россия, 664033, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: tzema@lin.irk.ru

*Zemskaya Tamara Ivanovna*  
Doctor of Sciences (Biology),  
Head of Laboratory  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: tzema@lin.irk.ru

*Захаренко Александра Сергеевна*  
аспирант  
Лимнологический институт СО РАН  
Россия, 664033, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: zakharenko@lin.irk.ru

*Zakharenko Aleksandra Sergeevna*  
Postgraduate  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: zakharenko@lin.irk.ru

*Сороковикова Лариса Михайловна*  
кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН  
Россия, 664033, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: lara@lin.irk.ru

*Sorokovikova Larisa Mikhailovna*  
Candidate of Science (Geography), Senior  
Research Scientist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: lara@lin.irk.ru

*Сезько Наталья Петровна*  
инженер  
Лимнологический институт СО РАН  
Россия, 664033, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: se-nat@lin.irk.ru

*Sez'ko Natalya Petrovna*  
Engineer  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: se-nat@lin.irk.ru

*Жученко Наталья Альбертовна*  
научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН  
Россия, 664033, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: zhna@lin.irk.ru

*Zhuchenko Natalya Al'bertovna*  
Research Scientist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: zhna@lin.irk.ru

*Башенхаева Надежда Викторовна*  
инженер  
Лимнологический институт СО РАН  
Россия, 664033, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: nvb@lin.irk.ru

*Bashenkhaeva Nadezhda Viktorovna*  
Engineer  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: nvb@lin.irk.ru

*Минаев Виктор Васильевич*  
главный специалист  
Лимнологический институт СО РАН  
Россия, 664033, Иркутск,  
ул. Улан-Баторская, 3  
e-mail: minaev@lin.irk.ru

*Minaev Viktor Vasil'evich*  
Principal Specialist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,  
Russian Federation  
e-mail: minaev@lin.irk.ru