

Научная статья  
УДК 579.68  
DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-27-35

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕКИ СЕЛЕНГИ ПО ЧИСЛЕННОСТИ БАКТЕРИЙ

**О. П. Дагурова, А. В. Замбалаев, С. В. Зайцева**

© **Дагурова Ольга Павловна**  
кандидат биологических наук,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
dagur-ol@mail.ru

© **Замбалаев Арий Владимирович**  
магистрант,  
Бурятский государственный университет имени Доржи Банзарова  
Россия, 670000, г. Улан-Удэ, ул. Смолина, 24  
ari.zambalaev@mail.ru

© **Зайцева Светлана Викторовна**  
кандидат биологических наук,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
svet\_zait@mail.ru

**Аннотация.** Оценено качество воды на российском участке реки Селенги по нормируемым показателям общей численности бактерий и численности органотрофных бактерий. Воды р. Селенги характеризовались очень высокой общей численностью бактерий (до 11 млн кл/мл), но низкой численностью органотрофных бактерий (до 264 КОЕ/мл). Наибольшие значения наблюдались в районе г. Улан-Удэ, что, как и повышенное количество углеводородокисляющих бактерий, сигнализирует о негативном влиянии города на качество воды. Речная вода по данным показателям оценена как «грязная» (общая численность) и «очень чистая» (численность органотрофов). По отношению к общей численности и численности органотрофов вода оценена как «чистая». По низкому количеству углеводородокисляющих и отсутствию фенолоксиляющих бактерий можно судить об отсутствии специфических загрязнителей.

**Ключевые слова:** бактерии, численность, река Селенга, качество воды, органотрофы.

### Благодарности

Работа выполнена в рамках темы Госзадания № 121030100229-1.

### Для цитирования

Дагурова О. П., Замбалаев А. В., Зайцева С. В. Оценка качества воды реки Селенги по численности бактерий // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2024. № 2(28). С. 27–35. DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-27-35

### **Введение**

Микроорганизмы вносят существенный вклад в круговорот веществ и энергии в водоемах и водотоках. Особенности и изменения микробного сообщества можно рассматривать как индикатор неблагоприятного состояния экосистемы, они могут свидетельствовать о загрязнении воды различными веществами, включая токсины и химические загрязнители. Мониторинг бактерий позволяет оценить качество воды и принимать меры по ее очистке и защите.

Река Селенга — основной приток уникального озера Байкал, обеспечивающий до половины всей воды, поступающей в озеро. Общая длина водотока составляет 1 024 км, но на территории России, а именно в Бурятии, находится всего 409 км. При впадении в озеро Байкал река Селенга образует большую дельту с многочисленными протоками, старицами и пойменными озерами площадью около 600 км<sup>2</sup>. Территория бассейна р. Селенги является наиболее индустриально развитым регионом Монголии и Бурятии.

На гидрохимические показатели и качество вод р. Селенги влияют сток с водосборных территорий и хозяйственная деятельность человека [Ульзетуева, Гомбоев, 2016]. Качество воды в протоках дельты р. Селенги в значительной степени определяется сезонными изменениями водного стока [Сороковикова и др., 2005]. Воды дельты по содержанию химических компонентов были оценены как «чистые».

Исследования микроорганизмов р. Селенги в основном касались оценки качества ее вод по санитарно-гигиеническим показателям [Сороковикова и др., 2005; Савилов и др., 2008; Ковадло, Дрюккер, 2010; Синюкович и др., 2015]. Авторами отмечалось низкое качество вод реки по данным показателям, а также выявление патогенных и условно-патогенных бактерий. На российском участке реки Селенги исследователями определены общая численность бактерий и численность органотрофных бактерий, которые были оценены как повышенные [Бархутова и др., 1998; Ковадло, Дрюккер, 2010; Синюкович и др., 2015].

Цель работы — определение численности бактерий в воде реки Селенги в различных точках пробоотбора и оценка качества воды по показателям численности бактерий.

### **Объекты и методы исследования**

Пробы воды р. Селенги были отобраны на российском участке с 7 точек (рис. 1, табл. 1) в июне 2022 г. Пробы отбирались на расстоянии 20 см от берега и с глубины около 50 см в стерильные емкости и хранились до обработки при температуре +4°С. Две пробы были отобраны около границы с Монголией и пос. Новоселенгинск; пять проб — в районе г. Улан-Удэ.

При отборе проб измеряли показатели природной среды. Температуру, величину рН, минерализацию (TDS) и окислительно-восстановительный потенциал (Eh) измеряли портативными приборами (HMDigital, Южная Корея).

Общую численность бактерий (ОЧБ) в воде определяли путем подсчета на мембранных фильтрах [Романенко, Кузнецов, 1974]. Использовали нитроцеллюлозные мембранные фильтры с диаметром пор 0,22 мкм (Владисарт, Россия), через которые фильтровали 30 мл воды на фильтровальной установке. Фильтры окрашивали

5%-ным раствором эритрозина и проводили подсчет бактерий в 20 полях зрения на световом микроскопе Axiostar Plus («ZEISS», Германия). Численность органо-трофных бактерий определяли подсчетом колоний, выросших в чашках Петри при глубинном посеве на среде ГРМ (питательная среда на основе гидролизата рыбной муки), численность углеводородокисляющих бактерий — на среде Диановой — Ворошиловой следующего состава (г/л дистиллированной воды):  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  — 1,0;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  — 1,0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  — 1,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  — 0,2;  $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  — 0,2;  $\text{FeCl}_2$  — 2 капли,  $\text{pH} = 7,2$ . В качестве субстрата использовали дизельное топливо в количестве 1%. Численность фенолоксиляющих бактерий определяли на среде Егоровой следующего состава (г/л дистиллированной воды):  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  — 1,0;  $\text{MgSO}_4$  — 0,2;  $\text{NaCl}$  — 0,2;  $\text{CaCl}_2$  — 0,1;  $\text{FeCl}_3$  — 0,02;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  — 0,1;  $\text{MnSO}_4$  — 0,01;  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_3$  — 0,5; фенол — 1,0. Все посеы выполнялись в двух повторностях. Инкубацию производили при комнатной температуре в течение 5–20 суток. Наличие роста в жидкой среде определяли по помутнению среды или образованию бактериальной пленки.

Оценку качества вод по микробиологическим показателям производили, руководствуясь ГОСТ 17.1.3.07-82.

Рис. 1. Схема расположения точек отбора проб р. Селенги



Таблица 1

Точки отбора проб воды р. Селенги

№	Обозначение	Место пробоотбора
1	Селенга 1	Около пос. Усть-Кяхта на границе с Монголией
2	Селенга 2	Около пос. Новоселенгинск
3	Селенга 3	До г. Улан-Удэ, протока
4	Селенга 4	г. Улан-Удэ, Селенгинский мост
5	Селенга 5	После г. Улан-Удэ, с. Сотниково, левый берег
6	Селенга 6	После г. Улан-Удэ, с. Сотниково, правый берег
7	Селенга 7	После г. Улан-Удэ, Петуховка, ж/д мост

**Результаты и обсуждение**

Температура при отборе колебалась от 15,1 до 18°C, рН — от 7,6 до 8,1 (слабощелочная зона). Вода была слабо минерализована — значения общей минерализации воды составляли 97–141 мг/л. Окислительно-восстановительный потенциал (Eh) варьировал от 108 до 146, что говорит о достаточной аэрации воды (табл. 2).

Таблица 2

Физико-химические показатели воды р. Селенги

№	Обозначение	Место пробоотбора	Температура, °С	рН	Минерализация, мг/л	Eh
1	Селенга 1	Около пос. Усть-Кяхта на границе с Монголией	18	7,8	141	128
2	Селенга 2	Около пос. Новоселенгинск	18	8,1	131	126
3	Селенга 3	До г. Улан-Удэ, протока	16,8	7,8	137	108
4	Селенга 4	г. Улан-Удэ, Селенгинский мост	16,5	7,9	106	134
5	Селенга 5	После г. Улан-Удэ, с. Сотниково, левый берег	15,9	7,7	106	122
6	Селенга 6	После г. Улан-Удэ, с. Сотниково, правый берег	16	7,6	97	146
7	Селенга 7	После г. Улан-Удэ, Петуховка, ж/д мост	15,1	8,1	110	120

Оценка состояния бактериопланктона проводилась по показателям общей численности бактерий (ОЧБ) и численности органотрофных (гетеротрофных) бактерий (ОБ), которые являются индикатором загрязнения легкоокисляемым органическим веществом.

Общая численность бактерий составляла от 3,1 до 11 млн кл/мл (табл. 3). Качество воды по показателю ОЧБ в нашем исследовании было низким — в среднем воды относились к V классу (грязные), по станциям — от загрязненных (IV класс) до очень грязных (VI класс). Максимальное значение ОЧБ и «очень грязная» вода были выявлены на станции Селенга 4, расположенной непосредственно в г. Улан-Удэ.

Таблица 3

Численность бактерий в воде р. Селенги и качество воды

№	Станция	ОЧБ	Качество воды по показателю ОЧБ	СБ	Качество воды по показателю ОБ	ОЧМ/СБ	Качество воды по показателю ОЧБ/ОБ
1	Селенга 1	6,9	Класс V, грязная	107	Класс I, очень чистая	64486	Класс II, чистая
2	Селенга 2	3,1	Класс IV, загрязненная	264	Класс I, очень чистая	11742	Класс II, чистая
3	Селенга 3	3,9	Класс IV, грязная	217	Класс I, очень чистая	17972	Класс II, чистая
4	Селенга 4	11,0	Класс VI, очень грязная	196	Класс I, очень чистая	56122	Класс II, чистая
5	Селенга 5	6,1	Класс V, грязная	194	Класс I, чистая	31443	Класс II, чистая
6	Селенга 6	8,5	Класс V, грязная	255	Класс I, очень чистая	33333	Класс II, чистая
7	Селенга 7	5,0	Класс IV, загрязненная	210	Класс I, очень чистая	23810	Класс II, чистая
8	Среднее значение	6,4±2,7	Класс V, грязная	206±52	Класс I, очень чистая	34130±19501	Класс II, чистая

Примечание: ОЧБ — общая численность бактерий (млн кл/мл); СБ — численность сапрофитных бактерий (КОЕ/мл).

Известно, что в озере Байкал общая численность бактериопланктона составляет от 0,1 до 2,2 млн кл/мл [Максимова, Максимов, 1989]. Нормальным пределом среднегодовых величин, определенным для фоновой точки № 1 (Байкал, Большие Коты), можно считать от 0,5 до 1 млн кл/мл, что может свидетельствовать об устойчивом состоянии системы [Щетинина, Максимова, Максимов, 2013].

Значения общей численности бактерий, определенные нами, были сходны с численностью (до 11 млн кл/мл) в воде р. Селенги, установленной в 2010 г. [Ковадло, Дрюккер, 2010]. Эти данные превышали фоновые показатели для Байкала в 11 раз при средней численности 7,73 млн кл/мл, также превышающей

фоновые показатели. Авторы связывают высокие значения численности с малой водностью реки и мутностью селенгинских вод. Высокими показателями ОЧБ воды также выделяется прибрежная зона соров Селенгинского мелководья [Гаранкина и др., 2009; Гаранкина, 2012]. Здесь численность бактериопланктона достигала 7,4 млн кл/мл, что превышало фоновые показатели в 7 раз, при средней численности 2,2 млн кл/мл, превышающей фоновые показатели в 3 раза. В дельте р. Селенги численность бактерий в разные годы составляла 0,8–2,3 млн кл/мл [Качество... 2011], 0,9–3,8 млн кл/мл [Максименко и др., 2008], 0,02–4,7 млн кл/мл [Максимов и др., 2002].

*Численность органотрофных бактерий* варьировала от 107 до 264 КОЕ/мл (колониеобразующих единиц). Максимальное значение зарегистрировано в точке Селенга 2, около пос. Новоселенгинск. Воды по этому показателю на всех станциях отбора относятся к I классу (очень чистые воды).

Согласно ГОСТу 17.1.3.07-82 «Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков» к очень чистым и чистым относятся воды, содержащие не более 500 и 5000 КОЕ/мл органотрофных бактерий соответственно. Фоновая численность органотрофных бактерий бактериопланктона, являющихся индикатором легкоокисляемого органического вещества, в общем по Байкалу составляет 17–575 кл/мл [Максимова, Максимов, 1989]. Ранее проведенные исследования показали, что численность ОБ составляла в среднем 7 100 кл/мл, что позволяет классифицировать эти воды как слабо загрязненные, III класса [Ковадло, Дрюккер, 2010]. В 2012 г. численность ОБ в воде р. Селенги в июле была в пределах 156–3600 КОЕ/мл, в октябре — от 51 до 175 КОЕ/мл [Синюкович и др., 2015]. Это свидетельствует о более низком качестве воды в летнее время, но по-прежнему классифицируемом как «чистая вода». Подсчет ОБ в 1997 г., при очень большом разбросе значений (от 36 до 1 млн кл/мл), выявил очень высокую численность ОБ по течению после очистных сооружений г. Улан-Удэ [Бархутова и др., 1998]. Такие же показатели выявлены в байкальских мелководных заливах озера (сорах) в летний период (до 1 млн кл/мл), что характеризует воды в этих участках как грязные, V класса [Гаранкина, 2012]. Это связано с особым гидрологическим режимом хорошо прогреваемых соров, со скоплением у береговой зоны остатков высшей водной растительности, а также с антропогенным воздействием в результате туристско-рекреационного использования.

*Отношение общего числа бактерий к числу органотрофов* — это интегрированный показатель состояния водоема. Согласно этому показателю вода всех изученных станций р. Селенги относилась к классу II (чистая вода).

Была определена численность бактерий, утилизирующих специфические органические вещества и являющихся загрязнителями водоема — *углеводородоокисляющие и фенолоокисляющие бактерии*. Способность бактерий утилизировать их в качестве субстрата позволяет использовать количество бактерий как индикаторный показатель изменившихся условий. Эти показатели не являются нормируемыми, однако позволяют охарактеризовать особенности разложения органического вещества в водоеме. Следует отметить, что исследованные группы бактерий являются обычными обитателями водоема и показателем загрязнения могут являться только в купе с высокой численностью.

Таблица 4

Численность углеводородокисляющих бактерий в воде р. Селенги (кл/мл)

№	Станция	Углеводородокисляющие бактерии	Фенолокисляющие бактерии
1	Селенга 1	0	0
2	Селенга 2	10	0
3	Селенга 3	100	0
4	Селенга 4	1000	0
5	Селенга 5	100	0
6	Селенга 6	100	0
7	Селенга 7	0	0
8	<b>Среднее значение</b>	<b>187,1±361,7</b>	<b>0</b>

Количество углеводородокисляющих бактерий составляло от 0 до 1 000 кл/мл. Максимальное количество углеводородокисляющих бактерий обнаружено на станции Селенга 4, где также была зафиксирована максимальная общая численность бактерий. На станциях, расположенных до и после города Улан-Удэ, углеводородокисляющие бактерии не обнаруживались или обнаруживались в незначительных количествах (0–10 кл/мл). Повышенное количество углеводородокисляющих бактерий сигнализирует о загрязнении нефтепродуктами вод Селенги в районе г. Улан-Удэ. Фенолокисляющие бактерии не были обнаружены ни в одной из проб, что говорит об отсутствии специфического загрязнителя в водах р. Селенги.

### Заключение

Изученные участки р. Селенги характеризовались очень высокой общей численностью бактерий (до 11 млн кл/мл), но низкой численностью органотрофных бактерий (до 264 КОЕ/мл). Наибольшие значения наблюдались на станции в районе г. Улан-Удэ, что, как и повышенное количество углеводородокисляющих бактерий, сигнализирует о негативном влиянии города на качество воды. Речная вода по данным показателям оценена как «грязная» (общая численность) и «очень чистая» (численность органотрофов). По отношению к общей численности и численности органотрофов, учитывающему оба показателя, вода оценена как «чистая». По низкому количеству углеводородокисляющих и отсутствию фенолокисляющих бактерий можно заключить об отсутствии специфических загрязнителей. Значения общей численности бактерий и численности органотрофных бактерий были на уровне значений, определенных для р. Селенги ранее [Ковадло, Дрюккер, 2010]. Авторы по совокупности микробиологических и гидробиологических показателей относят воды нижнего течения р. Селенги к умеренно загрязненным, с тенденцией к улучшению качества в связи с увеличивающейся водностью реки [Синюкович и др., 2015].

Для более точной оценки качества воды по микробиологическим показателям необходимо использовать также комплекс микробных индикаторов на основе анализа состава микробного сообщества [Zaitseva, Dagurova, 2021].

### Литература

1. Гаранкина В. П. Структура и функционирование микробного сообщества мелководных заливов озера Байкал : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Улан-Удэ, 2012. 24 с. Текст : непосредственный.
2. Качество вод в дельте реки Селенги // География и природные ресурсы / Л. М. Сорокикова, А. К. Тулохонов, В. Н. Синюкович [и др.]. 2005. № 1. С. 73–80. Текст : непосредственный.
3. Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник / под редакцией чл.-кор. А. М. Никанорова. Ростов-на-Дону, 2011. 552 с. Текст : непосредственный.
4. Ковадло А. С., Дрюккер В. В. Изучение бактериопланктона реки Селенги и оценка качества вод по микробиологическим показателям // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. 2010. Т. 3, № 2. С. 80–87. Текст : непосредственный.
5. Максимова Э. А., Максимов В. Н. Микробиология вод Байкала. Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 1989. 168 с. Текст : непосредственный.
6. Микробиологическая характеристика реки Селенга / Д. Д. Бархутова, В. Ш. Дондочков, Б. Б. Намсараев, В. С. Молотов // Вестник Бурятского университета. Сер. 2. Биология. 1998. Вып. 1. С. 33–40. Текст : непосредственный.
7. Микробное сообщество водной толщи на биогеохимическом барьере «река Селенга — озеро Байкал» / С. Ю. Максименко, Т. И. Земская, О. Н. Павлова [и др.] // Микробиология. 2008. № 5. С. 660–667. Текст : непосредственный.
8. Особенности современного качества воды в дельте р. Селенги в период открытого русла / В. Н. Синюкович, Л. М. Сорокикова, И. В. Томберг [и др.]. // Вода: химия и экология. 2015. № 6. С. 17–22. Текст : непосредственный.
9. Распространение и активность микроорганизмов в заливе Провал озера Байкал / В. П. Гаранкина, О. П. Дагурова, В. Б. Дамбаев, С. П. Бурюхаев // Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география. 2009. № 4. С. 84–88. Текст : непосредственный.
10. Структура микробиоценозов и их активность как основа классификации и мониторинга состояния речных и приустьевых локальных экосистем Байкала / В. В. Максимов, Е. В. Щетинина, О. В. Крайковская [и др.] // Микробиология. 2002. № 71(5). С. 690–696. Текст : непосредственный.
11. Условно-патогенные микроорганизмы в водных экосистемах Восточной Сибири и их роль в оценке качества / Е. Д. Савилов, Л. М. Мамонтова, Е. В. Анганова, В. А. Астафьев // Бюллетень СО РАМН. 2008. № 1. С. 47–51. Текст : непосредственный.
12. Ульзетуева И. Д., Гомбоев Б. О. Состояние поверхностных вод бассейна реки Селенги // Природа Внутренней Азии. 2016. № 1. С. 61–68. doi: 10.18101/2542-0623-2016-1-61-68. Текст : непосредственный.
13. Щетинина Е. В., Максимов В. В., Максимова Э. А. Внутренние закономерности функционирования микробных сообществ в экосистеме Южного Байкала // Известия Иркутского государственного университета. Сер. Биология. Экология. 2013. Т. 6. № 3(1). С. 40–45. Текст : непосредственный.
14. Zaitseva S. V., Dagurova O. P. Freshwater Microbial Taxa as Indicators of Anthropogenic Impact on the Freshwater Lakes of Buryatia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 908(1): 012003 DOI: 10.1088/1755-1315/908/1/012003.

Статья поступила в редакцию 12.08.2024; одобрена после рецензирования 02.09.2024; принята к публикации 05.09.2024.

ASSESSMENT OF WATER QUALITY  
OF THE SELENGA RIVER BY BACTERIAL NUMBER

O. P. Dagurova, A. V. Zambalayev, S. V. Zaitseva

*Olga P. Dagurova*  
Cand. Sci. (Biol.),  
Institute for General and Experimental Biology SB RAS  
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia  
dagur-ol@mail.ru

*Ariy V. Zambalayev*  
Master's Student,  
Dorzhi Banzarov Buryat State University,  
24a Smolina St., Ulan-Ude 670000, Russia  
ari.zambalaev@mail.ru

*Svetlana V. Zaitseva*  
Cand. Sci. (Biol.),  
Institute for General and Experimental Biology SB RAS  
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia  
svet\_zait@mail.ru

*Abstract.* We have assessed the water quality of the Russian section of the Selenga River based on standardized indicators (total number of bacteria and the number of organotrophic bacteria). The waters of the Selenga River are characterized by a very high total number of bacteria (up to 11 million cells/ml), but a low number of organotrophic bacteria (up to 264 CFU/ml). The highest values we have observed in the area of Ulan-Ude, which, like the increased number of hydrocarbon-oxidizing bacteria, testifies to a negative impact of the city. According to these indicators, river water is assessed as “dirty” (total number) and “very clean” (number of organotrophs). The ratio of the total number of bacteria and the number of organotrophs allows us to rate the water as “clean”. The low number of hydrocarbon-oxidizing bacteria and the absence of phenol-oxidizing bacteria indicate the absence of specific pollutants.

*Keywords:* bacteria, abundance, Selenga River, water quality, organotrophs.

*Acknowledgments*

The work was carried out within the framework of the topic of State Assignment no. 121030100229-1.

*For citation*

Dagurova O. P. , Zambalayev A. V., Zaitseva S. V. Assessment of Water Quality of the Selenga River by Bacterial Number. *Nature of Inner Asia*. 2024; 2(28): 27–35 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2024-2-27-35

*The article was submitted 12.08.2024; approved after reviewing 02.09.2024; accepted for publication 05.09.2024.*