



УДК 579.68

Изучение бактериопланктона реки Селенги и оценка качества вод по микробиологическим показателям

А. С. Ковадло (kovadlo@yandex.ru),
В. В. Дрюккер (drucker@lin.irk.ru)

Аннотация. Проведен анализ воды р. Селенги по некоторым микробиологическим показателям от границы с Монголией до дельты. Полученные данные указывают, что в притоках Селенги воды более чистые по сравнению с самой рекой. На всех 14 станциях отбора проб, кроме станции выше пос. Усть-Кяхта, обнаружена кишечная палочка. Низкая водность реки обусловила высокие показатели общей численности бактерий $4,32 \cdot 10^6$ – $11,37 \cdot 10^6$ кл/мл. Почти в половине проб обнаружена денитрификационная активность микроорганизмов, указывающая на процессы самоочищения водоема.

Ключевые слова: р. Селенга, общая численность бактерий, гетеротрофные микроорганизмы, коли-индекс, денитрификаторы.

Введение

Селенга – самая крупная река, впадающая в оз. Байкал с юго-востока. Общая площадь бассейна реки $447\,060 \text{ км}^2$, что составляет 83,4 % водосбора озера. На долю р. Селенги приходится около 50 % стока воды и 60 % стока наносов (с учетом отложения их в дельте) основных рек, впадающих в оз. Байкал [3]. При впадении в озеро река образует обширную устьевую область, относящуюся к группе дельтовых.

В условиях средней водности вынос биогенных элементов р. Селенгой составляет: растворенного кремния 114 тыс. т/год, нитратного азота 6,1 тыс. т/год, аммонийного азота 2,6 тыс. т/год, минерального фосфора 608 т/год [7]. В отличие от главных ионов сток биогенных элементов меняется не только в зависимости от водности реки, но и от интенсивности биологических процессов, которые замедляются с ростом расходов и мутности воды. В маловодные периоды формирование стока биогенных элементов имеют свои особенности. Снижение расходов реки в период открытого русла способствует более интенсивному прогреву вод, уменьшению скоростей течения и содержанию взвешенных веществ. Все это приводит к активации развития фитопланктона и тем самым обуславливает снижение содержания биогенных элементов в речных водах и их стока в озеро. С ростом количества осадков и водного стока, вынос химических компонентов селенгинскими водами увеличится [2].

Антропогенная нагрузка на экосистему реки увеличилась после введения в эксплуатацию в 1974 г. Селенгинского целлюлозно-картонного комбината, расположенного в 54 км от устья Селенги. К устью реки, в результате самоочищения воды, концентрация загрязняющих веществ в ней снижается. В последние годы техногенная нагрузка на территорию бассейна снизилась в результате нестабильности народного хозяйства региона, а также строительства комплексных очистных сооружений в г. Улан-Удэ и внедрения на Селенгинском целлюлозно-картонном комбинате замкнутого цикла водопотребления. Однако концентрации SO_4^{2-} , Cl^- , Na^+ остаются на 15–25 % выше таковых в 1950–1960 гг. [1; 5; 6].

Исследования, направленные на изучение экологического состояния р. Селенги важны не только как собственно исследования водного объекта, подверженного антропогенному воздействию, но и как крупнейшего притока оз. Байкал, являющегося участком мирового природного наследия. Концентрации микроорганизмов различных групп наряду с другими химико-биологическими тестами характеризует качество вод в различных природных источниках.

Целью данного исследования – была оценка качества воды р. Селенги от границы с Монголией до впадения в озеро Байкал и ее основных притоках по некоторым микробиологическим показателям. Анализ воды в реке дает информацию о концентрации отдельных групп индикаторных бактерий в современный период, а полученные данные будут полезными для мониторинговых исследований контролирующими организациями.

Материалы и методы исследования

Экспедиция по отбору проб воды в р. Селенге проходила в летний период – с 15 по 18 июля 2010 г. Отбор образцов на каждой из станций производили с поверхности реки в середине ее русла. Данный период характеризовался пониженной водностью реки. Станции отбора проб и температура воды представлены в табл. 1. Микробиологические исследования проводили по общепринятым методикам [4]. Общая численность бактерий (ОЧБ) в воде определялась на эпифлуоресцентном микроскопе Axio Imager M1 согласно методу [9]. Для выявления количества бактерий группы кишечной палочки воду фильтровали через нитроцеллюлозные стерильные фильтры с размером пор 0,45 мкм. Затем фильтры помещали на свежеприготовленную среду Эндо. Культивировали при температуре 22–25 °С. Результаты регистрировали через двое суток. Подсчитывали колонии с металлическим блеском и отпечатком на обратной стороне фильтра. Также была использована твердая питательная среда для определения количества колоний гетеротрофных бактерий, осуществляющих аммонификацию: пептон – 0,5 %, рыбный гидролизат – 0,3 %, агар – 1,5 %, H_2O дистиллированная. Учитывали все колонии через 10 суток культивирования при температуре 22–25 °С. Также производили посев образцов в среду с денитрификационными условиями: KNO_3 – 0,2 %, KH_2PO_4 – 0,2 %, CaCl_2 – 0,04 %, MgSO_4 – 0,2 %, FeCl_3 – следы, Na цитрат – 1,7 %, H_2O дистиллированная

[10]. Накопительные культуры культивировали, не ограничивая доступ кислорода, т. е. под обычными ватными пробками. Наличие денитрификационной активности оценивали по накоплению газа в пробирках. Количество культивируемых азотфиксирующих микроорганизмов оценивали на среде Эшби: маннитол – 0,4 г; K_2HPO_4 – 0,2 г; $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,08 г; NaCl – 0,08 г; $MnSO_4$ – следы; FeCl – следы; H_2O дист. – 400 мл; агар – 6 г.

Таблица 1

Станции отбора проб и температура поверхности воды в р. Селенге
15–18 июля 2010 г.

	Станция	Температура, °С	Расстояние, км
1	р. Селенга, выше п. Усть-Кяхта	19,8	390
2	р. Селенга, выше устья р. Джида	20,9	350
3	устье р. Джида	21,5	350
4	р. Селенга, выше устья р. Темник	19,7	310
5	устье р. Темник	17,7	310
6	р. Селенга, выше устья р. Чикой	20,3	290
7	устье р. Чикой	21,1	290
8	р. Селенга, выше устья р. Хилок	20,2	250
9	устье р. Хилок	20,2	250
10	р. Селенга, г. Улан-Удэ	21,5	150
11	устье р. Уда	19,9	150
12	р. Селенга, пос. Селенгинск	21,3	75
13	р. Селенга, пос. Кабанск	21,8	50
14	р. Селенга, пос. Мурзино	21,7	0

Результаты и их обсуждение

Общая численность бактерий: результаты определения общей численности бактерий в воде р. Селенги и ее основных притоках представлены в табл. 2.

Таблица 2

Общая численность бактерий в воде р. Селенги и ее притоках

Номер пробы	Станция отбора проб	Общее количество бактерий, кл/мл
1	Устье р. Джида	$4,32 \cdot 10^6$
2	р. Селенга, выше устья р. Джида	$4,97 \cdot 10^6$
3	Устье р. Темник	$11,37 \cdot 10^6$
4	р. Селенга, выше устья р. Чикой	$11,37 \cdot 10^6$
5	Устье р. Чикой	$8,85 \cdot 10^6$
6	Устье р. Хилок	$6,63 \cdot 10^6$
7	р. Селенга, г. Улан-Удэ	$6,93 \cdot 10^6$
8	р. Селенга, пос. Кабанск	$7,42 \cdot 10^6$

Распределение общей численности бактерий в воде р. Селенги характеризуется высокими показателями, что можно объяснить следующими факторами: малой водностью реки в исследуемый период; высокой мутностью селенгинских вод. ОЧБ на верхнем участке была ниже по сравнению с нижним участком от устья р. Темник.

Гетеротрофные микроорганизмы. Соотношение различных функциональных групп микроорганизмов в водоеме работает как биоиндикатор и отражает трофический статус водоема. Концентрация гетеротрофных микроорганизмов, осуществляющих аммонификацию (АБ) отражает относительную концентрацию усвояемого микроорганизмами органического вещества. В р. Селенге концентрация таких микроорганизмов составила в среднем $7,1 \cdot 10^3$ КОЕ/мл. Изучению концентрации индикаторных микроорганизмов посвящен ряд современных исследований. Так, в частности, в эвтрофированных водах рек Китая концентрация аммонифицирующих клеток на 2 порядка выше, чем в р. Селенге [8]. Самая низкая численность АБ оказалась в устье р. Хилок ($1,7 \cdot 10^3$ КОЕ/мл) (рис.), именно там, где обнаружен максимальный коли-индекс. Однако коэффициент корреляции между концентрацией гетеротрофных микроорганизмов и коли-индексом при анализе всех 14 проб оказался незначительным и составил $-0,3$. Оказалось, что в воде р. Селенги, в отличие от ее притоков, средняя концентрация АБ больше в 2,5 раза. Следовательно, притоки реки несут в Селенгу воду более чистую с меньшей концентрацией органических веществ. Как показали сравнительные исследования, основанные на анализе 35 проб воды, плотность клеток аммонифицирующих гетеротрофных бактерий в р. Селенге в летний период в среднем в 16,5 раз выше, чем в пелагиали оз. Байкал. Количество гетеротрофных микроорганизмов в летний период (июль–август) в 1993 г. в р. Селенге составляло $2,4\text{--}4,2 \cdot 10^3$ КОЕ/мл. Тот период характеризовался резким повышением водности реки после продолжительных дождей [6]. По протяженности реки наблюдалось уменьшение этого показателя от границы с Монголией к дельте. В 2010 году не наблюдалось такой закономерности. Самые низкие концентрации гетеротрофных микроорганизмов наблюдались в водах притоков р. Селенги – Джиды, Чикой, Хилок.

Коли-индекс в исследуемый период составил в среднем 640. Лишь в одной из 14 проб характерных колоний на среде Эндо не было обнаружено. Это проба была отобрана в р. Селенге в районе выше п. Усть-Кяхта. Максимальный коли-индекс оказался в устье р. Хилок (11 000). Наибольшие значения коли-индекса в воде р. Селенги оказались на участке реки от устья притока р. Темник до устья притока р. Хилок.

Пробы воды также были проанализированы на количество культивируемых азотфиксирующих микроорганизмов. В табл. 3 представлены результаты распределения численности данных микроорганизмов. По сравнению с концентрацией в эвтрофированных реках, концентрация азотфиксаторов в р. Селенге на 3 порядка ниже [5].

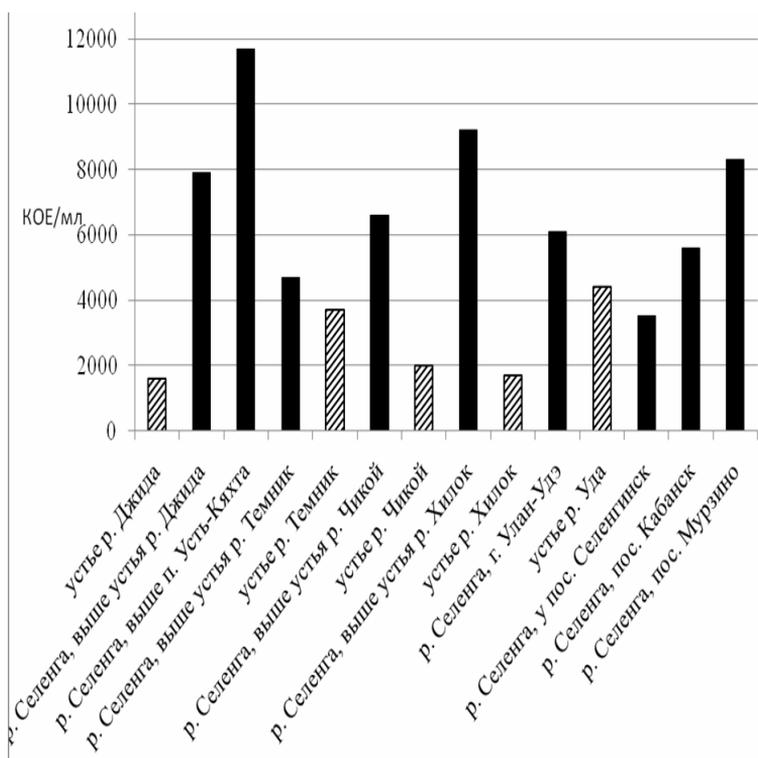


Рис. Распределение культивируемых гетеротрофных микроорганизмов в р. Селенге и ее притоках в июле 2010 г.

Сплошная заливка – р. Селенга, штриховка – притоки р. Селенги

Таблица 3

Численность культивируемых азотфиксирующих микроорганизмов в пробах воды р. Селенги и ее притоках в июле 2010 г.

	Станция	КОЕ/мл
1	устье р. Джида	258
2	р. Селенга, выше устья р. Джида	456
3	р. Селенга, выше п. Усть-Кяхта	393
4	р. Селенга, выше устья р. Темник	612
5	устье р. Темник	927
6	р. Селенга, выше устья р. Чикой	884
7	устье р. Чикой	528
8	р. Селенга, выше устья р. Хилок	387
9	устье р. Хилок	30
10	р. Селенга, г. Улан-Удэ	113
11	устье р. Уда	480
12	р. Селенга, у пос. Селенгинск	370
13	р. Селенга, пос. Кабанск	338
14	р. Селенга, пос. Мурзино	374

Денитрифицирующие микроорганизмы: денитрификация – это процесс восстановления нитрат-иона NO_3^- до оксида азота N_2O или до N_2 [11]. В природе он в основном протекает в анаэробных условиях. Но в последнее время открыто несколько штаммов бактерий, осуществляющих этот процесс при различной степени насыщения кислородом. Обнаружение таких штаммов указывает на их возможное распространение в природе и определенную экологическую роль. Поэтому для предварительной оценки наличия в поверхностных пробах р. Селенги денитрификаторов была использована методика накопительных культур для качественного обнаружения денитрифицирующих бактерий. В 6 из 14 проб воды р. Селенги и ее притоков была выявлена активность денитрификаторов (табл. 4). Полученные данные явно демонстрируют, что денитрификаторов можно выделить и с поверхности реки.

Таблица 4

Денитрификационная активность микроорганизмов в воде р. Селенги и ее притоков

проба	Станция	Наличие газа
1	устье р. Джида	-
2	р. Селенга, выше устья р. Джида	+
3	р. Селенга, выше п. Усть-Кяхта	+
4	р. Селенга, выше устья р. Темник	+
5	устье р. Темник	-
6	р. Селенга, выше устья р. Чикой	-
7	устье р. Чикой	-
8	р. Селенга, выше устья р. Хилок	-
9	устье р. Хилок	+
10	р. Селенга, г. Улан-Удэ	+
11	устье р. Уда	++
12	р. Селенга, у пос. Селенгинск	-
13	р. Селенга, пос. Кабанск	-
14	р. Селенга, пос. Мурзино	-

Примечание: – отрицательный результат; + положительный результат; ++ высокая активность.

Выводы

1. Проведена оценка качества вод р. Селенги на российском участке от границы с Монголией до оз. Байкал по микробиологическим показателям в летний период.

2. Определение общей численности бактерий эпифлуоресцентным методом показало, что наибольшие значения отмечены на среднем участке р. Селенги – до $11,37 \cdot 10^6$ кл/мл.

3. Гетеротрофные микроорганизмы, являющиеся индикаторами органического загрязнения водоемов, были более многочисленны в водах

р. Селенги на всем ее протяжении по сравнению с содержанием их в водах притоков.

4. Изучение санитарно-микробиологического показателя качества вод – коли-индекса показало, что наибольшее его значение в летний период установлены на участке р. Селенги от устья р. Темник до устья р. Хилок.

5. Исследование микроорганизмов круговорота азота позволило установить наличие азотфиксирующих и денитрифицирующих микроорганизмов в пробах воды р. Селенги. Наличие денитрифицирующих микроорганизмов в воде реки указывают на происходящие в водной толще процессы самоочищения.

6. Проведенная оценка качества вод р. Селенги по комплексу микробиологических показателей выявила их низкое качество на всем протяжении и невозможность использования для целей питьевого водоснабжения без специальной обработки. Качество воды устьевых участков притоков: рек Джиды, Темник, Чикой, Хилок по тем же показателям значительно выше.

Список литературы

1. *Авдеев В. В.* Санитарно-микробиологическая оценка воды р. Селенги / В. В. Авдеев, В. В. Дрюккер, О. А. Моложаева // *Вод. ресурсы.* – 1992. – № 5. – С. 122.
2. Изменения климата и химический сток реки Селенги / В. Н. Синюкович, Л. М. Сороковикова, И. В. Томберг, А. К. Тулохонов // *География.* – 2010. – Т. 433, № 6. – С. 817–821.
3. *Потемкина Т. Г.* Особенности флювиального рельефообразования в дельте Селенги // *География и природ. ресурсы.* – 1998. – № 3. – С. 50–53.
4. *Романенко Л. И.* Экология микроорганизмов пресных водоемов. Лабораторное руководство / В. И. Романенко, С. И. Кузнецов. – Л.: Наука, 1974. – 194 с.
5. *Сороковикова Л. М.* Первичная продукция и деструкция органического вещества р. Селенги / Л. М. Сороковикова, В. В. Авдеев // *Вод. ресурсы.* – 1992. – № 5. – С. 163.
6. *Сороковикова Л. М.* Экологические особенности р. Селенги в условиях наводнения / Л. М. Сороковикова, В. Н. Синюкович, В. В. Дрюккер // *География и природ. ресурсы.* – 1995. – № 4. – С. 64.
7. *Шимараев М. Н.* Климат и многолетняя динамика содержания кремния в водной толще озера Байкал / М. Н. Шимараев, В. М. Домышева // *Геология и геофизика.* – 2004. – № 3. – С. 310–316.
8. Functional bacteria as potential indicators of water quality in Three Gorges Reservoir / H. Wang [et al.] // *China Environ. Monit. Assess.* – 2010. – N 163. – P. 607–617.
9. *Kepner R. L.* Use of fluorochromes for direct enumeration of total bacteria in environmental samples: past and present / R. L. Kepner, J. R. Pratt // *Microbiological reviews.* – 1994. – Vol. 58, N 4. – P. 603–615.
10. *Widawati S.* The population of nitrogen fixing bacteria and phosphate solubilizing bacteria in the rhizosphere from gunung halimun national park / S. Widawati, V. Suliasih // *Berita Biologi.* – 2001. – Vol. 5, N. 6. – P. 691–695.
11. *Zumft W. G.* Cell Biology and Molecular Basis of Denitrification // *Microbiology and molecular biology reviews.* – 1997. – Vol. 61, N 4. – P. 533–616.

Study of bacterial plankton of Selenga River and quality assessment of its water on microbiological indicators

A. S. Kovadlo, V. V. Drucker

Abstract. Water of Selenga River from the border with Mongolia to its delta was analyzed for some microbiological indicators. The data obtained demonstrate that the waters of Selenga tributaries are cleaner as compared with the river itself. On all 14 sampling stations except the station situated upstream from Ust-Kyakhta *E. coli* was detected. Low water level of the river determined high indicators of total number of bacteria – $4,32 \cdot 10^6$ – $11,37 \cdot 10^6$ cell/ml. Almost a half of the samples demonstrated denitrification activity of microorganisms which indicates to self-purification process of the water body.

Key words: river Selenga, total number of bacteria, heterotrophic microorganism, coli-index, denitrification.

Ковадло Анна Сергеевна
кандидат биологических наук
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
научный сотрудник
тел.: раб. (3952) 425415

Дрюккер Валентин Валерьянович
доктор биологических наук, профессор
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
главный научный сотрудник
тел.: раб. (3952) 425415