

ИССЛЕДОВАНИЯ В БАССЕЙНЕ БАЙКАЛА

УДК 556.114.7

Н. В. БАШЕНХАЕВА, В. Н. СИНЮКОВИЧ, Л. М. СОРОКОВИКОВА, Т. В. ХОДЖЕР

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ВОДЕ РЕКИ СЕЛЕНГИ

Представлены результаты многолетних исследований временной изменчивости содержания органических веществ (ОВ) в воде р. Селенги. По изменению концентрации и отдельных фракций ОВ в реке выделено два участка, различных по степени загрязненности и качественному составу ОВ.

Presented are the results from long-term studies on temporal variability in organic matter (OM) content in the Selenga river waters. Based on the variation in OM concentration and its separate fractions, two sections of the river are identified, which differ by the level of water pollution and qualitative OM composition.

Органические вещества (ОВ) — важная составная часть природных вод, в значительной степени определяющая их качество и трофический статус. В реках ОВ в основном аллохтонного происхождения и поступает преимущественно из почв речных пойм [1]. Основной вынос его наблюдается в периоды высокой водности. В состав ОВ природных вод входят белки, простые и сложные углеводы, эфиры, карбоновые и аминокислоты, фенолы и другие классы соединений, но основную часть составляют гумусовые вещества [2–4]. Их содержание в воде континентальных водоемов по сравнению с остальными органическими компонентами настолько велико, что при решении многих практических задач гидрохимии и гидробиологии вполне правомерно использовать обобщенные характеристики гумусовых веществ для всей совокупности ОВ [5–8].

Несмотря на разнообразие ландшафтов бассейна Селенги — от горной тайги до сухих монгольских степей, почвенный покров территории отличается невысокой гумусностью [9], предопределяя сравнительно низкое природное содержание органического вещества в речных водах. Доля автохтонного ОВ, оцененная по интенсивности фотосинтеза фитопланктона [10], около 5 %. Со второй половины XX в. заметное влияние на формирование ОВ в селенгинской воде оказывают хозяйственно-бытовые стоки. Так, в районе г. Улан-Удэ в воде регистрируется высокое содержание специфических колиформных микроорганизмов (до 10–27 тыс. кл/л) [11]. В условиях низкой водности при залповых выбросах сточных вод повышенное содержание ОВ в Селенге прослеживается до низовьев реки (с. Мурзино).

Изучение количественных и качественных характеристик ОВ в воде Селенги проводится с 1931 г. [12]; наиболее регулярные наблюдения на ее российском участке велись в 1950-е и 1970-е гг. Полученные ряды наблюдений позволили оценить вынос ОВ в Байкал в этот период [13–15]. Однако их содержание в воде, состав, скорости трансформации и усвояемости биотой подвержены существенным изменениям, поэтому исследования ОВ в главном притоке озера весьма актуальны.

Цель данной работы — изучение временной изменчивости в воде концентраций ОВ, их состава и трансформации по длине Селенги от пос. Наушки до устья, изменений во второй половине XX в. условий формирования вещества и поступления его в озеро.

В статье анализируются результаты многолетних наблюдений, выполненных сотрудниками Лимнологического института СО РАН на р. Селенге в 1971–2002 гг. За этот период проведена 31 комплексная съемка по всей длине ее российской части (23 створа), включая приустьевые участки основных притоков (рис. 1).

© 2006 Башенхаева Н. В., Синюкович В. Н., Сороковикова Л. М., Ходжер Т. В.

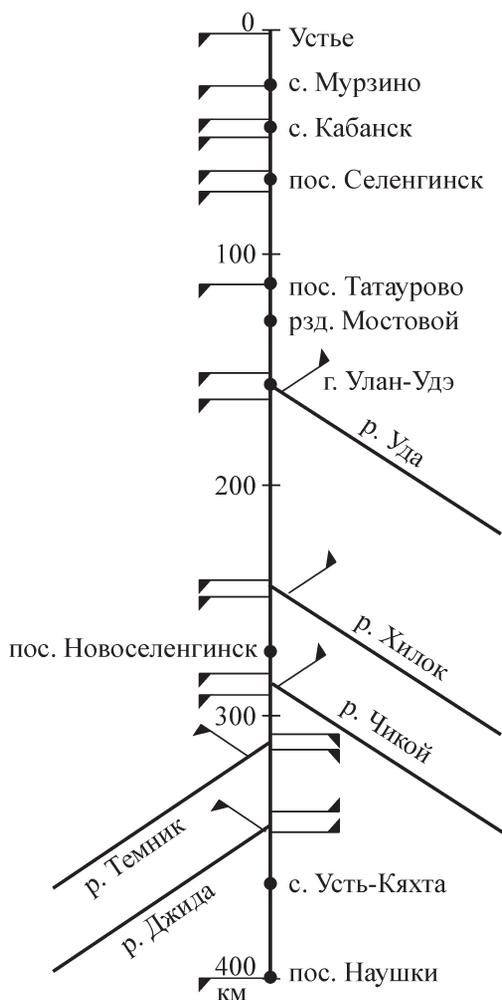


Рис. 1. Гидрографическая схема р. Селенги в пределах России. Флажками обозначены места отбора проб.

Пробы воды отбирались у берегов (с поверхности) и на середине реки (с поверхности и у дна), затем они фильтровались через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Анализы выполнены общепринятыми в гидрохимии пресных вод методами [16–18]. Содержание ОВ оценивалось по органическому углероду ($C_{орг}$) как прямым определением, так и посредством пересчета через бихроматную окисляемость. Концентрация органического фосфора ($P_{орг}$) определялась по разности между концентрациями общего фосфора ($P_{общ}$) и минерального ($P_{мин}$). Бихроматная (БО) и перманганатная (ПО) окисляемость определялись в фильтрованных и нефильтованных пробах, биохимическое потребление кислорода за пять (БПК₅) и за 30 суток (БПК₃₀), содержание $C_{орг}$, $N_{орг}$ и $P_{орг}$ — только в нефильтованных пробах. Содержание взвешенного ОВ оценивалось по разности концентраций $C_{орг}$ в фильтрованных и нефильтованных пробах, концентрация легкогидролизуемого органического вещества (ЛОВ) — по величине БПК₅ и БПК₃₀, а относительное его содержание — по отношению БПК₃₀ к величине БО [2, 5]. С использованием значений БПК₅ и БПК₃₀ рассчитаны константы скорости потребления кислорода (k) по формуле [2]:

$$\log (\text{БПК}_{30} / (\text{БПК}_{30} - \text{БПК}_5)) = kt \quad (t = 5 \text{ сут.}).$$

Величину k можно рассматривать как параметр, характеризующий степень лабильности ОВ и скорость его включения в биотический круговорот.

Измерения ОВ в воде Селенги и ее основных притоков в условиях различной водности (табл. 1 и 2) выявили периодически высокое содержание ОВ у пос. Наушки, постепенно снижающееся вниз по течению. Ниже впадения каждого из притоков концентрация вещества в воде Селенги меняется в соответствии с их водностью и содержанием $C_{орг}$. В связи с этим наиболее заметное изменение концентрации ОВ в воде реки отмечается ниже впадения р. Чикой, сток которой в среднем составляет 35 % стока Селенги. В паводки влияние притоков проявляется сильнее, чем в меженный период. На спаде паводка содержание ОВ в воде притоков уменьшается раньше, чем в Селенге, что способствует разбавлению более насыщенных ими селенгинских вод. Однако впадение притоков не вызывает чрезмерно резких колебаний содержания ОВ в селенгинской воде, так как внутриводная динамика их концентраций в Селенге и притоках достаточно близка вследствие общих закономерностей колебаний водного стока.

Максимальное содержание ОВ в воде Селенги наблюдается во время весеннего половодья, когда они интенсивнее вымываются из почв и растительной подстилки. Концентрация $C_{орг}$ в этот период может достигать 11,6–15 мг/л (рис. 2). В отдель-

Таблица 1

Изменение содержания $C_{орг}$ в воде Селенги и основных притоков в условиях различной водности, мг/л

Река – пункт	Паводок		Межень	
	подъем (август 1971 г.)	спад (сентябрь 1973 г.)	зимняя (март 1989 г.)	летняя (июнь 1990 г.)
Селенга – Наушки	8,94	3,37	11,1	4,91
Джидда – устье	8,50	4,19	1,76	1,80
Темник – устье	7,30	4,49	2,10	2,72
Чикой – устье	5,22	2,79	2,10	4,38
Селенга – Новоселенгинск	7,45	3,63	3,24	4,27
Хилок – устье	10,6	5,24	2,91	7,94
Селенга – выше Улан-Удэ	8,05	3,97	3,03	7,01
Уда – устье	10,1	4,34	6,29	3,15
Селенга – ниже Улан-Удэ	8,16	4,04	3,37	6,89
Селенга – Мурзино	7,30	4,19	4,16	7,75

Распределение концентрации $C_{\text{орг}}$ в растворенной и взвешенной формах в воде Селенги (июль 2001 г.)

Станция	$C_{\text{орг}}$, мг/л		$C_{\text{взв}}$, мг/л	$C_{\text{взв}}/C_{\text{общ}}$, %
	нефильтр.	фильтр.		
Выше пос. Наушки	6,9	5,4	1,5	21
Чикой – устье	2,9	2,5	0,4	14
пос. Новоселенгинск	6,2	5,2	1	16
Выше г. Улан-Удэ	4,6	4,2	0,4	9
Ниже г. Улан-Удэ	4,5	4,2	0,3	7
с. Кабанск	4,9	4,2	0,7	15
с. Мурзино	5,1	4,5	0,6	12

ные годы высокие концентрации ОВ отмечались в период летних паводков, особенно в июне—июле 1988 г. В том же году сравнительно высокое содержание $C_{\text{орг}}$ наблюдалось осенью. В зимние месяцы концентрация ОВ в воде самая низкая, хотя во время ледостава отмечается кратковременный рост их содержания на 20–40 %, обусловленный резким повышением уровня воды в этот период и смывом ОВ с берегов.

В районе г. Улан-Удэ на содержание и формирование ОВ в селенгинской воде влияет поступление промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод с более высокими концентрациями как общего ОВ (см. табл. 1), так и отдельных его компонентов (табл. 3).

Строительство в 1986 г. городских очистных сооружений позволило снизить антропогенную нагрузку на реку, что выразилось в уменьшении концентрации главных ионов в воде [19], но, как показывает анализ полученных данных, не привело к заметному снижению содержания органических соединений (табл. 4).

Максимальное содержание взвешенного ОВ в селенгинской воде наблюдалось в половодье и достигало 36 % его общего количества. Минимальная концентрация отмечена зимой. В летнюю межень распределение взвешенного ОВ по длине реки заметно различается. Так, в июле 2001 г. (см. табл. 2) его содержание на участке реки между поселками Наушки и Новоселенгинск снизилось от 21 до 14 %, что обусловлено поступлением вод р. Чикой с низким содержанием общего и взвешенного ОВ. Ниже по течению, в районе г. Улан-Удэ, количество взвешенного ОВ снизилось до минимальных величин. Далее повышение отмечено в низовьях реки (с. Кабанск, с. Мурзино). Основная масса ОВ в воде р. Селенги находится в растворенном состоянии.

Динамика концентрации ЛОВ в воде Селенги (см. табл. 4) свидетельствует о сравнительно равномерном его распределении по длине реки в исследуемый период. Величина БПК₃₀ изменялась в пределах 4,7–6,0 мгО/л, составляя 18–33 % общего содержания ОВ. В распределении БПК₅ по длине реки выделяются участки с низкими его значениями — от 0,9 до 1,2 мгО/л (пос. Наушки—створ ниже устья р. Джиды) и высокими — от 2,0 до 2,3 мгО/л (створ выше г. Улан-Удэ—протока Харауз). Как

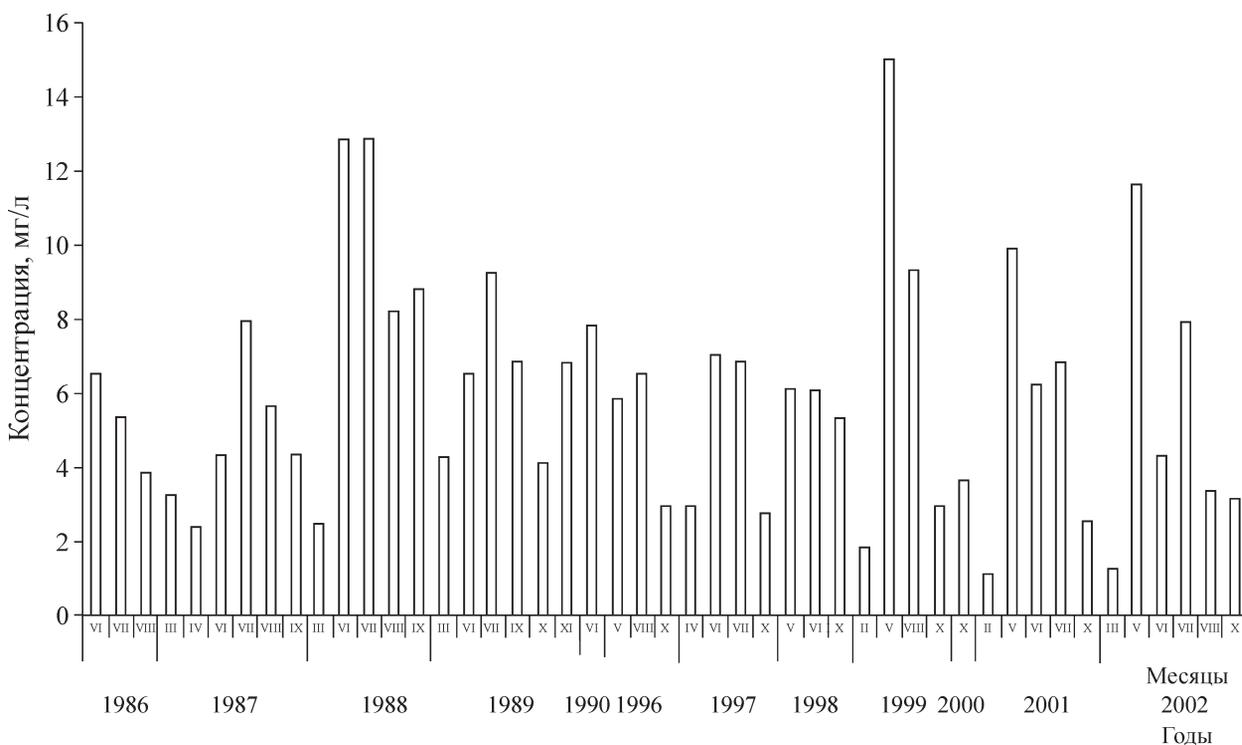
Рис. 2. Временная динамика концентрации $C_{\text{орг}}$ в воде Селенги.

Таблица 3

**Концентрация органических форм углерода, азота, фосфора
и их соотношение в воде Селенги, мг/л**

Ингредиент	Выше г. Улан-Удэ	Ниже г. Улан-Удэ	Выше СЦКК*	Ниже СЦКК	с. Кабанск	с. Мурзино
<i>Июль 1986 г.</i>						
C _{орг}	7,0	5,6	5,7	5,2	6,0	6,5
N _{орг}	0,322	0,565	0,732	1,233	0,819	1,019
P _{орг}	0,014	0,052	0,022	0,029	0,042	0,079
C/N	22	10	8	4	8	7
C/P	499	107	259	179	143	82
<i>Август 1986 г.</i>						
C _{орг}	4,4	4,9	4,7	4,3	4,1	5,3
N _{орг}	0,333	0,468	0,821	0,667	0,492	0,818
P _{орг}	0,035	0,043	0,037	0,043	0,055	0,057
C/N	13	10	6	6	8	7
C/P	126	114	127	100	74	93
<i>Октябрь 1986 г.</i>						
C _{орг}	3,6	3,8	3,6	3,8	4,1	3,8
N _{орг}	0,564	0,637	0,480	0,291	0,324	0,246
C/N	6	6	8	13	13	15
<i>Март 1987 г.</i>						
C _{орг}	—	—	2,1	4,2	3,2	3,2
N _{орг}	—	—	0,285	0,190	0,310	0,260
P _{орг}	—	—	0,012	0,016	0,009	0,008
C/N	—	—	7	22	10	12
C/P	—	—	175	263	356	400

* СЦКК — Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат.

показывает сезонная динамика концентраций ЛОВ (рис. 3), последние колебались в узких пределах, за исключением пониженных значений в июне. В сезонном изменении БПК₅ минимальные значения наблюдались в июне. В 2001 г. величина БПК₅ в среднем составляла 1,3 мгО/л, БПК₃₀ — 3,4 мгО/л. Таким образом, содержание ЛОВ в воде Селенги в многолетнем аспекте изменяется незначительно. При этом в 2001 г. прекратился сброс в реку сточных вод СЦКК с высокими концентрациями ЛОВ.

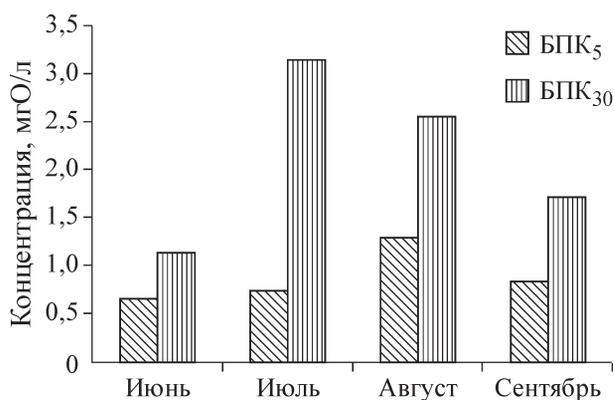
Величины БО и ПО в селенгинской воде колебались от 4,2 до 33,3 и от 1,8 до 13,7 мг/л соответственно. Максимум их характерен для периода половодья и летне-осенних паводков, минимум — для

Таблица 4

**Изменение показателей лабильного органического вещества и константы скорости потребления кислорода (k)
в воде Селенги, некоторых ее притоков и в сточных водах (июнь 1990 г.)**

Станции отбора проб	БПК ₅ , мгО/л	БПК ₃₀ , мгО/л	БПК ₅ /БПК ₃₀ , %	k	БО, мгО/л	БПК ₃₀ /БО, %
Селенга — пос. Наушки	1,21	5,3	23	0,02	15,9	33
Селенга — выше устья Джиды	1,12	5,13	22	0,02	28,3	18
Джида — устье	0,59	2,95	20	0,02	17,0	17
Селенга — ниже устья Джиды	0,9	5,23	17	0,02	20,0	26
Селенга — выше г. Улан-Удэ	2,23	5,81	38	0,04	18,7	31
Уда — устье	1,92	5,84	33	0,03	8,4	69
Сточные воды г. Улан-Удэ	4,04	6,97	58	0,08	27,1	26
Селенга — ниже г. Улан-Удэ	2,23	5,5	40	0,05	17,1	32
Селенга — выше СЦКК	2,59	5,39	48	0,06	18,7	29
Сточные вод СЦКК	5,00	5,92	84	0,16	11,2	53
Селенга — под сбросами СЦКК	2,03	5,87	35	0,04	10,7	55
Селенга — ниже СЦКК	2,26	5,89	38	0,04	18,7	32
Селенга — с. Кабанск	2,15	5,97	36	0,04	19,5	31
Селенга — с. Мурзино	2,06	5,48	38	0,04	20,7	26
Селенга — устье протоки Харауз	2,02	5,43	37	0,04	15,9	34

Рис. 3. Сезонная динамика величин БПК₅ и БПК₃₀ в воде Селенги.



зимней межени. Как показывает анализ данных по длине реки, содержание ОВ, окисляемого перманганатом калия (ПО) в селенгинской воде более стабильно по сравнению с ОВ, окисляемым бихроматом калия (БО). Заметных изменений ПО по длине реки не выявлено. Соотношение ПО/БО и ПО/ $C_{орг}$ в период исследований изменялось, соответственно, от 23 до 44 и от 0,8 до 1,2.

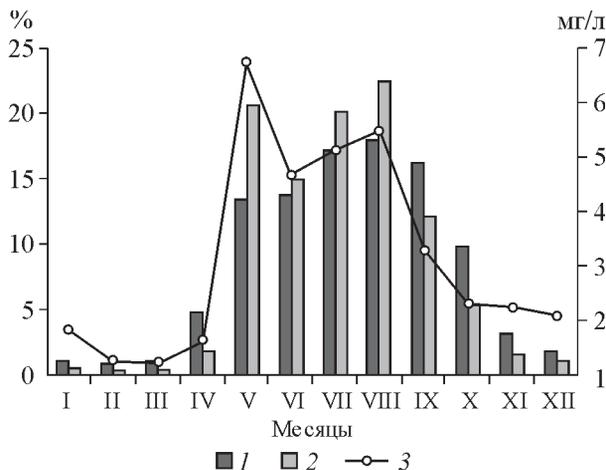
Максимальные концентрации органических форм азота и фосфора в воде Селенги отмечены в летний период (см. табл. 3). Осенью содержание $N_{орг}$ в два–три раза понизилось на участке реки от створа выше СЦКК до с. Мурзино, тогда как в районе Улан-Удэ оно повысилось в 1,5 раза, что, очевидно, связано с поступлением городских сточных вод. Зимой концентрации этих элементов наименьшие.

Отношения С/Н и С/Р, используемые для качественной характеристики ОВ, изменялись от 4 до 22 и от 74 до 499 соответственно. Низкие их значения наблюдались летом, повышенные — осенью и зимой.

Концентрация и состав ОВ в воде Селенги на участке между пос. Наушки и устьем изменяются в широких пределах и зависят от времени года, условий водности, объемов промышленных и хозяйственно-бытовых сбросов, температуры воды и др. Непостоянство этих факторов, прежде всего высокая изменчивость водного стока, определяет сложный характер формирования ОВ, затрудняя закономерность его трансформации и затрудняя выявление тенденций изменения в реках. Для преодоления этих трудностей при анализе используются не только данные прямых определений концентрации ОВ, но и обобщенные показатели. Например, предлагалось использовать массовую характеристику ОВ, т. е. его общую массу во всем объеме воды на определенном участке реки [20]. Однако и этот показатель непосредственно связан с расходами воды. Нами опробовано использование в качестве индикатора содержания ОВ значений $C_{орг}$, приведенных к определенной водности. Этот подход имеет ряд преимуществ, однако возможности его применения существенно ограничены из-за недостатка экспериментальных данных, так как каждому значению концентрации ОВ соответствуют определенные условия его формирования (состояние почвенно-растительного покрова, температура воды, фаза водности, соотношение источников питания и др.), более или менее стабильные только в зимний период.

В результате анализа данных о распределении содержания $C_{орг}$ по длине реки установлено, что оно становится более упорядоченным при сопоставлении усредненного внутригодового распределения ОВ и его выноса с изменениями водного стока (рис. 4). Так, за июнь–август с речными водами выносятся около 57 % годового объема ОВ. Вклад этих месяцев в годовой объем водного стока также высок — около 50 %. В связи с низким стоком воды и небольшими абсолютными концентрациями ОВ его вынос за ноябрь–март составляет всего 3 %.

По содержанию ОВ в водах основных притоков и их водности выявлены закономерности распределения ОВ по длине Селенги. В пределах ее российской части выделены два характерных участка — от пос. Наушки до Улан-Удэ и от Улан-Удэ до устья реки.



На первом участке почти всегда отмечается высокое содержание ОВ у пос. Наушки и постепенное его снижение вниз по течению, обусловленное разбавляющим влиянием главных притоков Селенги — Джиды, Темника, Чикоя (см. табл. 1). При выпадении локальных ливней и прохождении паводков на одном или нескольких притоках, а также в начальной фазе наиболее значительных паводков, когда дождевые максимумы на притоках отмечаются раньше, чем на основной

Рис. 4. Внутригодовая динамика показателей Селенги (с. Мурзино).

1 — водность, %; 2 — вынос $C_{орг}$, %; 3 — $C_{орг}$, мг/л.

реке, в русло Селенги поступает большой объем вод, обогащенных ОВ, и увеличивается их содержание при неоднородном распределении как по длине, так и по ширине реки [21].

За период исследований с 1971 г. концентрация $C_{\text{орг}}$ в Селенге менялась от 1,6 зимой до 15,0 мг/л летом (см. рис. 2). Во время экстремально высоких летних паводков она возрастала до 20 мг/л [21]. В последние годы в связи со спадом производства объемы сбросов сточных вод крупных предприятий уменьшились, однако заметного снижения содержания ОВ в воде не произошло из-за ухудшения эффективности работы очистных сооружений и появления мелких перерабатывающих предприятий, стоки которых поступают в реку без достаточной очистки.

Полученные результаты позволяют оценить качество селенгинских вод. Так, участок реки от пос. Наушки до Улан-Удэ можно охарактеризовать как «чистый». Величина БПК₅ здесь (2 мгО/л) не превышает ПДК [22]. Этот вывод подтверждает соотношение БПК₅/БПК₃₀ (см. табл. 4), которое для чистых вод изменяется от 2 до 24 % [2]. Общее количество ЛОВ возрастает к низовьям реки. На станциях, находящихся в зоне интенсивного антропогенного влияния (ниже Улан-Удэ), величина БПК₅ уже превышает ПДК, что свидетельствует об ухудшении качества воды до категории «загрязненная».

В зависимости от состава ЛОВ изменяется возможность включения его в биотический круговорот [23, 24]. Рассчитанные константы скорости потребления кислорода (k) или включения ОВ в круговорот в селенгинской воде изменяются от 0,02 до 0,06 (см. табл. 4). Эти величины укладываются в пределы констант, характерных для природных вод [2, 24]. Значения k для поступающих в реку сточных вод получились значительно выше (0,08–0,16), чем для воды р. Селенги. При оценке изменения констант скорости потребления кислорода по длине реки хорошо видно их увеличение на отрезке между пос. Наушки и устьем, что обусловлено влиянием сточных вод и увеличением в составе ЛОВ органических веществ планктонного происхождения.

Рассчитанные соотношения ПО/БО и $\text{ПО}/C_{\text{орг}}$, являющиеся важными характеристиками качественного состава ОВ и степени его трансформации [2, 24–26], показали, что в воде Селенги, как и большинства рек, преобладает аллохтонное ОВ терригенного происхождения. Как известно, в водах, богатых свежими нетрансформированными ОВ типа белков и жиров, величина отношения ПО/БО меньше 40 %, а в водах, богатых темноокрашенными гумусовыми веществами, она больше 40 %. В воде Селенги в открытый период этот показатель изменяется от 32 до 44 %. В период преобладания грунтового питания он снижается в среднем до 23 %, что отличает Селенгу от таких рек, как Енисей и Волга, где в течение всего года ПО/БО колеблется в пределах 37–68 % [25] и 35–47 % [26] соответственно. Пониженные значения этого отношения в р. Селенге свидетельствуют о том, что в составе ОВ ее вод преобладают органические соединения с алифатической структурой [5], что обусловлено особенностями их формирования здесь — распространением в бассейне реки почв с низким содержанием гумуса и преобладанием в нем фульвокислот [9]. В составе ОВ вод Енисея и Волги преобладают ароматические соединения почвенного гумуса, поступающие с заболоченных водосборов.

Величина соотношения $\text{ПО}/C_{\text{орг}}$ в речных водах в зависимости от трофности изменяется от 0,6 до 1,6 [5]. В водах, богатых ОВ с преобладанием темноокрашенных гумусовых веществ, $\text{ПО}/C_{\text{орг}} > 1$, а в водах, в составе ОВ которых доминирует свежий органический материал планктонного происхождения, $\text{ПО}/C_{\text{орг}} < 1$. В селенгинской воде этот показатель изменялся от 0,8 до 1,2, что говорит о наличии различных соединений ОВ.

Исследование содержания и динамики органического азота и фосфора показало, что концентрация этих элементов в селенгинской воде в значительной степени зависит от активности внутриводоемных процессов. Их максимальные значения и низкие величины отношений C/N и C/P наблюдались в вегетационный период (см. табл. 3), что обусловлено возросшей интенсивностью продукционных процессов [27–29]. Повышенные концентрации $P_{\text{орг}}$ и $N_{\text{орг}}$ в воде Селенги, составляющие от 0,008 до 0,079 мг/л и от 0,19 до 1,233 мг/л соответственно, свидетельствуют о существенных запасах биогенных элементов в составе ОВ. Для сравнения следует отметить, что в воде Енисея и Лены отношения C/N и C/P колеблются в значительных пределах — 5–31 [25] и 30–58 [30] соответственно. Широкий диапазон этих отношений характерен для вод, богатых ОВ желтовато-коричневого цвета, а воды с узким диапазоном слабо окрашены, количество ОВ в них невелико и оно обычно планктонного происхождения [2]. Значительный диапазон колебаний этих отношений Б. А. Скопинцев [2] связывал с тем, что в исходных веществах, из которых образуется растворенное ОВ, он также велик.

В планктонных организмах отношение C/N в среднем колеблется в пределах 5–7, в гумусе почв — 8–12, в водных и наземных растениях — 20–40. Узкому диапазону отношений C/N (10–12) соответствует и узкий диапазон отношений C/P (около 150), широкому диапазону отношений C/N (>20) соответствует диапазон отношений C/P больше 500 [2]. Анализ этих отношений в селенгинской воде свидетельствует, что формирование ОВ в реке генетически связано с ОВ почв водосборной территории, а к низовьям реки в его составе увеличивается доля планктонного вещества.

Перенос ОВ водами Селенги от пос. Наушки к устью возрастает в 2,4 раза, что в основном вызвано увеличением водности реки. В середине XX в. общий вынос ОВ рекой составлял около 287 тыс. т/год [14]. В современных условиях он вырос до 339 тыс. т/год [31]. Следует отметить, что в некоторых публикациях приводятся более высокие значения выноса — 437 тыс. т/год [32], что, возможно, связано с использованием авторами данных, полученных до введения в эксплуатацию очистных сооружений г. Улан-Удэ.

В результате исследований установлено, что динамика содержания ОВ в воде Селенги обусловлена в основном изменениями ее водности. Наиболее высокие концентрации и сток ОВ приходится на многоводные летние месяцы — июль—август.

Состав ОВ селенгинских вод определяется как природными, так и антропогенными факторами. На участке реки от пос. Наушки до г. Улан-Удэ формирование ОВ в основном зависит от природно-климатических условий на водосборе, и в его составе преобладает аллохтонное ОВ. Ниже Улан-Удэ в его формировании усиливается роль антропогенных факторов (поступление промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод), что приводит к изменениям состава ОВ. В нем увеличиваются содержание легкогидролизуемой фракции и органических форм азота и фосфора, а также скорость потребления кислорода на окисление ОВ. Величины отношений C/N и C/P сужаются. В результате снижения скоростей течения в низовьях реки создаются благоприятные условия для развития фитопланктона, активизируются продукционные и деструкционные процессы, что также способствует повышению в воде концентраций ЛОВ. Увеличение в селенгинской воде содержания ЛОВ обуславливает его повышенный вынос в оз. Байкал, воды которого обогащаются не только ОВ, но и легкодоступными биогенными элементами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В. И. История минералов земной коры. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — Т. 4, кн. 2.
2. Скопинцев Б. А. Органическое вещество в природных водах (водный гумус) // Труды Гос. океаногр. ин-та. — 1950. — Вып. 17 (29).
3. Семенов А. Д. Органические вещества в поверхностных водах Советского Союза: Автореф. дис. ... д-ра хим. наук. — Иркутск, 1971.
4. Duursma E. K. The dissolved organic constituents of sea water // Chemical oceanography. — 1965. — Vol. 1.
5. Скопинцев Б. А., Гончарова И. А. Использование значений отношений различных показателей органического вещества природных вод для его качественной оценки // Современные проблемы региональной и прикладной гидрохимии. — Л.: Гидрометеоздат, 1987.
6. Butturini A., Sabater F. Seasonal variability of dissolved organic carbon in a Mediterranean stream // Biogeochemistry. — 2000. — Vol. 51.
7. Бикбулатова Е. М. Органическое вещество в водах бассейна оз. Плещеево на современном этапе // Водн. ресурсы. — 2002. — Т. 29, № 2.
8. Бикбулатов Э. С., Дзюбан А. Н., Бикбулатова Е. М. Особенности окисления гумусовых веществ поверхностных вод в присутствии глюкозы // Водн. ресурсы. — 2002. — Т. 29, № 4.
9. Уфимцева К. А. Характеристика почвенных районов бассейна реки Селенги // Материалы по изучению производительных сил Бурят-Монгольской АССР. — Улан-Удэ: Кн. изд-во, 1955. — Вып. 2.
10. Вотинцев К. К. Первичная продукция фитопланктона реки Селенги и ее роль в процессах самоочищения // Водн. ресурсы. — 1985. — № 4.
11. Авдеев В. В., Дрюккер В. В., Моложаева О. А., Афанасьев В. А. Санитарно-микробиологическая оценка воды р. Селенги // Водн. ресурсы. — 1992. — № 5.
12. Форш Т. Б. К вопросу о химическом составе воды притоков оз. Байкал // Труды Байкальской лимнол. станции. — 1931. — Т. 1.
13. Бокчарев П. Ф. Гидрохимия рек Восточной Сибири. — Иркутск: Иркут. кн. изд-во, 1959.
14. Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П. Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. — М.: Наука, 1965.
15. Обожин В. Н., Богданов В. Т., Кликунова О. Ф. Гидрохимия рек и озер Бурятии. — Новосибирск: Наука, 1984.
16. Алевкин О. А., Семенов А. Д., Скопинцев Б. А. Руководство к химическому анализу вод суши. — Л.: Гидрометеоздат, 1973.
17. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. — Л.: Гидрометеоздат, 1977.
18. Дудова М. Я. Определение органического азота по микрометоду Кьельдаля в водах, содержащих большое количество минерального азота // Гидрохимические материалы. — 1960. — Т. 30.
19. Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н., Голобокова Л. П., Чубаров М. П. Формирование ионного стока Селенги в современных условиях // Водн. ресурсы. — 2000. — Т. 27, № 5.
20. Бреслав Е. И., Таганов Д. Н. Использование массовой характеристики для оценки загрязненности р. Селенги // Труды Ин-та прикладной геофизики. — М.: Гидрометеоздат, 1986.
21. Сороковикова Л. М., Синюкович В. Н., Дрюккер В. В. и др. Экологические особенности реки Селенги в условиях наводнения // География и природ. ресурсы. — 1995. — № 4.
22. Жукинский В. Н., Оксинюк О. П., Олейник Г. Н., Кошелев С. И. Принципы и опыт построения экологической классификации качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. — 1981. — Т. 17, № 2.

23. Скопинцев Б. А. Взвешенное и растворенное органическое вещество в природных водах по экспериментальным и натурным наблюдениям // Микробиологические и химические процессы деструкции органического вещества в водоемах. — Л.: Наука, 1979.
24. Экологическая система Нарочанских озер. — Минск, 1985.
25. Сороковикова Л. М., Башенхаева Н. В. Эвтрофикация и качество воды р. Енисей // Водн. ресурсы. — 2000. — Т. 27, № 4.
26. Зенин А. А. Гидрохимия Волги и ее водохранилищ. — Л.: Гидрометеиздат, 1965.
27. Поповская Г. И., Кузьмина А. Е. Многолетние изменения фитопланктона реки Селенги // Проблемы экологии Прибайкалья. — Иркутск, 1988.
28. Кузьмина А. Е. Видовой состав фитопланктона реки Селенги // Байкал — природная лаборатория для исследования изменений окружающей среды и климата. — Иркутск, 1994. — Т. 5.
29. Сороковикова Л. М., Авдеев В. В. Первичная продукция и деструкция органического вещества р. Селенги // Водн. ресурсы. — 1992. — № 5.
30. Lara R. J., Rachold V., Katter G. et al. Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: Characteristics and distribution // Marine Chemistry. — 1998. — Vol. 59.
31. Сороковикова Л. М., Синокович В. Н., Ходжер Т. В. и др. Поступление биогенных элементов и органических веществ в оз. Байкал с речными водами и атмосферными осадками // Метеорол. и гидрол. — 2001. — № 1.
32. Тарасова Е. Н., Мещерякова А. И. Современное состояние гидрохимического режима озера Байкал. — Новосибирск: Наука, 1992.

*Лимнологический институт СО РАН,
Иркутск*

*Поступила в редакцию
14 января 2005 г.*