

РЕЖИМ РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В РЕКАХ БАССЕЙНА СЕЛЕНГИ

© 2013 г. З. И. Хажеева*, А. М. Плюснин**

*Байкальский институт природопользования СО РАН

670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

E-mail: zkhazh@binm.bscnet.ru

**Геологический институт СО РАН

670047 Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а

E-mail: plusnin@gin.bcsnet.ru

Поступила в редакцию 21.10.2010 г.

Проведен анализ газового режима и активной реакции вод рек бассейна Селенги. Показано, что в нижнем течении рек Селенга и Уда, подверженных в наибольшей степени антропогенному воздействию, минимальные значения водородного показателя отмечались в подледный период, а в реках Чикой, Хилок, Джиды и Темник – в весеннее половодье и летние паводки. Концентрации органических веществ неоднородны и испытывают значительные колебания под влиянием поступления веществ с основными притоками и сточных вод ГОС. Установлено, что содержание легкоокисляемых органических веществ в 28–33% отобранных проб превышает установленные нормативы предельно допустимых концентраций в период открытого русла рек. Весной и осенью органическое вещество в реках бассейна представлено, главным образом, почвенным терригенным материалом.

Ключевые слова: растворенный кислород, активная реакция воды, легкоокисляемые и трудноокисляемые органические вещества, перманганатная окисляемость.

DOI: 10.7868/S0321059613010045

В условиях современного возрастающего антропогенного воздействия на экосистему р. Селенги возникает практическая необходимость периодической оценки качества воды и экологического состояния реки в целом. Органические вещества (ОВ) представляют собой значительную часть антропогенных загрязнений водотоков. Их источниками могут быть промышленные сточные воды и твердые отходы производства, смыв с берегов, загрязненные грунтовые воды [7, 9, 23, 24]. Исследование органических загрязнений позволяет определить наличие и содержание загрязняющих веществ, а также установить возможные источники загрязнения природных вод.

Известно много публикаций по анализу содержания ОВ в реках бассейна Селенги [4, 5, 9, 11, 19–21]. Опубликованные к настоящему времени данные дают недостаточно полную картину сезонной и пространственной изменчивости ОВ в реках бассейна Селенги, а также факторы, контролирующие эту изменчивость. В последние годы появились новые данные по содержанию ОВ, позволяющие пересмотреть их фоновую концен-

трацию в речных водах бассейна и по новому оценить степень антропогенной нагрузки.

В данном сообщении представлены результаты изучения газового режима, активной реакции водной среды, внутригодовой и пространственной динамики содержания ОВ в воде рек бассейна Селенги на основе обобщенных показателей: БПК₅, ХПК, перманганатной окисляемости (ПО) и сопоставления показателя БПК₅ с нормативами ПДК для рыбохозяйственных водоемов (ПДК_{рв}) [13].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Гидрохимические исследования выполнялись в 2002–2009 гг. В табл. 1 приведены даты отбора проб и соответствующие расходы воды в створах наблюдения. Отбор проб воды проводился в различные фазы водного режима: в зимнюю межень, весеннее половодье, летнюю и осеннюю межени (рис. 1). Для полноты исходных натуральных данных привлекались данные БУГМС. В отобранных пробах были определены цветность (Цв) по пла-

Таблица 1. Даты отбора проб и расходы воды Q в створах наблюдения (1–9 – номера точек отбора проб)

Даты отбора	Створы отбора								
	р. Селенга				р. Чикой 5 с. Поворот	р. Хилок 6 с. Хайла- стуй	р. Уда 7 г. Улан-Удэ	р. Джида 8 пос. Джида	р. Темник 9 с. Улан- Удунга
	1 пос. На- ушки	2 с. Новоси- ленгинск	3 с. Мо- стовой	4 пос. Ка- банск					
Расходы Q^* , м ³ /с									
	2002 г.								
21.03–22.03	57.4	149	184	163	30.4	6.03	19	5.30	1.83
15.04–16.04	253	716	437	456	553		27.8	65.3	4.3
17.05–19.05	302	870	1790	1690	481	447	267		
14.06–15.06	249	646	856	1050	264	132	59.6	137	43.8
15.07–16.07	324	1150	1410	1190	348	161	124	607	74.5
14.08–15.08	216	594	731	827	382	125	60.7	112	35.8
16.09–17.09	209	434	510	565	215	83.9	40.4	73.1	34.4
14.10–15.10	219	400	486	518	162	81.8	39.7	83.5	28.9
	2003 г.								
24.03–25.03	40.8	74.9	93.4	119	15.3	3.4	16.4	3.9	1.23
17.04–18.04	219	362	910	330	78.7	51.5	27.3	57.8	3.74
19.05–20.05	277	546	863	954	271	87.9	50.8	156	52.6
16.06–17.06	282	574	653	811	210	64.4	37.3	118	40.7
17.07–18.07	239	513	552	609	155	60.5	32.5	127	28.7
16.08–17.08	692	1290	1470	1610	446	84	85.3	326	80.3
18.09–19.09	659	1640	1740	2080	496	140	69.4	252	37.7
17.10–18.10	358	846	989	1270	215	109	61.8	143	31.6
	2004 г.								
28.02–01.03	39.2	90.4	112	144	28.6	4.1	11.8	7.6	1.41
21.03–22.03	45.5	108	128	162	32.2	5.1	16.4	9.3	1.81
15.04–16.04	562	278	872	298	88.8		44.3		
18.05–19.05	318	912	1100	1430	503	225	95.5	121	246
14.06–15.06	272	1010	849	970	287	108	88.5	171	114
15.07–16.07	363	840	978	1260	361	101	75.7	116	61.4
14.08–15.08	297	624	842	843	212	73.7	53.9	125	38.9
16.09–17.09	286	594	623	716	206	67.6	46.9	114	53.7
14.10–15.10	274	560	583	646	179	65.6	43.8	123	32.6
	2005 г.								
26.02–27.02	36.6	56.8	83.2	85.8	21.3		6.55		
24.03–25.03	37.1	62.1	88.1	103	22.8	4.0	11.7	6.5	1.86
17.04–18.04	264	265	413	261	56.1	13.4	25.8	57.3	16.8
19.05–20.05	309	695	1420	1070	483	286	124	148	47.9
16.06–17.06	328	1330	1740	1650	930	313	138	156	107
17.07–18.07	260	817	1180	1140	608	157	71.6	123	42.1
16.08–17.08	461	1120	1440	1380	329	93.0	62.6	375	75.5
18.09–19.09	318	742	1020	855	266	87.4	56.9	195	55.9
17.10–18.10	282	520	802	710	209	108	70.3	91.3	32.9
	2006 г.								
28.02–01.03	30.9	47.5	61.2	78.9	15.3	4.27	8.43	3.83	0.39
22.03–23.03	36.1	62.6	79.3	102	16.5	4.64	12.4	6.70	1.67
15.04–16.04	98.5	169	159	264	36.8	7.22	23.7	20.5	4.73
18.05–19.05	343	701	1040	1080	266	245	142	68.8	43.8
14.06–15.06	357	888	1350	1500	425	164	136	42.4	64.8
15.07–16.07	1650	2480	3090	2970	550	152	89.6	841	140
14.08–15.08	417	1080	1300	1430	266	75.8	64.3	178	57.0
16.09–17.09	283	707	906	932	257	73.6	61.7	108	48.5
14.10–15.10	288	560	682	712	187	67.7	60.5	129	34.8

Таблица 1. Окончание

Даты отбора	Створы отбора								
	р. Селенга				р. Чикой 5 с. Поворот	р. Хилок 6 с. Хайла- стуй	р. Уда 7 г. Улан-Удэ	р. Джида 8 пос. Джида	р. Темник 9 с. Улан- Удунга
	1 пос. На- ушки	2 с. Новосе- ленгинск	3 с. Мо- стовой	4 пос. Ка- банск					
Расходы Q^* , м ³ /с									
	2007 г.								
26.02–27.02	44.7	72.9	104	103	25.1	4.2	9.70	9.6	1.44
24.03–25.03	51.2	71.2	103	143	21.2	5.29	16.3	11.1	1.77
17.04–18.04	326	487	724	368	68.9		54.9		
19.05–20.05	314	604	890	843	273	123	82.8	48.1	35.8
16.06–17.06	310	787	818	767	218	86.9	111	41.5	91.2
17.07–18.07	241	678	842	779	247	83.5	79.8	322	46.1
16.08–17.08	252	513	674	572	195	44.9	54.9	148	44.2
18.09–19.09	349	764	914	817	234	45.9	53.0	193	85.6
17.10–18.10	263	487	618	579	145	38.9	53.0	105	27.7
	2008 г.								
27.02–28.02	38.9	33.1	81.5	80.3	9.6	3.11	8.82	7.26	1.11
22.03–23.03	53.8	84.7	113	131	13.2	8.67	15.7	15.4	1.8
15.04–16.04	324	446	631	572	130	24.4	53.3	48.4	8.45
18.05–19.05	217	387	558	541	145	70.4	73.8	44.8	32.2
14.06–15.06	232	455	810	654	171	103	131	167	51.0
15.07–16.07	457	1360	1630	1540	581	127	102	245	74.4
14.08–15.08	379	956	1280	1460	234	86.9	87.8	232	36.5
16.09–17.09	421	1070	1310	1220	370	103	73.8	286	64.7
14.10–15.10	302	584	810	743	209	82.3	65.5	86	29.2
	2009 г.								
26.02–27.02	42.4	62.8	54.8	56.1	12.3	3.3	9.74	4.65	1.16
22.03–23.03	49.4	59.1	92.1	107	13.6	4.8	12.5	10.5	2.02
15.04–16.04	141	793	806	831	151	48.2	64.4	77.2	22.7
18.05–19.05	297	494	866	902	157	82.5	84.5	36.4	30.8
14.06–15.06	306	517	666	620	144	125	81.2	43.9	67.5
15.07–16.07	520	1010	1370	1280	602	152	68.6	110	30.2
14.08–15.08	362	1100	1450	1520	479	86	96.4	236	79.6
16.09–17.09	432	840	1050	1120	415	74	71.5	106	31.8
14.10–15.10	285	747	1120	1240	387	52.3	84.5	84.4	37.6

* Q – по данным БУГМС.

тиново-кобальтовой шкале, зафиксирован растворенный кислород (O_2) по методу Винклера. Пробы на химический анализ фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм. Методы определения БПК₅, ХПК, ПО – стандартные, принятые в гидрохимической практике [1, 2, 6, 14, 16, 22].

Селенга – главная водная артерия Республики Бурятия и Монголии. Она снабжает водой население и промышленные предприятия, принимает хозяйственно-бытовые и промышленные сточные воды, является рыбохозяйственным водое-

мом высшей категории и имеет важнейшее значение в воспроизводстве омуля пелагической популяции – наиболее многочисленной в оз. Байкал. Городские очистные сооружения г. Улан-Удэ сбрасывают ежесуточно 110–120 тыс. м³/сут сточных вод в Селенгу, что составляет ~2.5% расхода воды реки зимой и <0.1% – в период открытого русла [3, 8, 15]. Значения БПК₅ сбрасываемых сточных вод изменяются в пределах 9.8–11.3 мг O_2 /л. Очевидно, что очищенные сточные воды не соответствуют установленным ПДК_{рв} для значений БПК₅.



Рис. 1. Карта-схема района исследований. 1–9 — номера точек отбора проб.

ГАЗОВЫЙ РЕЖИМ И ВОДОРОДНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ВОДЫ РЕК БАСЕЙНА СЕЛЕНГИ

Температура воды рек бассейна с конца октября до первой половины апреля близка к нулю. В мае она повышается до 5–7°C, в июне–августе достигает наивысших значений – 21.5–24.2°C. С сентября начинается постепенное ее понижение, и во второй половине октября – начале ноября

речные воды покрываются льдом. Таким образом, реки покрыты льдом в течение семи месяцев в году.

В зимний подледный период процессы окисления ОВ, с одной стороны, уменьшают количество О₂ в воде, а с другой – способствуют увеличению в ней двуокси углерода (СО₂). Наличие ледяного покрова препятствует проникновению О₂ из воздуха и выделению СО₂ из воды. Внутригодовой диапазон колебаний средних значений во-

Таблица 2. Диапазон колебаний значений рН, концентраций растворенного O₂, CO₂ в воде р. Селенги

Сезон года	пос. Наушки	с. Новоселенгинск	выше г. Улан-Удэ	ниже г. Улан-Удэ	ниже с. Тресково	пос. Кабанск
рН						
Зима	7.4–7.7	6.9–7.9	7.1–7.5	6.9–7.4	7.5–8.1	7.5–7.9
Весна	7.5–7.7	7.9–8.1	7.6–8.0	7.7–7.9	7.7–8.1	7.8–8.4
Лето	7.4–8.5	7.7–8.2	7.8–8.4	7.8–8.1	7.7–8.2	7.7–8.4
Осень	7.4–8.4	8.1–8.5	8.1–8.6	8.0–8.5	7.8–8.4	7.8–8.5
O ₂ , мг/л						
Зима	10.1–12.5	8.9–10.2	7.2–10.1	6.6–10.2	8.1–10.1	8.3–9.3
Весна	9.5–12.5	9.6–11.2	9.9–11.2	9.2–11.2	9.1–10.4	9.1–10.7
Лето	8.4–13.0	7.8–10.6	6.8–9.3	6.7–8.4	7.3–8.6	7.3–8.9
Осень	7.6–13.0	8.8–11.1	7.8–15.0	9.2–14.4	9.1–12.6	8.5–12.7
Среднее	10.3 ± 0.6	9.6 ± 0.6	9.5 ± 0.6	9.6 ± 0.6	9.8 ± 0.6	9.8 ± 0.6
CO ₂ , мг/л						
Зима	0.9–1.3	2.6–18.5	2.2–10.6	2.2–8.8	1.8–2.6	1.8–2.2
Весна	1.3–1.8	0.9–8.4	1.5–3.5	0.9–3.1	1.8–2.2	1.6–2.2
Лето	0.9–1.3	0.9–1.4	1.2–5.3	1.8–4.0	1.7–2.7	1.8–2.2
Осень	1.3–1.8	1.3–2.2	1.2–2.8	1.8–4.0	1.7–2.7	1.8–2.2

дородного показателя рН, содержания растворенного O₂ и CO₂ в воде Селенги за период наблюдений 2002–2009 гг. приведен в табл. 2.

Активная реакция воды Селенги в зимний период в верхнем течении – слабощелочная (рН 7.4–7.7), в отдельные годы (2003, 2005 гг.) в марте она уменьшалась до 7.2–7.3. В среднем течении на створе с. Мостовой фиксировалось в основном слабокислосое состояние среды – рН 6.8–7.5, в отдельные годы (2004, 2006, 2007 гг.) в марте – 6.3–6.5. В нижнем течении (пос. Кабанск) реакция водной среды в этот период была слабокислой и рН изменялся в интервале 7.5–7.9 (табл. 2, рис. 2а).

Активная реакция воды рек Чикой, Хилок, Уда, Джиды и Темник в это время изменялась от нейтральных (рН 7.0–7.4) до слабощелочных (рН 7.7–8.4) показателей (табл. 3, рис. 2в).

В верхнем течении Селенги в подледный период абсолютное количество растворенного O₂ изменялось в диапазоне 10.1–12.5 мг/л при его относительном содержании 74–92%, а CO₂ – в пределах 1.3–1.8 мг/л, что создает благоприятный режим для развития органической жизни в водной среде.

В среднем течении Селенги максимальные амплитуды абсолютного содержания растворенного O₂ в воде уменьшились до 9.8 мг/л (диапазон расширился до 6.7–9.8 мг/л), составляя 46–80% насыщения. Значительно расширился интервал колебаний содержания CO₂ в воде – до 2.2–8.8 мг/л.

В нижнем течении Селенги диапазон абсолютных концентраций O₂ в воде изменялся в интервале от 8.3 до 10.4 мг/л, а насыщение составляло 65–74%. Содержание CO₂ в сезонном цикле изменялось в интервале 1.8–2.4 мг/л.

Абсолютное количество растворенного O₂ в воде рек-притоков Чикой, Хилок, Джиды и Темник составляло 8.1–10.2 мг/л при насыщении 56–75%, а содержание CO₂ в это время не выходило за пределы 0.4–1.8 мг/л. Исключение составила р. Уда: в зимний период содержание O₂ в ее воде изменялось от 6.3 до 8.2 мг/л (насыщение – 45–72%), а CO₂ – 1.8–13.2 мг/л.

Весной после освобождения русел рек ото льда и увеличения поверхностного питания отмечается снижение величины рН в кислую сторону в воде малых рек. В воде притоков фиксировалась слабокислая среда, что свойственно горным рекам, питающимся за счет талых снеговых вод. В отличие от них, в воде Селенги этой закономерности не прослеживается.

Значения рН воды Селенги в это время менялись в пределах 7.2–7.6 в верхнем, 7.4–8.4 в среднем, 7.6–8.6 в нижнем течении. Из приведенных данных видно, что при движении вниз по течению реки реакция среды сдвигается в щелочную сторону.

Абсолютное количество растворенного O₂ в воде Селенги в апреле–мае возрастает и выравнивается по течению до 10.8–11.6 мг/л, а концентра-

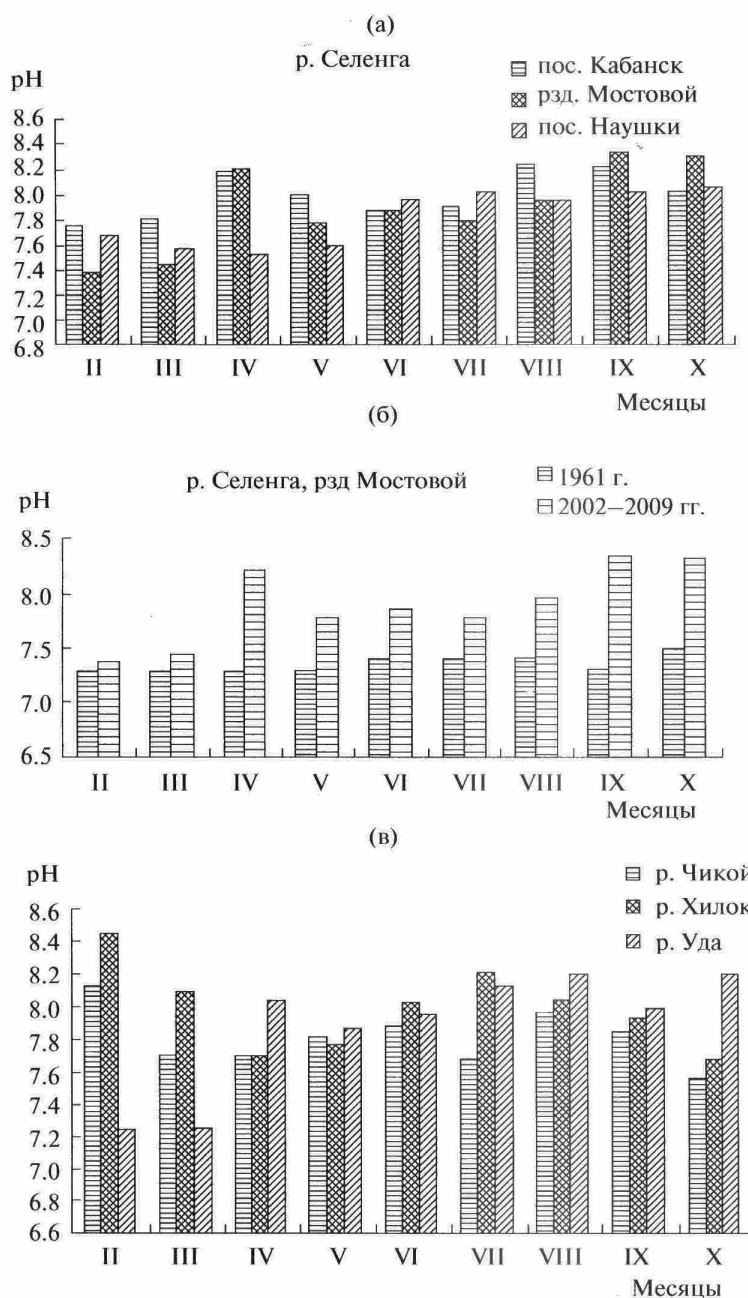


Рис. 2. Внутригодовой диапазон колебаний значений рН: в воде р. Селенги (а); в 1961 г. и 2002–2009 гг. в воде р. Селенги на створе с. Мостовой (б); в воде рек Чикой, Хилок, Уда (в).

ция CO_2 уменьшается до 0.9–1.8 мг/л. Насыщение селенгинских вод по O_2 было наибольшим в верхнем течении и составляло 95–118%, в среднем и нижнем течении – 77–89%.

Весной в воде притоков Чикой, Хилок, Джиды, Темник значения рН снизились до 7.6–7.8, тогда

как в воде Уды они остаются близкими к значениям зимнего периода (8.4), что характеризует слабощелочное состояние водной среды.

Абсолютное количество растворенного O_2 в воде притоков возрастало до 9.5–12.2 мг/л, а насыщение воды составляло 62–97%. Резко увеличи-

Таблица 3. Диапазон колебаний значений рН, концентраций растворенного O₂, CO₂ в воде главных притоков р. Селенги

Сезон года	р. Чикой	р. Хилок	р. Уда	р. Джиды	р. Темник
рН					
Зима	7.6–8.4	7.7–8.4	7.0–7.4	7.6–8.1	7.4–7.9
Весна	7.7–7.8	7.6–7.7	7.6–8.3	7.8–8.2	7.0–7.2
Лето	7.5–7.9	7.6–8.1	7.8–8.2	7.9–8.3	7.3–7.9
Осень	7.9–8.2	7.9–8.1	8.0–8.3	7.6–8.4	7.9–8.2
O ₂ , мг/л					
Зима	8.1–8.2	9.2–10.2	6.4–10.6	8.4–11.9	8.9–10.7
Весна	8.4–10.2	9.6–10.2	9.7–12.0	8.7–10.6	8.8–10.9
Лето	7.7–9.5	7.2–9.0	8.2–9.5	6.2–8.3	7.4–8.3
Осень	8.2–12.0	8.5–10.7	8.6–13.7	8.3–11.9	8.4–10.3
Среднее	9.6 ± 0.6	8.9 ± 0.6	9.4 ± 0.6	9.8 ± 0.6	10.8 ± 0.6
CO ₂ , мг/л					
Зима	0.4–2.2	0.8–7.4	1.8–13.2	2.6–6.6	0.8–4.8
Весна	0.9–6.2	1.3–3.5	0.8–2.6	0.9–3.1	0.5–2.1
Лето	0.6–9.2	0.6–4.8	0.5–3.5	0.9–1.3	0.4–4.8
Осень	0.9–4.4	0.9–6.6	1.8–2.6	0.6–2.5	0.1–0.8

чилось содержание CO₂ – до 5.3–13.2 мг/л в воде рек Уда и Хилок, хотя в воде других притоков оно не превышало 1.3–3.8 мг/л.

Летом, в период наибольшего прогрева поверхностных вод температура воды рек бассейна изменялась в пределах 18.5–24.2°C. В это время в верхнем течении Селенги рН (7.3–8.6) показывал слабощелочную среду. Диапазон колебаний абсолютного содержания O₂ составлял 8.4–9.3 мг/л при насыщении 103–117%. Одновременно уменьшилось содержание CO₂ до 0.9–1.3 мг/л.

В среднем течении Селенги ниже г. Улан-Удэ значения рН показывали слабощелочную среду и изменялись в узком интервале (7.6–8.1). Абсолютное содержание O₂ в воде варьировало в пределах 7.4–8.4 мг/л при насыщении 87–93%. Содержание CO₂ было немного выше в сравнении с весенним периодом и составляло 1.6–4.6 мг/л.

В нижнем течении Селенги значения рН изменялись в интервале 7.8–8.8, показывая сохранение слабощелочной среды. Диапазон изменения содержания O₂ составлял 7.3–8.9 мг/л (86–98% насыщения).

Аналогичные изменения происходят в воде главных притоков. В реках Чикой, Хилок, Уда, Джиды, Темник значения рН составляли 7.8–8.2, колебания абсолютного содержания растворенного O₂ в течение сезона были в пределах 7.8–9.5 мг/л при 84–122% насыщения. Концентрация свобод-

ной CO₂ изменялась в интервале 0.6–4.4 мг/л. Таким образом, в воде притоков более отчетливо проявляется изменение реакции (снижение содержания свободной CO₂ приводит к формированию слабощелочной среды).

В период осеннего охлаждения в воде рек бассейна происходило повсеместное выравнивание абсолютного и относительного содержания O₂ до 9.2–14.2 мг/л (80–125%). Активная реакция воды изменялась по-разному. В среднем течении Селенги и в устье Уды (зона воздействия г. Улан-Удэ) значения рН составляли 8.0–8.5, тогда как на остальных участках Селенги и в устье притоков рек Чикой, Хилок, Джиды, Темник они изменялись в пределах 7.4–8.5.

Сопоставление диапазонов колебаний значений рН в воде р. Селенги и рек Чикой, Хилок, Уда, Джиды, Темник обнаруживает некоторые отличия. В воде притоков во время снеготаяния (апрель, май) наблюдается резкое снижение величин рН. В период паводков (июль, август) понижение рН характерно для всех притоков. В отличие от притоков, в воде Селенги минимальные значения рН отмечены в подледный период. В весеннее половодье и во время летних паводков (июль, август) снижение рН выражено значительно меньше (рис. 2а, 2в).

Газовый режим исследованных вод благоприятен для гидробионтов. Летний минимум концентрации растворенного в воде O₂ в абсолютных ве-

личинах приходится на период максимального прогрева воды. Так, в июле в водах Селенги (при температуре 22.3–23.4°C) абсолютное содержание O_2 в поверхностной воде составляло 7.5–8.1 мг/л. Минимальная концентрация CO_2 в годовом цикле отмечается в летнее время и совпадает с периодом активного фотосинтеза. С понижением температуры речной воды осенью увеличивается возможность поступления в нее атмосферного O_2 . Так, в октябре его концентрация в поверхностном слое Селенги достигала в среднем и нижнем течении 11.2–12.7 и 9.6–14.7 мг/л соответственно. Увеличение содержания растворенного O_2 в осенний период объясняется тем, что при снижении температуры воды возрастает растворимость в ней газов, и этот же факт способствует убыли ХПК и БПК.

Насыщение воды по O_2 в Селенге составляло в летнее-осенний период 90.1–126.5, в осенний 98.7–130.4 и в зимний 49.0–110.0%. Эти данные свидетельствуют о благоприятных условиях для жизни речных гидробионтов во все сезоны годы.

Чтобы определить обусловленность изменения концентрации растворенного O_2 сезонным или пространственным фактором, была проведена количественная оценка пространственной и сезонной изменчивости. Для этого пространственный фактор (ПФ) оценивали как отношение концентрации в данном месте отбора проб к фоновой концентрации ($C_i/C_{ф}$). Фоновым было принято место отбора проб воды выше г. Улан-Удэ. Сезонный фактор (СФ) оценивали по отношению концентрации в данном месте отбора проб к среднегодовому значению (СГЗ) концентрации в том же месте ($СФ = C_i/C_{сгз}$) и по отношению концентрации в точке к ее значению в этом же месте в сезон с наиболее низкой концентрацией O_2 .

При движении вниз по руслу реки наблюдалась одна и та же закономерность пространственного изменения концентрации растворенного O_2 в воде. Наиболее низкие среднегодовые концентрации абсолютного количества O_2 отмечались в среднем течении реки ниже сброса сточных вод ГОС (0.5 км ниже г. Улан-Удэ). При этом с верховьев вниз по течению ПФ варьировал в пределах 3–7%, тогда как в каждом месте отбора проб СФ составлял 25–36%. Степень сезонного изменения концентраций O_2 превышает пространственные колебания в 5–8 раз.

В литературе практически нет сведений о диапазоне колебаний рН и абсолютного содержания O_2 в воде Селенги в верховье и нижнем течении. Сопоставление среднегодовых значений рН с

опубликованными данными [5] по среднему течению реки (с. Мостовой), относящимися к началу 1960-х гг., позволяет выявить тенденцию смещения активной реакции воды Селенги в слабощелочную область (рис. 2б).

Таким образом, анализ долговременных изменений качества воды рек бассейна Селенги по рН и абсолютному содержанию растворенного O_2 свидетельствует о том, что наиболее контрастным показателем антропогенной нагрузки является рН.

БИОХИМИЧЕСКОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ КИСЛОРОДА (БПК)

При определении БПК моделируются процессы, происходящие при окислении ОВ в природных условиях. Биохимическое окисление различных ОВ происходит с разной скоростью. К легкоокисляемым веществам относят формальдегид, глюкозу, мальтозу, низшие алифатические спирты, фенол, фурфурол и др. Величина БПК служит одним из основных измерителей количества загрязняющих веществ, поступающих в водоемы с хозяйственно-бытовыми и разного вида промышленными сточными водами, а также важным показателем состояния водных объектов. Задача определения БПК сводится прежде всего к вычислению потребления O_2 на окисление биохимически легко- и среднеокисляемых примесей, так как они оказывают основное влияние на изъятие O_2 из воды в ходе ее самоочищения.

В подледный период на верхнем участке р. Селенги, в районе пос. Наушки значения БПК₅ отличались низкими величинами, характерными для вод, не содержащих заметных количеств загрязняющих водную среду ОВ. Во всех пробах значения БПК₅ были ниже ПДК_{рв}, установленной для БПК₅ (не более 3 мг O_2 /л [13]). Крайние значения составили 0.5 и 0.7 мг O_2 /л, среднее – 0.6 ± 0.4 мг O_2 /л, что соответствует категории чистых и очень чистых вод (табл. 4).

Вниз по течению р. Селенги после впадения рек Джиды и Чикой повышенные значения БПК₅ отмечались на створе с. Новоселенгинск, где наибольшие значения достигали 2.3–2.95 (среднее 1.6 ± 0.4) мг O_2 /л. Повышенные значения БПК₅ скорее всего связаны с расходом O_2 на биохимическое окисление нестойких ОВ, выделяемых водорослями фитопланктона, поступающего с водами указанных притоков.

В это время выше г. Улан-Удэ наибольшие значения БПК₅ составляли 1.7–1.9 мг O_2 /л (или в 1.7 раза меньше). Ниже г. Улан-Удэ максималь-

Таблица 4. Диапазон колебаний содержания ОВ по значениям БПК₅, ХПК, ПО и Цв воды р. Селенги

Сезон года	пос. Наушки	с. Новоселенгинск	Выше г. Улан-Удэ	Ниже г. Улан-Удэ	Ниже с. Тресково	пос. Кабанск
БПК ₅ , мг О ₂ /л						
Зима	0.59–0.72	0.61–2.95	0.84–1.9	0.69–3.32	1.11–1.66	1.1–1.95
Весна	1.06–1.31	1.36–3.69	1.6–2.34	0.82–4.36	1.2–1.98	1.22–1.74
Лето	1.24–1.65	0.54–2.86	0.6–3.1	1.32–2.46	1.1–3.58	1.32–1.71
Осень	0.91–1.17	1.08–2.9	0.8–2.9	0.34–2.97	1.53–2.8	1.8–2.9
Среднее	1.0 ± 0.4	1.9 ± 0.4	1.6 ± 0.4	1.6 ± 0.4	1.6 ± 0.4	1.6 ± 0.4
ХПК, мг/л						
Зима	7.4–10.4	5.8–16.3	5.2–12.8	5.8–13.8	5.2–17.7	5.2–19.4
Весна	6.4–16.3	8.9–16.3	8.6–18.1	13.5–33.6	12.8–20.0	10.4–23.4
Лето	11.8–29.0	14.1–28.9	8.0–30.8	8.4–18.7	7.0–26.2	6.0–14.1
Осень	7.1–17.7	8.2–11.8	5.5–16.4	5.5–17.3	8.8–24.1	9.1–12.4
Среднее	14.7 ± 0.5	13.6 ± 0.5	12.4 ± 0.5	14.4 ± 0.5	14.6 ± 0.5	13.2 ± 0.5
ПО, мг/л						
Зима	1.2–1.4	1.1–1.5	1.1–1.6	1.1–1.5	1.2–1.4	1.1–1.6
Весна	5.8–7.8	5.5–8.1	5.4–8.3	4.7–7.2	4.2–6.8	4.4–7.1
Лето	1.4–1.6	1.3–1.8	1.2–1.6	1.2–1.7	1.1–1.6	1.1–1.5
Осень	3.8–4.5	4.1–4.9	4.1–5.2	3.9–5.6	4.0–5.2	3.8–5.6
Цв, град.						
Зима	0	0	0	0	0	0
Весна	4–26	8–36	14–55	14–55	10–55	12–55
Лето	18–48	16–48	14–48	6–48	6–39	16–39
Осень	8–18	12–16	8–29	8–31	10–31	14–31

ные значения БПК₅ возрастали до 3.3 мг О₂/л, что характерно для вод, содержащих заметные количества ОВ. В 20% проб значения БПК₅ были выше ПДК_{рв} в 1.2 раза. При среднем значении, равном 1.9 мг О₂/л, диапазон колебаний составил 0.68–3.3 мг О₂/л.

Далее вниз по течению, ниже с. Тресково (сброс сточных вод ЖКХ в пос. Селенгинск) наибольшие значения БПК₅ уменьшаются до 1.7 мг О₂/л, что связано с большим разбавлением сточных вод. В устьевой зоне Селенги максимальное значение БПК₅ не превышало 2.0 мг О₂/л.

В период открытого русла реки содержание легкоокисляемой органики в воде Селенги возрастает, о чем свидетельствует повышение диапазона колебаний значений БПК₅. Так, в верхнем течении значения БПК₅ весной и осенью изменялись в интервале 0.9–1.31 мг О₂/л, летом – 1.24–1.65 мг О₂/л. На створе у с. Новоселенгинск максимальные значения БПК₅ летом и осенью возрастали до ПДК_{рв}, а весной в 33% проб превышали ПДК_{рв} в 1.2 раза. Аналогичная картина наблюда-

лась ниже г. Улан-Удэ, отличаясь только тем, что весеннее превышение ПДК_{рв} возрастало до 1.4 раза. Ниже с. Тресково превышение ПДК_{рв} отмечалось в летний и осенний периоды в 28% проб. В весенний период значения БПК₅ на этом участке реки изменялись в диапазоне 1.2–1.98 мг О₂/л. В нижнем течении реки (створ пос. Кабанск) наибольшие значения БПК₅ весной и летом не превышали 1.75 мг О₂/л, а осенью в 23% проб они увеличивались до значений, близких ПДК_{рв}.

При рассмотрении содержания легкоокисляемой части ОВ в воде главных притоков в зимний период выделяется р. Чикой. В это время здесь диапазон колебаний значений БПК₅ составляет 1.3–2.9 мг О₂/л, тогда как в воде рек Хилок, Уда, Джиды, Темник они варьируют в пределах 0.5–2.2 мг О₂/л (табл. 5).

В период открытой воды существенно возрастают наибольшие значения БПК₅, превышая ПДК_{рв} в 1.1–1.4 раза в 25–28% проб в воде рек Чикой, Хилок, Уда, Джиды. В воде р. Темник значения БПК₅ не превышали ПДК_{рв} (диапазон колебаний

Таблица 5. Диапазон колебаний содержания ОВ по значениям БПК₅, ХПК, ПО и Цв воды главных притоков р. Селенги

Сезон года	р. Чикой	р. Хилок	р. Уда	р. Джиды	р. Темник
БПК ₅ , мг О ₂ /л					
Зима	1.35–2.83	0.58–2.24	0.58–2.12	0.3–1.87	0.5–2.24
Весна	0.5–2.84	1.7–2.8	1.1–3.78	1.2–1.94	0.7–2.4
Лето	0.9–2.5	1.8–4.09	1.1–1.74	0.9–3.2	0.7–1.08
Осень	1.1–1.9	0.9–1.8	0.9–1.7	1.7–2.8	1.2–1.9
Среднее	1.9 ± 0.4	2.0 ± 0.4	1.6 ± 0.4	2.1 ± 0.4	2.1 ± 0.4
ХПК, мг/л					
Зима	4.2–10.2	6.2–9.2	5.8–19.8	5.2–18.4	3.8–11.5
Весна	9.6–24.5	9.2–34.0	9.6–28.7	9.2–20.3	8.7–17.0
Лето	4.4–18.0	8.4–16.8	6.0–16.8	7.0–15.8	6.0–13.0
Осень	6.2–14.1	7.8–10.3	8.1–22.6	7.4–32.7	6.8–20.9
Среднее	12.4 ± 0.5	17.4 ± 0.5	13.5 ± 0.5	15.1 ± 0.5	12.8 ± 0.5
ПО, мг/л					
Зима	1.2–1.4	1.3–1.5	1.2–1.4	1.1–1.3	1.1–1.3
Весна	5.9–8.9	4.8–9.2	4.5–8.5	2.3–6.2	2.1–5.6
Лето	1.4–1.9	1.4–2.2	1.3–1.8	2.1–5.2	1.2–4.8
Осень	4.3–5.9	3.8–6.2	3.9–6.4	4.8–8.9	4.1–5.2
Цв, град.					
Зима	0	0	0	0	0
Весна	26–59	48–82	14–55	0	11–23
Лето	8–18	16–24	6–24	14–30	7–10
Осень	8–12	14–16	8–10	8–10	0

составлял 0.8–2.4 мг О₂/л). При этом отмечаются отличия в сезонных превышениях норматива. Так, в воде рек Чикой и Уда превышения отмечались в период весеннего половодья, в воде рек Хилок и Джиды – летом. В 8% проб, отобранных летом в воде р. Хилок, значения БПК₅ превышали ПДК_{рв} в 1.3 раза.

Независимо от сезона года, наиболее низкие концентрации легкоокисляемых ОВ отмечались в верховье р. Селенги. При рассмотрении пространственного изменения концентрации ОВ по БПК₅ вниз по руслу реки наиболее отчетливо выделяются разные по величине максимумы: у с. Новоселенгинск после впадения рек Джиды и Чикой, ниже сброса сточных вод ГОС г. Улан-Удэ и ниже с. Тресково (сброса сточных вод ЖКХ в пос. Селенгинск). При этом наибольший максимум отмечался у с. Новоселенгинск. Наибольшие значения БПК₅ (от 2.9 до 3.2 мг О₂/л) наблюдались в пробах воды в период открытого русла реки на створах с. Новоселенгинск, ниже г. Улан-Удэ и ниже с. Тресково. Максимальное значение БПК₅ достигало 4.4 мг/л в весенний период ниже г. Улан-Удэ.

Таким образом, параметр БПК₅ – довольно чувствительный показатель загрязнения воды р. Селенги легкоокисляемыми ОВ хозяйственно-бытовых сточных вод, несмотря на то, что в реке происходит достаточно большое разбавление сточных вод речными.

Для понимания полученных данных по БПК надо учитывать не только абсолютные величины, но и величины соотношений между БПК₅ и другими показателями содержания ОВ. Одним из них является отношение БПК₅ к перманганатной окисляемости (БПК₅ / ПО), называемое биохимическим показателем загрязнения [7, 9, 17, 18, 25]. Для хозяйственно-бытовых сточных вод величина ПО в несколько раз ниже, чем потребление О₂ бактериями. В речных водах, особенно богатых гуминовыми веществами, соотношение обратное. Это обстоятельство объясняется тем, что гуминовые соединения легко окисляются перманганатом, но плохо поддаются биохимическому окислению.

Отношения БПК₅/ПО < 0.2 характерны для чистых рек, содержащих относительно стойкое (стабилизированное) ОВ гумусовой природы

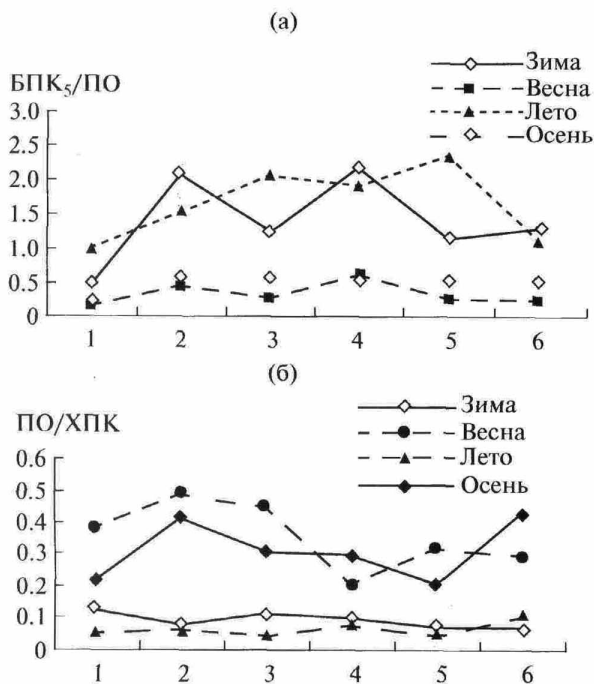


Рис. 3. Внутригодовое и пространственное изменение соотношений БПК₅/ПО (а) и ПО/ХПК (б) в воде р. Селенги. 1 – пос. Наушки, 2 – с. Новоселенгинск, 3 – выше г. Улан-Удэ, 4 – ниже г. Улан-Удэ, 5 – ниже с. Тресково, 6 – пос. Кабанск.

[17, 18]. На загрязненных участках реки обычно соотношение БПК₅/ПО > 1 (и может достигать 4).

Полученные для р. Селенги высокие значения ПО в период весеннего половодья при небольших величинах БПК₅ объясняются поступлением с водосбора большого количества окрашенных гумусовых веществ. Соответственно, наблюдались низкие значения БПК₅/ПО в воде Селенги, например в створе пос. Наушки – в среднем 0.19, у пос. Кабанск – 0.24; ниже г. Улан-Удэ биохимический показатель загрязнения возрастал под влиянием хозяйственно-бытовых сточных вод более чем в 2 раза (до 0.62). Таким образом, по данному показателю воды Селенги в целом оцениваются как умеренно загрязненные, хотя прослеживается локальное загрязнение реки стоками населенных пунктов.

В летний период картина загрязнения селенгинских вод по БПК₅/ПО выглядит немного иначе. До Улан-Удэ в результате впадения рек Джиды, Чикой, Хилук доходит заметное количество биохимически активных ОВ, БПК₅/ПО достигает 2.0. Вниз по течению реки биохимический показатель увеличивается ниже с. Тресково до величины 2.4. Высокие значения БПК₅/ПО в воде Селенги в этот период свидетельствуют о том, что влияние биохимически лабильных ОВ существенно. Ана-

логичная картина наблюдалась в зимний период, когда после впадения рек Джиды и Чикой у с. Новоселенгинск и ниже с. Тресково максимальные значения БПК₅/ПО составляли 2.1 и 2.2 соответственно (рис. 3а).

ХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ

В предыдущем разделе рассмотрено окисление ОВ биохимическим путем в воде рек бассейна Селенги. Однако в воде растворены соединения, в частности гумусовые, спирты различного строения и другие вещества, для которых процесс окисления сопровождается разрывом молекулы. Окисление этих веществ приводит к значительному снижению концентрации растворенного в воде О₂ и отражается на обобщенном показателе ХПК.

Согласно полученным данным, приведенным в табл. 4, поверхностные воды на исследуемом участке содержат высокие концентрации ОВ. Это связано как с процессами внутри водоема, так и с поступлениями вод с поверхности водосбора.

В зимний подледный период большая часть ОВ приходится на долю стойких в биохимическом отношении соединений, образующих так называемый водный гумус. Известно, что в хозяйственно-бытовых сточных водах образуется такое количество водного гумуса, которое существенно превышает природное [7, 17, 23, 24]. Для зимних проб воды р. Селенги в верхнем течении характерны значения Цв, близкие к аналитическому нулю, и ПО, равная 1.25–1.45 мг О/л, при этом значения бихроматной окисляемости (БО) изменяются в пределах 7.4–10.4 мг О/л. Вниз по течению у с. Новоселенгинск наибольшие значения показателя ХПК повышаются до 16.3 мг О/л, хотя величины ПО изменяются в тех же пределах. Выше и ниже г. Улан-Удэ максимальные величины ХПК снижаются до 12.8–13.9 мг О/л. Однако в нижнем течении ниже с. Тресково и у пос. Кабанск наибольшие величины показателя ХПК возрастают до 17.7–19.4 мг О/л, хотя нижние уровни значений остаются такими же (табл. 4).

Весной в верхнем течении Селенги воды имели Цв 4–6 град. и ПО 6.8–8.5 мг О/л, а БО по величине ХПК составляла 6.4–16.3 мг О/л. Вниз по течению реки значения показателей возрастают: Цв – до 55 град., ПО – до 12.4 мг О/л, ХПК – до 23.4 мг О/л. В это время ниже г. Улан-Удэ в 28% проб воды значение ХПК возросло до 33.6 мг О/л, хотя Цв варьировала в тех же пределах (14–55 град.).

Для лета характерны наиболее повышенные значения Цв (18–48 град.) в годовом цикле, ПО в

летнюю межень не превышает 1.5–1.8 мг О/л, однако в период паводков она увеличивается до 8.2–10.5 мг О/л. Повышенные значения ХПК (26–30.8 мг О/л) прослеживаются вниз по течению реки, и только в нижнем участке у пос. Кабанск значения ХПК уменьшаются и составляют 14.2–16.1 мг О/л.

Осенью значения Цв на створах пос. Наушки и с. Новоселенгинск снижались до 8–18 град., ниже г. Улан-Удэ вплоть до устьевой зоны Селенги Цв в 45% проб воды достигала 31 град. По длине реки ПО колебалась в интервале 1.46–1.65 мг О/л в период осенней межени. После осенних дождей величина ПО повышалась до 4.1–5.3 мг О/л. Пространственная динамика колебаний значений БО выше с. Тресково составляла по ХПК 5.5–17.3 мг О/л, ниже — отмечались (чаще в конце октября) повышения значений ХПК до 23.2–24.5 мг О/л. Однако в нижней устьевой зоне реки значения ХПК снижались до 11.8–12.8 мг О/л.

Рассматривая пространственную динамику значений ХПК по длине реки от верховья до нижнего течения следует отметить тенденцию снижения содержания стойких в биохимическом отношении ОВ, определяемых по ХПК. При этом ниже г. Улан-Удэ и с. Тресково прослеживается повышение значений ХПК, свидетельствующее о техногенном влиянии г. Улан-Удэ и пос. Селенгинск.

Таким образом, величина ХПК подвержена большему колебанию, чем ПО, по абсолютной величине их значения выше, особенно летом.

Воды главных притоков существенно различаются по содержанию трудноокисляемых ОВ. В зимний период значения ХПК в воде рек Чикой, Хилок, Темник варьировали в близких интервалах — 4.2–11.5 мг О/л, тогда как в воде рек Уда и Джиды диапазон колебаний был значительно больше и составлял 5.2–19.8 мг О/л (табл. 5).

С наступлением весны значительно повышалась Цв воды рек Чикой, Хилок, Уда — до значений 26–59, 48–82 и 13–55 град. соответственно, а рек Джиды и Темник — она не превышала 23–32 град. Такое же увеличение характерно для значений ХПК. В воде рек Чикой, Хилок, Уда наибольшие значения ХПК в 55% проб составляли 24.7–34.0 мг О/л, одновременно в воде рек Джиды и Темник максимальные показатели не превышали 20.3 мг О/л. ПО вод притоков в это время варьировала в пределах 5.8–8.7 мг О/л.

Летом Цв воды в реках Чикой, Хилок, Уда и Темник падает почти в 2 раза до значений 8–24 град., что связано с поступлением дождевых вод и разбавлением ими речных, однако Цв воды р. Джиды, наоборот, повышается до 14–30 град. Значения БО вод всех притоков практически были близки к ХПК и составляли 14.5–18.0 мг О/л.

Осенью Цв вод рек Чикой, Хилок, Уда и Темник незначительно снизилась до значений 8–16 град., значения ПО варьировали в пределах 1.4–1.6 мг О/л,

а БО по величине ХПК выровнилась в пределах зимних значений. Только в 35% осенних проб воды р. Джиды сохранялось заметное количество трудноокисляемых ОВ (значения ХПК — 30.2–32.6 мг О/л).

Содержание ОВ, окисляемого перманганатом калия в селенгинской воде, на всем протяжении российского участка реки изменялось в интервале 1.2–8.6 мг/л, тогда как размах колебаний концентраций ОВ, окисляемого бихроматом калия, более значителен — 4.9–31.8 мг/л, что, вероятно, связано с поступлением в реку хозяйственно-бытовых и промышленных сточных вод. Качественный состав ОВ по длине реки заметно менялся по сезонам. Отношение ПО / ХПК в воде колебалось от 0.04 (лето) до 0.50 (весна и осень). В зимний период величина этого отношения составляла 0.12 на всем протяжении реки (рис. 36). Высокие значения отношения ПО/ХПК весной и осенью свидетельствуют о преобладании в воде ароматических гуминовых и фульвокислот терригенного происхождения. Это обусловлено широким распространением на водосборе бурых оподзоленных почв, богатых водорастворимыми и подвижными формами гумуса [17, 18]. В зимнюю межень эти значения убывают, что указывает на увеличение “светлого” гумуса, возможно, техногенной природы.

Низкие значения ПО/ХПК (0.04) в летний период указывают на значительную трансформацию в воде ОВ природного характера, обусловленную воздействием антропогенной нагрузки. В целом для вод Селенги характерны низкие значения ПО/ХПК (0.04–0.50), которые показывают, что в водах реки в основном содержатся трудноминерализуемые ОВ техногенной природы.

ВЫВОДЫ

Воды р. Селенги, а также главных притоков характеризуются большим содержанием ОВ как природного, так и антропогенного генезиса. Доля антропогенной составляющей ОВ в речных водах возрастает в районе крупных населенных пунктов.

Содержание растворенного O_2 в селенгинской воде было в пределах 6.6–14.4 мг/л, что соответствует насыщению 53–130%. Снижения его содержания ниже ПДК_{рв} (6 мг/л) не наблюдалось. Минимальные концентрации растворенного в воде O_2 обнаружены в зимний период ниже г. Улан-Удэ, где его содержание в отдельные годы составляло 6.6–6.8 мг/л (53–59% насыщения).

Значения pH по длине р. Селенги варьируют от 6.9 до 8.6, наименьшие значения (6.9–7.4) отмечаются в подледный период, наибольшие (8.2–8.6) — в летний и осенний периоды.

Минимальные значения pH воды рек Чикой, Хилок, Джиды и Темник отмечались в периоды

весеннего половодья и летних паводков, тогда как в воде р. Уда они отмечались в зимний период.

Содержание CO_2 на всем протяжении р. Селенги изменялось в больших пределах (0.6–13.6 мг/л). Наибольшие значения наблюдались в конце подледного периода (феврале–марте) на участках с. Новоселенгинск, ниже г. Улан-Удэ, ниже с. Тресково.

Динамика содержания ОВ в воде Селенги в основном определяется гидрологическими условиями, жизнедеятельностью водных организмов, поступлением загрязняющих веществ при впадении главных притоков и сточных вод в местах расположения населенных пунктов.

Значения ПО в воде рек бассейна Селенги в основном составили 1.2–9.2 мг/л, а БО – 4.6–34.0 мг О/л. Значения БПК₅ колебались от 0.5 до 4.3 мг/л. Таким образом, по значениям ПО и БО вода соответствует нормам ПДК для водоемов питьевого и рыбохозяйственного назначения, по БПК₅ – в некоторых случаях превышает норму (3.0 мг/л).

В летний период величина биохимического показателя загрязнения БПК₅/ПО достигала величины 2.2 ниже с. Новоселенгинск и с. Тресково, свидетельствуя о заметном содержании в воде биохимически активных ОВ. Высокие значения ПО/ХПК (0.50) весной и осенью свидетельствуют о преобладании в воде ароматических гуминовых и фульвокислот терригенного происхождения. В зимнюю межень эти значения убывают, что указывает на возрастание доли “светлого” гумуса, возможно, техногенной природы.

Авторы выражают искреннюю признательность сотрудникам гидрохимической лаборатории Геологического института СО РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
2. *Алексин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А.* Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 270 с.
3. *Богданов В.Т.* Химический сток р. Селенги в многоводный и маловодный годы // Тез. VIII совещ. по подземным водам. Иркутск, Улан-Удэ, 1976. С.82.
4. *Бочкарев Н.Ф.* Гидрохимия реки Селенги // Тр. Иркутского гос. ун-та. 1958. Т. XXIV. С. 143–148.
5. *Вотинцев К.К., Глазунов И.В., Толмачева А.П.* Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. М.: Наука, 1965. 494 с.
6. Государственный контроль качества воды. М.: Изд-во стандартов, 2003. 776 с.
7. *Драчев С.М.* Борьба с загрязнением рек, озер и водохранилищ промышленными и бытовыми стоками. М.: Наука, 1964. 274 с.
8. Ежегодник качества поверхностных вод Российской Федерации. Обнинск, 1993–1999.
9. *Мальцева А.В.* Средний многолетний сток органических веществ с территории СССР и его изменения во времени // Гидрохим. матер. 1980. Т. 68. С. 14–21.
10. *Михайлов В.Н.* Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
11. *Молотов В.С., Коломеец О.П.* Мониторинг вод основного притока оз. Байкал – реки Селенги // Селенга – река без границ. Улан-Удэ, 2002. С. 29–31.
12. *Обожин В.Н., Богданов В.Т., Кликунова О.Ф.* Гидрохимия рек и озер Бурятии. Новосибирск: Наука, 1984. 152 с.
13. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: ВНИРО, 1999. 305 с.
14. *Питьева К.Е., Брусиловский С.А., Востриков Л.Ю., Чесалов С.М.* Практикум по гидрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1988. 150 с.
15. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Вып. 3. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 400 с.
16. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 537 с.
17. *Скопинцев Б.А.* Органическое вещество в воде Волги и ее водохранилищах // Биологические продукционные процессы в бассейне Волги. Л.: Наука, 1976. С. 25–39.
18. *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.: ГИМИЗ, 1987. С. 95–117.
19. *Сороковикова Л.М., Поповская Г.И., Томберг И.В., Башенхаева Н.В.* Пространственно-временная изменчивость содержания биогенных и органических веществ и фитопланктона в воде р. Селенги и протоках ее дельты // Вод. ресурсы. 2009. Т. 36. № 4. С. 465–474.
20. *Сороковикова Л.М., Синокович В.Н., Дрюккер В.В. и др.* Экологические особенности реки Селенги в условиях наводнения // География и природные ресурсы. 1995. № 1. С. 64–71.
21. *Сороковикова Л.М., Тулохонов А.К., Синокович В.Н. и др.* Качество вод в дельте реки Селенги // География и природные ресурсы. 2005. № 1. С. 73–80.
22. *Строганов Н.С., Бузинова Н.С.* Практическое руководство по гидрохимии. М.: Изд-во МГУ, 1980. 193 с.
23. *Lobbes J.M., Friznar H.P., Kattner G.* Biogeochemical characteristics of the dissolved and particulate organic matter in Russian rivers entering the Arctic Ocean // Geochim. Cosmochim. Acta. 2000. V. 64. № 17. P. 2973–2983.
24. *Meybeck M.* Carbon, nitrogen and phosphorus transport by World rivers // Am. J. Sci. 1982. V. 282. P. 401–450.
25. *Sladeczek V., Tucek F.* Relation of the saprobic index to BOD₅ // Water Res. 1975. № 9. P. 791–794.