

УДК 556.531.4

З. И. ХАЖЕЕВА, А. М. ПЛЮСНИН

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

ВЛИЯНИЕ ВОДОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СОСТОЯНИЕ ВОДОТОКОВ БАСЕЙНА РЕКИ СЕЛЕНГИ

Дана водохозяйственная оценка бассейна Селенги. Рассмотрено территориально-отраслевое использование воды по отдельным участкам бассейна. Показано влияние сброшенных сточных вод на сток рек.

Ключевые слова: водность, поверхностные и подземные воды, забор и сброс сточных вод, отраслевое использование вод, сток рек.

A water management assessment for the Selenga basin is made. The territorial-sectoral utilization of water for separate areas of the basin is considered. The influence of discharged waste waters on the river runoff is demonstrated.

Keywords: stream discharge, surface water and groundwater, water intake and waste discharge, sectoral water utilization, river runoff.

Стабилизация экономического развития регионов тесно связана с состоянием водного хозяйства, созданием водопроводных и канализационных сетей, оборотных систем водообеспечения и повторного использования сточных вод в некоторых отраслях промышленности, сельского и коммунального хозяйства. В связи с этим цель работы — анализ использования речных и подземных вод бассейна Селенги и экологического состояния реки на территории Бурятии.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Бассейн Селенги является самой населенной территорией Республики Бурятия, где плотность населения неравномерна. Так, в бассейне р. Чикой она составляет 0,8 чел/км², Джиды — 2,6, Хилка — 3,6, Уды — 5,9, Селенги (на российском участке) — 4,3, а на монгольском участке 1,5 чел/км².

Таблица 1

Гидрографическая характеристика и среднегодовые расходы воды рек бассейна Селенги в период 2002–2009 гг., по [1–5]

Реки	Площадь водосбора, км ²	Среднегодовые расходы воды, м ³ /с	Средний уклон русла, ‰
Идер	22 894	65,1	3,16
Дэлгэр-Мурэн	23 000	36,8	4,3
Чулутын-гол	20 000	16,6	1,27
Хануй-гол	14 890	6,5	3,3
Эгийн-гол	42 500	90,3	1,62
Туул	49 453	20,1	1,55
Хараа-гол	14 400	14,1	1,4
Ероо-гол	11 000	49,8	2,70
Орхон	130 425	141	2,15
Селенга (Монголия)	282 300	226,1	2,03
Джида	23 500	99,2	2,7
Чикой	46 200	189	1,65
Темник	4240	30,8	3,6
Хилок	38 500	68,2	0,52
Уда	34 700	50,0	1,2
Селенга, устье	447 060	634,1	0,36

Распределение водных ресурсов в 2002–2009 гг., по [4, 5]

Реки	Речной сток		Население, тыс. чел.	Суммарное водопотребление, млн м ³			Водообеспеченность, тыс. м ³ /год	Сброс сточных вод в водные объекты, млн м ³			Доля сточных вод в речном стоке, %	
	км ³ /год	обеспеченность, %		всего	поверхностных	подземных		всего	без очистки	недостаточно очищенных	зимняя межень	открытое русло
Селенга (Россия)	20,0	90	391,3	86,2	22,5	63,7	0,220	52,2	1,2	51,0	1,4–1,8	0,12–0,61
Джида	3,1	25	61,7	10,7	6,1	4,6	0,173	3,3	1,0	2,3	1,3–2,1	0,03–0,2
Чикой	5,9	90	36,1	4,6	3,4	1,2	0,127	0,4	0,4	–	0,04	0,003
Хилок	2,2	75	137,7	44,4	25,6	18,8	0,322	20,1	19,2	1,2	8,1–14,3	0,3–0,8
Уда	1,6	75	206,0	28,9	11,3	17,6	0,140	1,2	–	1,2	0,2–0,4	0,05
Селенга (Монголия) [4]	7,1	70	1790	495,2	–	–	0,277	334,2	–	–	6,0–9,8	1,1–1,9

По данным ФГБУ «Бурятский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и научных публикаций [1–5] водные ресурсы в период 2002–2009 гг. на российском участке бассейна Селенги в устьевых зонах рек распределялись следующим образом: Селенга — 20,0 км³/год (634,1 м³/с), Джида — 3,1 (99,2), Темник — 0,99 (30,8), Чикой — 5,9 (189,1), Хилок — 2,2 (68,2), Уда — 1,6 км³/год (50,0 м³/с) (табл. 1 и 2). Обеспеченность расходов воды изменялась от 25 до 90 %. Наиболее обеспеченные расходы воды относятся к правобережным притокам рек Джида (25 %) и Темник (50 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По территории бассейна Селенги распределение объемов забора свежей речной воды и сброса сточных вод крайне неравномерно. До 50 % от забранной воды относится к бассейну р. Селенги, где размещены крупные водопотребители — города Улан-Удэ, Селенгинск, Кяхта, т. е. водопотребители, использующие непосредственно подземные и речные воды и осуществляющие водоотведение в Селенгу. Среди прочих рек примерно 25,2 % объемов забора воды приходится на бассейн р. Хилок, где размещены Тугнуйский угольный и Тигнинский разрезы, оросительные системы, 16,5 % — на бассейн Уды, 6,1 — Джиды, 2,6 % — на р. Чикой (от общего забора воды на российской территории).

Забор воды осуществляется из подземных и поверхностных источников. Подземные источники (инфильтрационные водозаборы) используются на жилищно-коммунальные, частично на производственные нужды и сельхозводоснабжение, поверхностные воды — на регулярное орошение и производство. В исследуемый период примерно 74 % объема забора воды в бассейне Селенги приходилось на подземные источники. В бассейне других рек подземные воды в общем балансе водопотребления составили: Уда — 61 %, Хилок и Джида — 42, Чикой — 26 %. В результате по уровню водопотребления население было наиболее обеспечено водой в бассейне Хилка (0,322 тыс. м³/чел), наименее — в бассейнах Чикоя и Уды (0,127–0,140 тыс. м³/чел).

Использование вод на нужды отраслей экономики различно по бассейнам. Жилищно-коммунальное хозяйство является крупным водопотребителем. Потребление в этой отрасли характеризуется следующими показателями: в бассейне Селенги — 61 %, Уды — 43, Джиды — 19, Чикоя — 25, Хилка — 12 %. Доли использования на нужды промышленного производства составили 8–47 %, наибольший показатель относится к бассейну р. Хилок, наименьший — к бассейну р. Чикой, средние значения — 18–21 % — у рек Селенги, Уды и Джиды.

На территории бассейна широко развито орошаемое земледелие, на нужды которого уходит от 16 до 72 % забранной воды. Наибольший показатель (72 %) относится к бассейну р. Чикой. Объемы забранной воды распределяются таким образом: бассейн Селенги — 16 %, Джиды — 54, Хилка — 37, Уды — 33 %. На нужды сельскохозяйственного водоснабжения уходит от одного до 16 % забранной воды, при этом наибольший показатель относится к бассейну Чикоя.

Сброс сточных вод в поверхностные водные объекты связан с объемами забора свежей воды и составляет в среднем 44 % от их среднего объема. Наибольший сброс сточных вод осуществляется в бассейне Селенги, он составляет 67 % от общего сброса сточных вод на российской части реки. Доли сброса сточных вод в бассейны рек на российской территории составили: в р. Хилок — 26 %, в остальные реки — Джида, Чикой, Уда — не превышали 1–4 %. При этом недостаточно очищенные стоки достигали в бассейнах рек: Селенги — 98 %, Уды — 100 %, Джиды — 70 %, Хилка — 6 %. Наибольший сброс сточных вод без очистки производили в бассейн р. Хилок, где он составлял 94 % от общего сброса; в бассейнах остальных рек эта категория вод не превышала 30 %.

Сопоставление объемов сброса сточных вод в поверхностные водные объекты с забором свежей воды показал, что в бассейне Селенги сброс превышает забор в 2,3 раза и, наоборот, забор превышает сброс в бассейнах рек Хилок в 2,2, Джида — в 3,2, Чикой — в 11,5, Уда — в 24,1 раза.

В бассейне Селенги значительный вклад в сброс сточных вод в поверхностные водные объекты вносит г. Улан-Удэ (МУП «Водоканал» — 48,3 млн м³ и МУП «Левобережное» — 1,6 млн м³). Стоки поступают на очистные сооружения, которые принимают 110–120 тыс. м³/сут при проектной мощности 180 тыс. м³/сут. Качество стоков характеризуют следующие показатели: рН (7,1–7,4); БПК₅ (10,4–12,4), взвеси (9,4–10,9), хлориды (38,0–45,9), сульфаты (34,4–45,9), ХПК (32,5–45,9), аммонийная форма азота (2,3–7,9), нитраты (17,3–21,6), нитриты (0,5–0,86), фосфаты (2,3–3,2), мг/л. Сброс сточных вод в объеме 2 млн м³ осуществляет МУП ЖКХ пос. Селенгинск. Прощедшие механическую и биологическую очистку стоки относятся к категории «нормативно-чистых» вод и сбрасываются в реку. Приведенные выше показатели качества сбрасываемых сточных вод позволяют их относить к «недостаточно очищенным», что обусловлено низкой эффективностью работы очистных сооружений.

Изменение качества воды в водотоках происходит за счет процессов поступления (сбросов) загрязняющих веществ со сточными водами, их разбавления и самоочищения в речном потоке.

Закономерность изменения расхода воды Q вдоль течения, которое происходит за счет естественного притока в реку с водосборной площади q_i , сброса сточных вод $\sum q'_j$ и забора воды из реки $\sum q_j$, можно выразить уравнением

$$\frac{dQ}{dx} = q_i + \sum q'_j - \sum q_j. \quad (1)$$

Уравнение, выражающее изменение концентрации (C) загрязняющих веществ, которое обусловлено поступлением с водосборной площади со сточными водами и процессами деструкции компонент загрязняющих веществ (k — константа распада Фелпса–Стритера [6,7]), имеет вид:

$$\frac{d(CQ)}{dx} = C_i q_i + \sum c'_j q'_j - \sum C (q_j + k\omega), \quad (2)$$

где x — расстояние между створами; ω — средняя площадь поперечного сечения потока. Эти уравнения представляют балансовые уравнения сохранения потока воды и конвективного переноса примесей (загрязнений) при пренебрежении диффузионным переносом примесей по сравнению с конвективным [8–10].

После интегрирования первого уравнения по переменной x получим линейный характер изменения расхода воды:

$$Q = Q_0 + x (q_i + \sum q'_j - \sum q_j). \quad (3)$$

С учетом выражения (3) для определения концентрации получим уравнение

$$C = \frac{C_0 - \frac{q_i c_i + \sum c'_j q'_j}{q_i + \sum q'_j + k\omega} \left[1 - \left[1 + \frac{x}{Q_0} (q_i + \sum q_j - \sum q'_j) \right]^p \right]}{\left[1 + \frac{x}{Q_0} (q_i + \sum q_j - \sum q'_j) \right]^p}, \quad (4)$$

где

$$p = \frac{q_i + \sum q'_j + k\omega}{q_i + \sum q'_j - \sum q_j}. \quad (5)$$

Если расход водозабора $x \sum q_j$ невелик за вычетом возвратных сточных вод по сравнению с расходом реки в начальном створе Q_0 , то выражение (4) упрощается:

$$c = \frac{c_0 Q_0 + (c_s q_s + \sum c'_j q'_j) x}{Q_0 + (q_l + \sum q'_j + k \omega) x}, \quad (6)$$

где c_0 и c_e — концентрации загрязняющих веществ в начальном створе (притоке с водосборной площади) и сточных водах; Q_0 — расход воды в начальном створе; q_e, q_i — расходы воды, приходящиеся на единицу длины реки, соответственно притока с водосборной площади и сбрасываемых сточных вод.

Результаты расчета концентрации загрязняющих веществ в воде р. Селенги ниже сброса сточных вод МУП «Водоканал» в г. Улан-Удэ в зимний период при расходах Q сточных и речных вод 1,4 и 105,0 м³/с соответственно и поперечном сечении ω , равном 389–468 м² и константе распада $k = 0,35–0,69$ по формуле (6), приведены в табл. 3. Как видно из таблицы, после сброса очищенных городских вод (г. Улан-Удэ) значения БПК₅ незначительно повышаются до 2,4 мг/л. Далее по течению содержание органических соединений по БПК₅ снижается ниже нормативного уровня предельно допустимых концентраций (ПДКр.в) [11]. Аналогичные результаты получены для биогенных веществ. Это позволяет оценить экологическое влияние сброса сточных вод в р. Селенгу как незначительное.

Содержание металлов в сбрасываемых сточных водах превышает предельно допустимые концентрации для рыбохозяйственных водоемов (ПДКр.в): Fe (0,15–0,18 мг/л) — в 1,5–1,8 раза, Cu (0,002–0,003 мг/л) — в 2–3 раза, Zn (0,018–0,026 мг/л) — в 1,6–2,8 раза, Mn (0,021–0,028 мг/л) — в 2,1–2,8 раза. Содержание сульфатов (34,4–47,8 мг/л) и хлоридов (35,3–45,9 мг/л) меньше нормативов ПДКр.в соответственно в 1,6–2,9 и 6,7–8,6 раза. Однако они превышают фоновые значения в Селенге по сульфатам и хлоридам в 2,0–2,3 и 13,8–14,6 раза соответственно. Сопоставление расходов сточных (1,4 м³/с) и речных (92–105 м³/с) вод в период зимней межени показывает, что в результате смешения и последующих разбавляющих процессов концентрации сульфатов и хлоридов в речной воде будут снижаться до уровня фоновых значений. Таким образом, сброс загрязненных сточных вод в основном проявляется на локальных участках.

Значительное расхождение между объемами забора поверхностных вод и их сбросами (см. табл. 1) в бассейнах рек Хилок и Уда связано с деятельностью разрезов ОАО «Тугнуйский» и «Тигнинский» в виде шахтно-рудничных загрязненных вод, сбросов недостаточно очищенных сточных вод жилищно-коммунального хозяйства г. Петровска-Забайкальского и карьера Татарский ключ, а также в связи с отсутствием канализации в населенных пунктах и безвозвратным водопотреблением из поверхностных источников на регулярное орошение.

Уменьшение или увеличение речного стока под влиянием заборов свежей воды и сбросов сточных вод определяет величину безвозвратного водопотребления в конкретном речном бассейне. В целом по бассейну р. Селенги безвозвратное водопотребление составило 21,1 млн м³/год, что равняется почти 45 % от забора свежей воды из поверхностных водных объектов.

Доля безвозвратного водопотребления (уменьшение речного стока) в общих ресурсах водного стока в бассейнах рек Уда, Хилок, Джиды и Чикой составили 0,6 %, 0,2 %, 0,1 %, 0,1 % соответственно. Приведенные цифры указывают, что водопотребление практически не влияет на сток и не может нанести каких-либо существенных экологических последствий.

В бассейне р. Селенги увеличение речного стока в результате поступления сточных вод оценивается в 0,1 % от общих ресурсов. Ввиду небольшого вклада объемов поступления сточных загрязненных вод в общие ресурсы речной сети нарушение экологического состояния следует ожидать только на локальных участках после сброса сточных вод. В русле Селенги таким участком является часть реки ниже г. Улан-Удэ.

Однако необходимо учесть, что сброс сточных вод происходит ежедневно в течение года, а для водного стока рек характерна сезонная динамика.

Таблица 3

Нормируемые показатели качества воды Селенги ниже сброса сточных вод г. Улан-Удэ

Показатели	Концентрации, мг/л			ПДК _{р.в}
	сточные воды	вода ниже места сброса сточных вод		
		в 500 м	в 1000 м	
БПК ₅	10,8	3,2	1,6	2,0
N-NH ₄ ⁺	3,4	0,32	0,19	0,39
N-NO ₃ ⁻	17,8	1,56	0,67	9,1
P-PO ₄ ³⁻	2,6	0,31	0,07	0,20

Во внутригодовом режиме наибольший вклад сточных вод в речной сток в бассейнах Хилка и Селенги на границе с Монголией (8,1–14,3 %), тогда как доля сточных вод в среднем и нижнем течении Селенги и в бассейнах рек Джиды, Чикой, Уда не превышает 0,01–2,1 % в зимнюю межень.

В период открытого русла рек доли сточных вод в речном стоке становятся менее контрастными по бассейнам рек и изменяются в пределах 0,03–0,8 %, кроме участка р. Селенги на границе с Монголией. Таким образом, доля сброшенных сточных вод в речном стоке Селенги ниже г. Улан-Удэ в период открытого русла невелика — 0,1–0,6 %, в зимнюю межень она возрастает до 1,4–1,6 %. Однако в зимнюю межень в бассейне р. Хилок и на приграничном с Монголией участке Селенги их величины достигают 12,8–14,3 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В современных условиях экологические проблемы являются фактором, сдерживающим развитие Байкальского региона. Интенсификация экономического развития в бассейне Селенги невозможна без внедрения экологически чистых технологий производства продукции и энергии, применения высокоэффективных методов очистки сточных вод и свертывания ряда вредных производств, использующих в больших объемах водные ресурсы. При создании планов экономического развития территории необходимо отдавать приоритет экологически чистым направлениям хозяйственной деятельности, ориентироваться на мировой опыт безотходного производства, накопленный в развитых странах.

Учитывая трансграничный характер бассейна Селенги, для стабилизации водохозяйственной и экологической обстановки в регионе необходимо создание единой международной научной методической основы наблюдений за водопотреблением, сбросами и выбросами промышленных и сельскохозяйственных предприятий, располагающихся в бассейне реки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Государственный доклад** «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2003 г.». — Иркутск: Изд-во «Оперативная типография На Чехова», 2004. — 350 с.
2. **Государственный доклад** «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2005 г.». — Иркутск: Изд-во ФГУНПП «Иркутскгеофизика», 2006. — 401 с.
3. **Государственный доклад** «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2007 г.». — Иркутск: Изд-во ФГУНПП «Иркутскгеофизика», 2008. — 443 с.
4. **Integrated Water Management Model on the Selenge River Basin. Status Survey and Investigation (Phase I)**. — Seoul: Korea Environment Institute, 2008. — 423 p.
5. **Комплексная схема охраны и использования водных ресурсов бассейна реки Селенги на территории РФ**. — М.: ЗАО ПО «Совинтервод», 2004. — Т. 2. — 134 с.
6. **Schnoor J. L.** Environmental modeling: fate and transport of pollutants in water, air and soil // Environmental science and technology: Wiley-Interscience series of texts and monographs, 1996. — P. 139–180.
7. **Готовцев А. В.** Модификация системы Стритера-Фелпса с целью учета обратной связи между концентрацией растворенного кислорода и скоростью окисления органического вещества // Водн. ресурсы. — 2010. — Т. 37, № 2. — С. 250–256.
8. **Марчук Г. И.** Методы вычислительной математики. — М.: Наука, 1977. — 454 с.
9. **Кюнж Ж. А., Холи Ф. М., Вервей А.** Численные методы в задачах речной гидравлики. — М.: Энергоатомиздат, 1985. — 308 с.
10. **Loucks D. P.** Models for water quality management. — Ottawa: Mc Craw-Hill Inc., 1981. — 348 p.
11. **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. — 304 с.

Поступила в редакцию 13 марта 2012 г.