

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ТУНДРЫ И ЛЕСОТУНДРЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ К АНТРОПОГЕННУМУ ВЛИЯНИЮ¹

О.Г. Савичев, Ю.А. Моисеева**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Выполнен анализ эколого-геохимического состояния поверхностных вод в зоне тундры и лесотундры Западной Сибири и их устойчивости к антропогенному влиянию, связанному со сбросом загрязняющих веществ со сточными водами. В качестве объектов исследования выбраны речные, озерные и болотные воды в: 1) междуречье Таза и Енисея; 2) восточной части водосбора Обской губы и водосборе р. Хадуттэ, впадающей в Тазовскую губу; 3) левобережной части устьевого участка р. Оби и междуречье левобережных притоков р. Оби и рек, впадающих в Байдарацкую губу. Исходной информацией послужили материалы гидрохимических исследований, выполненных в Национальном исследовательском Томском политехническом университете в 2008–2015 годах, в т. ч. с участием авторов, и опубликованные данные других исследователей. Показано, что химический состав речных, озерных и болотных вод региона в целом формируется преимущественно в ходе природных процессов и характеризуется повышенными значениями химического потребления кислорода (ХПК = 14–27 мг О/дм³), концентрациями фенолов (0,004–0,010 мг/дм³), NH₄⁺ (0,2–0,6 мг N/дм³), Fe (0,25–1,00 мг/дм³), Mn (0,052–0,140 мг/дм³) и ряда других веществ. Рассчитаны допустимые концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, образующихся при добыче углеводородов. Антропогенное влияние на эколого-геохимическое состояние поверхностных водных объектов в основном ограничено локальными участками и проявляется в определенном увеличении минерализации, концентраций нефтепродуктов, Na⁺, Cl[–]. Статистически значимое региональное увеличение содержаний растворенных неорганических веществ возможно не только при возрастании антропогенной нагрузки, но и при существенном изменении гидрологических и климатических условий.

Ключевые слова: *устойчивость поверхностных вод к загрязнению, химический состав поверхностных вод, качество поверхностных вод, Западная Сибирь.*

¹Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (проект № 14.Z50.31.0012) и Национального исследовательского Томского политехнического университета (проект ВИУ_VAF_144_2014).

Контактное лицо: Моисеева Юлия Александровна, *адрес:* 634050, г. Томск, просп. Ленина, д. 30; *e-mail:* julchiky@mail.ru.

Для цитирования: Савичев О.Г., Моисеева Ю.А. Устойчивость поверхностных вод тундры и лесотундры Западной Сибири к антропогенному влиянию // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 4. С. 36–46. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.36.

В последние десятилетия происходит достаточно активное хозяйственное освоение тундры и лесотундры Западной Сибири, связанное прежде всего с добычей нефти и газа и сопряженное со значительными изменениями состояния окружающей среды [1–6]. При этом меняется и качество поверхностных вод, что определяет актуальность гидрологических, геохимических, геоботанических исследований для оценки геоэкологических условий и тенденций трансформации экосистем различного порядка [1, 2]. Цель данной работы – рассмотреть гидрохимические аспекты этой проблемы, связанные с выявлением современного эколого-геохимического состояния поверхностных (речных, озерных, болотных) вод в зоне тундры и лесотундры и анализом устойчивости поверхностных водных объектов к антропогенному влиянию. Соответствующие исследования в данном регионе проводили Н.П. Солнцева, Г.И. Грива, Д.В. Московченко, В.В. Гордеев, О.С. Покровский и мн. др. [1–14]. Однако некоторые вопросы, касающиеся условий распространения загрязняющих веществ в поверхностных водах, остались недостаточно раскрытыми, что и определило задачи исследования: 1) выявление зональных закономерностей формирования химического состава и качества поверхностных (речных, озерных и болотных) вод; 2) определение допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах, при которых не происходит значимого изменения химического состава и качества поверхностных вод.

Материалы и методы. Объекты исследования – малые и средние реки (с площадью водосбора до 2 000 и 50 000 км²), озера и болота (в данной работе рассматриваются только воды), которые расположены на территории от восточных склонов Полярного Урала (водосбор р. Оби) до левого берега р. Енисей в его нижнем течении и могут быть сгруппированы следующим образом: 1) междуречье Таза и Енисей; 2) восточная часть водосбора устьевой области р. Оби и водосбор р. Хадуттэ, впадающей в устьевую область р. Таза; 3) левобереж-

ная часть устьевого участка р. Оби и реки прилегающих территорий. Выбор обусловлен тем, что малые и средние водные объекты обычно являются первичными приемниками поверхностного стока с производственных площадей и аварийных сбросов нефти и подсланевых вод из системы поддержания пластового давления на нефтегазопромыслах и испытывают наибольшее антропогенное влияние.

В процессе исследования использованы данные, полученные авторами в 2008–2009 годах при исследовании водных экосистем Таз-Енисейского и Обь-Тазовского междуречий [3, 4], а также материалы Г.И. Гривы [5], Д.В. Московченко [6], Н.В. Гусевой с соавторами [7, 8] и других исследователей [1, 9–14]. Расположение исследуемых участков показано на *рис. 1* (см. с. 38), а более подробная информация о них приведена в [3, 7, 8]. Значительная часть лабораторных работ выполнена в Национальном исследовательском Томском политехническом университете и Областном комитете охраны окружающей среды и природопользования г. Томска (ОГБУ «Облкомприрода»). Сведения об использованных методах анализа приведены в [3, 8].

Методика исследования включала в себя следующие этапы:

1. Сбор и обобщение данных о химическом составе речных, озерных и болотных вод, расчет фоновых значений гидрохимических показателей.

2. Моделирование условий распространения загрязняющих веществ в поверхностных водных объектах на основе упрощения и последующего решения уравнений турбулентной диффузии.

3. Определение концентраций поступающих веществ со сточными водами в поверхностные водные объекты, при которых их фоновое содержание статистически значимо не меняется.

На *первом этапе* проводили: 1) отбор данных, полученных одними и теми же или сопоставимыми методами; 2) расчет уровней содержания главных ионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺,



Рис. 1. Схема размещения участков гидрохимического опробования (I – Таз-Енисейское междуречье; II – Обь-Пурское междуречье; III – левобережье р. Оби) и модельных водных объектов (1 – р. Соленая; 2 – озеро в Таз-Енисейском междуречье; 3 – болото в речной долине левобережья р. Оби)

HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) и их суммы Σ_{mi} (отражает основную часть минерализации воды и используется с целью возможного предотвращения рядов за счет включения в расчет суммарного содержания растворенных веществ разного количества веществ), содержания биогенных веществ (NO_3^- , NH_4^+ , NO_2^- , PO_4^{3-}), железа (Fe) и микроэлементов (Cu, Zn, Pb, Ni, Al, Mn), органических веществ (ОВ: нефтепродукты, фенолы) и показателей биохимического и химического потребления кислорода (БПК₅ и ХПК) в водных объектах без явного загрязнения с предварительным исключением экстремальных значений согласно РД 52.24.622–2001²; 3) подбор объектов для мо-

делирования. Расчет фоновых содержаний выполнен по формуле среднего геометрического (обоснование приведено в [4]).

В рамках *второго этапа* была построена математическая модель миграции растворенных солей в поверхностных водах на основе стационарного уравнения диффузии для плоскости при допущении преимущественного распространения веществ вдоль потока за счет адвективной составляющей и диффузии – в перпендикулярном направлении [15]:

$$v \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + f(C), \quad (1)$$

где v – продольная скорость движения вод; C – гидрохимический показатель (концентра-

²РД 52.24.622–2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. Введ. 2002–01–01. М., 2001. 68 с.

ция вещества); x, y – продольная и поперечная пространственные координаты; D – коэффициент гидродисперсии; $f(C)$ – функция источника.

В настоящей статье $f(C) = k_i C$, где k_i – константа скорости химической реакции (для консервативных веществ $k_i = 0 \text{ с}^{-1}$). Методика определения параметров уравнения (1) приведена в [15, 16]. Для решения уравнения (1), с учетом рекомендаций [15, 17], использовали конечно-разностную схему при условии отсутствия переноса через стенки потока и соотношении размеров расчетной ячейки.

Апробацию математических моделей проводили на следующих объектах: 1) р. Соленой (водоток в бассейне р. Большой Хеты – притока р. Енисея), участке впадения безымянного притока (рассматривалось изменение Σ_{mi} в р. Соленой под влиянием притока); 2) модельном озере в Таз-Енисейском междуречье; 3) модельном евтрофном болоте с толщиной торфа 1 м в долине реки (участок левобережья р. Оби в районе г. Салехарда).

На *третьем этапе* использовали подход к определению допустимых концентраций загрязняющих веществ в сточных водах $C_{\text{ws,lim}}$ на основе сравнения двух выборок объемом N в условно фоновом (C_b) и нарушенном (C_x) состояниях по критерию Стьюдента при допущении, что дисперсии σ_b^2 и σ_x^2 известны и равны ($\sigma^2 = \sigma_b^2 = \sigma_x^2$):

$$C_{\text{ws,lim}} \leq C_b + n_m Z_\alpha \sigma \sqrt{\frac{2}{N}}, \quad (2)$$

где n_m – кратность разбавления сточных вод; Z_α – заданное критическое значение (в данной работе 5 %).

Результаты и обсуждение. Рассматриваемая территория, согласно классификации П.С. Кузина, В.И. Бабкина [18], находится в пределах Ямало-Гыданского и Пурского гидрологических районов, для которых характерны весеннее половодье с максимумом в конце мая, летние и осенние паводки, устойчивый продолжительный ледостав и продолжительная зимняя межень. В целом водное питание рек и озер – преимущественно снеговое. Начало

половодья приходится в среднем на середину мая, окончание – на первую половину августа [19, 20]. С учетом этих признаков полученные аналитические данные позволяют охарактеризовать гидрохимические условия меженного периода как наихудшие с точки зрения самоочищения загрязненных водных экосистем.

Анализ имеющейся информации показал, что речные воды в лесотундровой и тундровой областях вне участков явного антропогенного воздействия по классификации О.А. Алекина [21] характеризуются как пресные с малым ($<200 \text{ мг/дм}^3$) и средним ($<500 \text{ мг/дм}^3$) суммарным содержанием растворенных солей (по Σ_{mi}), в зимние месяцы – пресные с повышенными значениями Σ_{mi} ($<1\,000 \text{ мг/дм}^3$). Речные воды в большинстве случаев – гидрокарбонатные кальциевые, но встречаются и гидрокарбонатные натриевые. Озерные воды, по сравнению с речными, содержат меньше растворенных солей, причем доля в них ионов Na^+ и K^+ в целом выше, что объясняется более значительной ролью атмосферного питания водоемов. Болотные воды в среднем пресные с малыми значениями Σ_{mi} , гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные натриевые. Речные воды в меженный период преимущественно нейтральные и слабощелочные, озерные – слабокислые и нейтральные, болотные – слабокислые и кислые (табл. 1, см. с. 40).

Все водные объекты содержат значительное количество фенолов, железа, меди, марганца, цинка, никеля, превышающее рыбохозяйственные нормативы, установленные в Российской Федерации. Нормативы качества, установленные для водных объектов хозяйственно-питьевого назначения, превышены по ХПК и БПК₅, содержанию железа, марганца и никеля. Основной причиной отклонений от нормативных значений является не столько антропогенное загрязнение водных объектов, сколько вынос ОВ и органоминеральных соединений с заболоченных и тундровых участков водосборов, что, безусловно, не исключает возможность загрязнения водотоков, озер или участков болот.

Таблица 1

**СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРЕННЫХ ВЕЩЕСТВ, БПК₅ И ХПК
И ПОГРЕШНОСТИ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ В РЕЧНЫХ ВОДАХ**

Показатель	Река				Озеро				Болото			
	N	A	G	σ	N	A	G	σ	N	A	G	σ
Σ_{mi} , мг/дм ³	72	102,7	59,5	142,8	33	43,9	25,9	68,9	35	113,8	82,0	107,6
Cl ⁻ , мг/дм ³	60	6,8	2,1	10,8	33	8,0	2,6	23,7	–	–	–	–
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	56	0,073	0,010	0,215	33	0,079	0,032	0,134	7	0,090	0,063	0,061
NH ₄ ⁺ , мг N/дм ³	70	0,384	0,098	0,417	48	0,542	0,161	0,506	9	0,398	0,176	0,267
Fe, мг/дм ³	89	1,00	0,51	1,30	50	0,94	0,18	1,80	42	7,29	1,51	16,25
Mn, мкг/дм ³	68	135,6	30,5	323,2	26	35,6	16,9	52,5	42	798,1	67,5	2 110,2
Cu, мкг/дм ³	66	10,9	4,6	13,5	33	19,7	12,5	16,8	9	14,0	6,8	15,2
Zn, мкг/дм ³	66	31,3	12,8	51,3	33	29,5	15,8	49,9	9	12,1	10,3	8,0
Pb, мкг/дм ³	66	2,7	0,7	3,6	33	5,1	0,5	7,0	9	9,0	1,8	8,3
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	39	7,35	1,63	14,02	11	7,14	2,23	10,68	–	–	–	–
ХПК, мг O/дм ³	41	40,70	30,77	30,61	11	28,95	22,61	20,86	–	–	–	–
Фенолы, мг/дм ³	41	0,006	0,005	0,005	11	0,005	0,004	0,003	–	–	–	–
Нефтепродукты, мг/дм ³	53	0,030	0,009	0,058	38	0,031	0,011	0,044	–	–	–	–

Примечания: N – объем выборки; A – среднее арифметическое; G – среднее геометрическое; σ – среднее квадратическое отклонение; Σ_{mi} – сумма главных ионов (Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻); БПК₅ – биохимическое потребление кислорода за 5 сут; ХПК – химическое потребление кислорода по бихроматной окисляемости.

В целях более детального анализа условий формирования химического состава вод рассматриваемого региона проведены расчеты изменения Σ_{mi} в речных и озерных водах Таз-Енисейского междуречья и болотных водах левобережья р. Оби. При изучении речных вод расчет выполнен для р. Соленой (элемент речной сети Солёная – Большая Хета – Енисей) и ее безымянного притока при следующих условиях (определены по результатам обследования): 1) фактическое значение $\Sigma_{mi} = 62 \text{ мг/дм}^3$ в 700 м выше по течению и 300 м ниже по течению от впадения притока без названия; 2) фактическое значение Σ_{mi} в водах притока 42 мг/дм^3 ; 3) расход воды р. Солёной выше по течению от притока $8,2 \text{ м}^3/\text{с}$, расход воды притока $0,018 \text{ м}^3/\text{с}$. В данном случае приток был рассмотрен как аналог стока с производственной площадки (на момент исследований источники загрязнения отсутствовали). Выбор р. Солёной обусловлен наличием данных наблюдений и типичными для Таз-Енисейского междуречья природными условиями (площадь водосбора $2\,200 \text{ км}^2$; среднегодовой расход воды $21 \text{ м}^3/\text{с}$).

Особенности трансформации суммарного содержания растворенных солей в озерных водах изучали на примере модельного водного объекта с параметрами, полученными путем осреднения морфометрических характеристик озер в Таз-Енисейском междуречье: средняя глубина $0,95 \text{ м}$; максимальная глубина $1,55 \text{ м}$; площадь акватории озера $0,052 \text{ км}^2$; фоновое значение Σ_{mi} в озерных водах $25,9 \text{ мг/дм}^3$ (по данным табл. 1); принятое модельное значение Σ_{mi} в сточных водах 438 мг/дм^3 . Изменения Σ_{mi} в болотных водах также исследовали на примере модельного болота, но уже в левобережье р. Оби. Фоновое значение Σ_{mi} принято по табл. 1 в размере 82 мг/дм^3 , что близко к среднему значению Σ_{mi} в болотных водах междуречья Юньяхи и Ензорьяхи (85 мг/дм^3), значение Σ_{mi} в сточных водах принято для техногенно-измененных ландшафтов в размере 438 мг/дм^3 [7], толщина торфяной залежи и ее верхнего деятельного горизонта $1,0$ и $0,52 \text{ м}$ соответственно

[22, 23]. Расчетный расход сточных вод принят в размере $0,5 \text{ м}^3/\text{с}$ исходя из того, что поступление сточных вод может быть связано с аварийным разрушением шламового амбара площадью 100 м^2 с обваловкой высотой $0,5 \text{ м}$.

Анализ полученных результатов показал следующее. При условии, что $k_t = 0 \text{ с}^{-1}$, а в месте впадения притока $\Sigma_{mi} = 72 \text{ мг/дм}^3$, значение Σ_{mi} в водах р. Солёной уменьшается до 62 мг/дм^3 в 317 м от устья притока. При $k_t = 4,065 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ снижение Σ_{mi} с 72 до 62 мг/дм^3 происходит уже в 204 м от устья притока. Резкое снижение Σ_{mi} (при $k_t = 0 \text{ с}^{-1}$) приурочено к участку $0\text{--}25 \text{ м}$, основное снижение (кратность разбавления $n_m = 36,6$) – к участку до 100 м (рис. 2). В целом расчетные данные хорошо соответствуют данным измерений (62 мг/дм^3 в 700 м выше и 300 м ниже по течению от устья притока с $\Sigma_{mi} = 72 \text{ мг/дм}^3$). С учетом этого проведен модельный расчет изменения Σ_{mi} вод р. Солёной при условии, что в створе устья притока $\Sigma_{mi} = 438 \text{ мг/дм}^3$. В случае $k_t = 0 \text{ с}^{-1}$ в створе 300 м от устья притока Σ_{mi} снижается до $64,1 \text{ мг/дм}^3$ ($n_m = 181$), в створе 500 м – до 63 мг/дм^3 ($n_m = 376$), что в целом свидетельствует о достаточно высокой потенциальной способности реки к самоочищению (рис. 2).

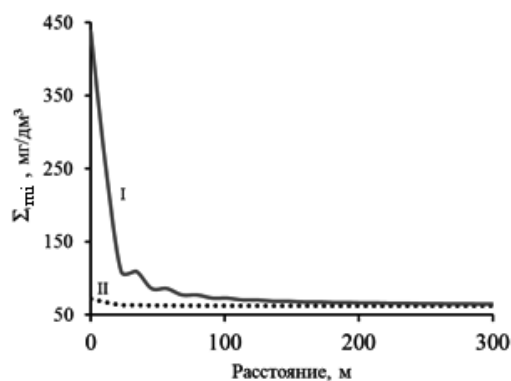


Рис. 2. Изменение фактического (I) и модельного (II) значений суммарного содержания главных ионов в водах р. Солёной под влиянием безымянного притока

В болотных и особенно озерных водах условия разбавления заметно хуже, чем в рассмотренной средней реке. При условии сброса сточных вод с $\Sigma_{\text{mi}} = 438 \text{ мг/дм}^3$ на расстоянии 500 м от выпуска кратность разбавления в модельном болоте составляет 13,8, а в модельном озере – 6,7 (рис. 3). Учитывая, что при примерно круглой форме диаметр модельного озера составляет около 260 м, а расчетное значение $\Sigma_{\text{mi}} = 103 \text{ мг/дм}^3$, что почти в 4 раза больше фонового значения, можно сделать вывод о наихудших условиях самоочищения в тундре и лесотундре именно в случае малых озер.

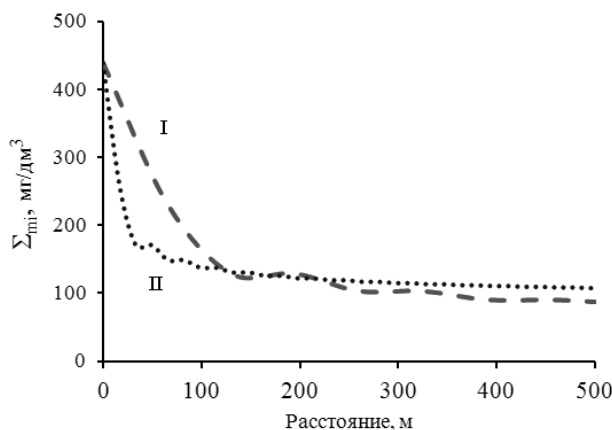


Рис. 3. Изменение суммарного содержания главных ионов в озерных (I) и болотных (II) водах по мере удаления от модельного источника загрязнения

Таким образом, кратность разбавления сточных вод на расстоянии 500 м от источника загрязнения изменяется от 376 для средней реки до 6,7 для малого озера; на расстоянии 50 м – от 1,8 для озера до 16 для реки. С учетом этих данных и того, что контрольный створ на водных объектах – приемниках стоков на территории Российской Федерации принимают в размере от 50 до 500 м, в качестве минимального расчетного значения принято $n_m = 1,8$ (как отражающее наихудшие условия самоочищения).

Результаты расчета допустимого содержания загрязняющих веществ в сточных водах по формуле (2) при уровне значимости 5 % приведены в табл. 2. Их анализ позволяет сделать вывод о том, что наибольшее превышение над фоном без ущерба водным объектам возможно в случае сброса сточных вод, содержащих соединения азота, фосфора, калия и ряда микроэлементов. При этом необходимо отметить, что поступление загрязняющих веществ выше указанных пределов может привести к изменению трофности водной экосистемы и последующему дискретному изменению самоочищающей способности соответствующих водных объектов.

Закключение. Химический состав поверхностных и подповерхностных вод в зоне лесотундры и тундры в Западной Сибири, несмотря на развитие нефтегазодобывающего комплекса, в целом формируется преимущественно в ходе природных процессов и характеризуется повышенными значениями ХПК (в среднем 14–27 мг О/дм³), концентрациями фенолов (0,004–0,010 мг/дм³), NH_4^+ (0,2–0,6 мг N/дм³), Fe (0,25–1,00 мг/дм³), Mn (0,052–0,140 мг/дм³), Cu (0,010–0,014 мг/дм³). Нарушение установленных в Российской Федерации нормативов качества воды по указанным веществам – вполне типичное явление для холодных и влажных условий болотно-таежной области в целом и лесотундровой провинции в частности [9, 24]. Следует отметить и некоторое отличие района исследования от таежных провинций названной области, заключающееся в более высоких концентрациях в поверхностных водах тяжелых металлов, особенно никеля.

Антропогенное влияние на эколого-геохимическое состояние поверхностных водных объектов пока ограничено локальными участками и проявляется в определенном увеличении минерализации, концентраций нефтепродуктов, Na^+ , Cl^- в отдельных малых водотоках и озерах или их локальных группах. Статистически значимое региональное увеличение содержаний растворенных неорганических

Таблица 2

**ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В СТОЧНЫХ ВОДАХ
И ИХ ОТНОШЕНИЯ К ФОНОВЫМ (СРЕДНЕГЕОМЕТРИЧЕСКИМ) ЗНАЧЕНИЯМ**

Показатель	Река		Озеро		Болото	
	$C_{ws,lim}$	$C_{ws,lim}/C_b$	$C_{ws,lim}$	$C_{ws,lim}/C_b$	$C_{ws,lim}$	$C_{ws,lim}/C_b$
Σ_{mi} , мг/дм ³	131,04	2,20	78,10	3,02	160,70	1,96
Cl ⁻ , мг/дм ³	8,03	3,82	20,59	7,92	—	—
NO ₂ ⁻ , мг/дм ³	0,13	13,22	0,13	4,18	0,18	2,79
NH ₄ ⁺ , мг N/дм ³	0,31	3,16	0,47	2,94	0,60	3,42
Fe, мг/дм ³	1,09	2,15	1,27	7,19	12,23	8,12
Mn, мкг/дм ³	197,12	6,46	61,74	3,65	1 459,99	21,63
Cu, мкг/дм ³	11,68	2,54	25,19	2,02	30,98	4,57
Zn, мкг/дм ³	39,65	3,10	53,59	3,40	23,12	2,24
Pb, мкг/дм ³	2,58	3,64	5,81	12,36	15,07	8,51
БПК ₅ , мг O ₂ /дм ³	11,23	6,89	17,24	7,73	—	—
ХПК, мг O/дм ³	51,21	1,66	51,91	2,30	—	—
Фенолы, мг/дм ³	0,01	1,69	0,01	2,14	—	—
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,04	4,91	0,04	3,82	—	—

веществ регулируется процессами растворения–осаждения. Его вероятность при неизменных гидрологических и климатических условиях незначительна, но при изменении

последних (в сторону потепления) следует ожидать существенное увеличение миграционных потоков и, как следствие, ухудшение качества вод.

Список литературы

1. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М., 1998. 376 с.
2. Bring A., Destouni G. Hydrological and Hydrochemical Observation Status in the Pan-Arctic Drainage Basin // Polar Research. 2009. Vol. 28. P. 327–338.
3. Savichev O.G., Kolesnichenko L.G., Saifulina E.V. The Ecologo-Geochemical State of Water Bodies in the Taz-Yenisei Interfluvium // Geography and Natural Resources. 2011. Vol. 32, № 4. P. 333–336.
4. Савичев О.Г. Региональные особенности химического состава речных вод Сибири и их учет при нормировании сбросов сточных вод // Вода: химия и экология. 2014. № 1. С. 41–46.
5. Грива Г.И. Геоэкологические условия разработки газовых месторождений Ямала. Томск, 2005. 352 с.

6. Московченко Д.В. Геохимия ландшафтов севера Западно-Сибирской равнины: структурно-функциональная организация вещества геосистем и проблемы экодиагностики: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. СПб., 2010. 33 с.
7. Гусева Н.В., Копылова Ю.Г. Химический состав природных вод междуречья рр. Юньяхи и Ензорьяхи (восточный склон Полярного Урала) // Вестн. Том. гос. ун-та. 2009. № 327. С. 224–228.
8. Guseva N.V., Kopylova Yu.G., Khvashchevskaya A.A. Geochemical Types of Natural Waters in the Interfluvium of the Enzor'yakhi and the Yun'yakhi (Eastern Slope of the Polar Urals) // Water Resources. 2013. Vol. 40, № 4. P. 417–425.
9. Нечаева Е.Г. Ландшафтно-геохимическое районирование Западно-Сибирской равнины // География и природные ресурсы. 1990. № 4. С. 77–83.
10. Shvartsev S.L. Geochemistry of Fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth // Geochemistry International. 2008. Vol. 46, № 13. P. 1285–1398.
11. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Kirpotin S.N., Audry S., Viers J., Dupré B. Effect of Permafrost Thawing on Organic Carbon and Trace Element Colloidal Speciation in the Thermokarst Lakes of Western Siberia // Biogeosciences. 2011. Vol. 8. P. 565–583.
12. Holmes R.M., McClelland J.W., Peterson B.J., Tank S.E., Bulgina E., Eglinton T.I., Gordeev V.V., Gurtovaya T.Y., Raymond P.A., Repeta D.J., Staples R., Striegl R.G., Zhulidov A.V., Zimov S.A. Seasonal and Annual Fluxes of Nutrients and Organic Matter from Large Rivers to the Arctic Ocean and Surrounding Seas // Estuaries and Coasts. 2012. Vol. 35, № 2. P. 369–382.
13. Manasyrov R.M., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N., Shirokova L.S. Thermokarst Lake Waters Across the Permafrost Zones of Western Siberia // The Cryosphere. 2014. Vol. 8. P. 1177–1193.
14. Ястребов А.А. Оценка геоэкологических условий нефтегазодобычи Надым-Пурской и Пур-Тазовской нефтегазоносных провинций: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2014. 25 с.
15. Методические основы оценки антропогенного влияния на качество поверхностных вод / под ред. А.В. Караушева. Л., 1981. 174 с.
16. Savichev O.G., Matveenko I.A. Evaluation of Chemical Composition Changes Of Surface Water in Boguchan Reservoir (Siberia, Russia) // Hydrological Sciences Journal. 2013. Vol. 58, № 3. P. 706–715.
17. Benedini M., Tsakiris G. Water Quality Modelling for Rivers and Streams. Dordrecht, 2013. 288 p.
18. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. Л., 1979. 200 с.
19. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 15. Алтай и Западная Сибирь. Вып. 3. Нижний Иртыш и Нижняя Обь / под ред. В.Е. Водогрецкого. Л., 1973. 423 с.
20. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Ангара-Енисейский район. Вып. 1. Енисей / под ред. А.П. Муранова. Л., 1973. 723 с.
21. Алексин О.А. Основы гидрохимии. Л., 1953. 295 с.
22. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слукан З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / под ред. В.Б. Куваева. Тула, 2001. 584 с.
23. Иванов К.Е. Водобмен в болотных ландшафтах. Л., 1975. 285 с.
24. Savichev O.G. Influence of the Interactions Within the Water – Rock Materials System on the Formation of River Water Composition in the Ob Basin // Geography and Natural Resources. 2009. Vol. 30. P. 161–166.

References

1. Solntseva N.P. *Dobycha nefiti i geokhimiya prirodnikh landshaftov* [Production of Oil and Geochemistry of Natural Landscapes]. Moscow, 1998. 376 p.
2. Bring A., Destouni G. Hydrological and Hydrochemical Observation Status in the Pan-Arctic Drainage Basin. *Polar Research*, 2009, vol. 28, pp. 327–338.
3. Savichev O.G., Kolesnichenko L.G., Saifulina E.V. The Ecologo-Geochemical State of Water Bodies in the Taz-Yenisei Interfluvium. *Geography and Natural Resources*, 2011, vol. 32, no. 4, pp. 333–336.
4. Savichev O.G. Regional'nye osobennosti khimicheskogo sostava rechnykh vod Sibiri i ikh uchet pri normirovanii sbrosov stochnykh vod [Regional Peculiarities of Chemical Composition of Siberian Sewage and Taking Such Peculiarities into Account in the Standardization of Sewage Disposal]. *Voda: khimiya i ekologiya* [Water: Chemistry and Ecology], 2014, no. 1, pp. 41–46.

5. Griva G.I. *Geoekologicheskie usloviya razrabotki gazovykh mestorozhdeniy Yamala* [Geoecological Conditions of Development of Gas Fields in Yamal]. Tomsk, 2005. 352 p.
6. Moskovchenko D.V. *Geokhimiya landshaftov severa Zapadno-Sibirskoy ravniny: strukturno-funktsional'naya organizatsiya veshchestva geosistem i problemy ekodiagnostiki*: avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk [Geochemistry of Landscapes of the North of the West Siberian Plain: the Structural and Functional Organization of Geosystems Substance and the Eco-Diagnostics Problems: Dr. Geogr. Sci. Diss. Abs.]. Saint Petersburg, 2010. 33 p.
7. Guseva N.V., Kopylova Yu.G. Khimicheskiy sostav prirodnykh vod mezhdurech'ya rr. Yun'yakhi i Enzor'yakhi (vostochnyy sklon Polyarnogo Urala) [Geochemical Composition of Natural Waters in the Interfluvium of the Yun'yakhi and the Enzor'yakhi (Eastern Slope of the Polar Urals)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Journal], 2009, no. 327, pp. 224–228.
8. Guseva N.V., Kopylova Yu.G., Khvashchinskaya A.A. Geochemical Types of Natural Waters in the Interfluvium of the Enzor'yakhi and the Yun'yakhi (Eastern Slope of the Polar Urals). *Water Resources*, 2013, vol. 40, no. 4, pp. 417–425.
9. Nechaeva E.G. Landshaftno-geokhimicheskoe rayonirovanie Zapadno-Sibirskoy ravniny [Landscape and Geochemical Zoning of the West Siberian Plain]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 1990, no. 4, pp. 77–83.
10. Shvartsev S.L. Geochemistry of Fresh Groundwater in the Main Landscape Zones of the Earth. *Geochemistry International*, 2008, vol. 46, no. 13, pp. 1285–1398.
11. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Kirpotin S.N., Audry S., Viers J., Dupré B. Effect of Permafrost Thawing on Organic Carbon and Trace Element Colloidal Speciation in the Thermokarst Lakes of Western Siberia. *Biogeosciences*, 2011, vol. 8, pp. 565–583.
12. Holmes R.M., McClelland J.W., Peterson B.J., Tank S.E., Bulygina E., Eglinton T.I., Gordeev V.V., Gurtovaya T.Y., Raymond P.A., Repeta D.J., Staples R., Striegl R.G., Zhulidov A.V., Zimov S.A. Seasonal and Annual Fluxes of Nutrients and Organic Matter from Large Rivers to the Arctic Ocean and Surrounding Seas. *Estuaries and Coasts*, 2012, vol. 35, no. 2, pp. 369–382.
13. Manasypov R.M., Pokrovsky O.S., Kirpotin S.N., Shirokova L.S. Thermokarst Lake Waters Across the Permafrost Zones of Western Siberia. *The Cryosphere*, 2014, vol. 8, pp. 1177–1193.
14. Yastrebov A.A. *Otsenka geokologicheskikh usloviy neftegazodobychi Nadym-Purskoy i Pur-Tazovskoy neftegazonosnykh provintsiy*: avtoref. dis. ... kand. geol.-mineral. nauk [Assessment of Geo-Ecological Conditions of Oil and Gas Production in the Nadym-Pursk and Pur-Taz Oil and Gas Provinces: Cand. Geol.-Mineral Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 2014. 25 p.
15. *Metodicheskie osnovy otsenki antropogennogo vliyaniya na kachestvo poverkhnostnykh vod* [Methodical Bases of an Estimation of Anthropogenic Impact on the Surface Waters Quality]. Ed. by A.V. Karaushev. Leningrad, 1981. 174 p.
16. Savichev O.G., Matveenko I.A. Evaluation of Chemical Composition Changes of Surface Water in Boguchan Reservoir (Siberia, Russia). *Hydrological Sciences Journal*, 2013, vol. 58, no. 3, pp. 706–715.
17. Benedini M., Tsakiris G. *Water Quality Modelling for Rivers and Streams*. Dordrecht, 2013. 288 p.
18. Kuzin P.S., Babkin V.I. *Geograficheskie zakonomernosti gidrologicheskogo rezhima rek* [Geographic Patterns of the Hydrological Regime of Rivers]. Leningrad, 1979. 200 p.
19. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 15. Altay i Zapadnaya Sibir'. Vyp. 3. Nizhniy Irtysh i Nizhnaya Ob'* [Surface Water Resources of the USSR. Vol. 15. Altai and Western Siberia. Iss. 3. Lower Irtysh and Lower Ob']. Ed. by V.E. Vodogretskiy. Leningrad, 1973. 423 p.
20. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 16. Angaro-Eniseyskiy rayon. Vyp. 1. Enisey* [Surface Water Resources of the USSR. Vol. 16. Angara-Yenisei Region. Iss. 1. Yenisei]. Ed. by A.P. Muranov. Leningrad, 1973. 723 p.
21. Alekin O.A. *Osnovy gidrokhimii* [Basics of Hydrochemistry]. Leningrad, 1953. 295 p.
22. Liss O.L., Abramova L.I., Avetov N.A., Berezina N.A., Inisheva L.I., Kurnishkova T.V., Sluka Z.A., Tolpysheva T.Yu., Shvedchikova N.K. *Bolotnye sistemy Zapadnoy Sibiri i ikh prirodookhrannoe znachenie* [Bog Systems of Western Siberia and Their Environmental Significance]. Ed. by V.B. Kuvaev. Tula, 2001. 584 p.
23. Ivanov K.E. *Vodoobmen v bolotnykh landshaftakh* [Water Exchange in the Marsh Landscapes]. Leningrad, 1975. 285 p.
24. Savichev O.G. Influence of the Interactions within the Water – Earth Materials System on the Formation of River Water Composition in the Ob Basin. *Geography and Natural Resources*, 2009, vol. 30(2), pp. 161–166.

SURFACE WATER STABILITY TO THE ANTHROPOGENIC EFFECT IN TUNDRA AND FOREST TUNDRA IN WESTERN SIBERIA

The analysis of ecological and geochemical state of surface water in tundra and forest tundra in Western Siberia and their stability to the anthropogenic effect associated with the pollutants in sewage disposal is carried out. The river, lake and swamp waters are selected as the objects of the study: 1) the interfluvium of the Taz and Yenisei rivers; 2) the eastern parts of the Gulf of Ob and Hadutte River catchment areas, which flow into the Taz Bay; 3) the left bank of the Ob River wellhead area and the interfluvium of the left bank tributaries of the Ob River and the rivers flowing into the Baydaratskaya Bay. The materials of hydrochemical investigations carried out in the Tomsk Polytechnic University in 2008–2015, with the participation of the authors of the paper, and the published data of other researchers are considered as the initial information. The chemical composition of the river, lake and marsh waters of the region is formed mainly during the natural processes and is characterized by the high values of COD (chemical oxygen demand) (14...27 mg O/dm³), concentrations of phenols (0.004...0.010 mg/dm³), NH₄⁺ (0.2...0.6 mg N/dm³), Fe (0.25...1.0 mg/dm³), Mn (0.052...0.140 mg/dm³) and a number of other substances. The allowable concentrations of pollutants in wastewaters formed in the hydrocarbon production are calculated. The anthropogenic impact on the ecological and geochemical state of surface water bodies is mainly limited by local areas and is demonstrated in a certain increase of mineral content, concentrations of oil products, Na⁺, Cl⁻. A statistically significant increase in the local content of dissolved inorganic substances is possible not only with the increasing of the anthropogenic load, but also with the essential modifications in the hydrological and climatic conditions.

Keywords: *surface water pollution resistance, chemical composition of surface water, surface water quality, Western Siberia.*

Received on July 04, 2016

Поступила 04.07.2016

Corresponding author: Yuliya Moiseeva, address: Lenina pr., 30, Tomsk, 634050, Russian Federation; e-mail: julchiky@mail.ru.

For citation: Savichev O.G., Moiseeva Yu.A. Surface Water Stability to the Anthropogenic Effect in Tundra and Forest Tundra in Western Siberia. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennyye nauki*, 2016, no. 4, pp. 36–46. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.36.