

## ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 556.531(571.16)

### СОСТАВ РЕЧНЫХ ВОД И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ (НА ПРИМЕРЕ р. КИСЛОВКА, г. ТОМСК)

© 2021 г. Е. Ю. Пасечник<sup>1,\*</sup>, О. Г. Савичев<sup>1,\*\*</sup>, В. А. Домаренко<sup>1,\*\*\*</sup>, Н. Г. Наливайко<sup>1,\*\*\*\*</sup>,  
О. Ю. Гончаров<sup>2,\*\*\*\*\*</sup>, Н. А. Бровченко<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>, О. Н. Владимирова<sup>1,\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Инженерная школа природных ресурсов, пр. Ленина, 30, Томск, 634050 Россия

<sup>2</sup> ОАО “Томскводоканал”, ул. Шевченко, 41а, Томск, 634021 Россия

\*E-mail: pseyu@yandex.ru

\*\*E-mail: osavichev@mail.ru

\*\*\*E-mail: viktor\_domarenko@mail.ru

\*\*\*\*E-mail: nng@tpu.ru

\*\*\*\*\*E-mail: goncharov@vodokanal.tomsk.ru

\*\*\*\*\*E-mail: beautiful54@mail.ru

\*\*\*\*\*E-mail: onv-2018@yandex.ru

Поступила в редакцию 01.12.2020 г.

После доработки 11.02.2021 г.

Принята к публикации 21.02.2021 г.

Выполнен комплекс полевых, лабораторных (с использованием методов ICP MS, порошковой рентгеновской дифрактометрии, сканирующей электронной микроскопии и микробиологического анализа) и камеральных работ по изучению распределения вещественного состава донных отложений и вод р. Кисловка у г. Томск (Западная Сибирь, речная система: “Кисловка–Томь–Обь”) в зимнюю межень 2020 г. Установлено, что в речных водах максимумы содержаний соединений N и P приурочены к местам сброса хозяйственно-бытовых стоков, а редкоземельных элементов – к относительно недавно застроенным участкам водосбора, на которых проводилась отсыпка территории привозным грунтом. Влияние выпуска стоков станции обезжелезивания Томского подземного водозабора связано в основном с резким увеличением концентраций Fe и P в донных отложениях и уменьшением разнообразия минерального состава фракции до 1 мм. Оно прослеживается на участке около 1 км ниже выпуска и сильно снижается в пределах 5–6 км ниже по течению.

**Ключевые слова:** химический, микробиологический и минеральный состав, донные отложения, речные воды, река Кисловка, Томск, Западная Сибирь

DOI: 10.31857/S0869780921030061

#### ВВЕДЕНИЕ

Малые реки селитебных территорий часто испытывают значительное антропогенное воздействие, в той или иной степени утрачивая черты природных объектов. На региональном уровне это может сказываться на состоянии больших рек и подземных вод, что делает актуальным исследование проблемы эволюции природно-антропогенных водных объектов и условий трансформации их состояния. Указанная проблема была рассмотрена на примере малой р. Кисловка у г. Томск (Российская Федерация, Сибирский федеральный округ, административный центр Томской области) – элемента речной системы “Кисловка–Томь–Обь” (рис. 1).

Река Кисловка образуется при слиянии рек Еловка и Жуковка, протекает по территории Обь-Томского междуречья, в том числе в пределах долины р. Томи, а затем соединяется с ее протокой (поверхностный сток перекрыт после строительства дороги Томск–Юрга с мостовым переходом через р. Томь) и, собственно, превращается в протоку Бурундук с рядом озеровидных расширений (далее используется только термин – р. Кисловка). Длина объекта (от истоков р. Жуковка) – 80 км, площадь водосбора (с учетом условного водосбора в долине р. Томь) – 458 км<sup>2</sup>. В пределах водосбора расположены населенные поселки и микрорайоны Томска и Томского района (п. Кисловка, п. Тимирязево, с. Петрово и ряд других, включая новый микрорайон “Северный Парк” с много-

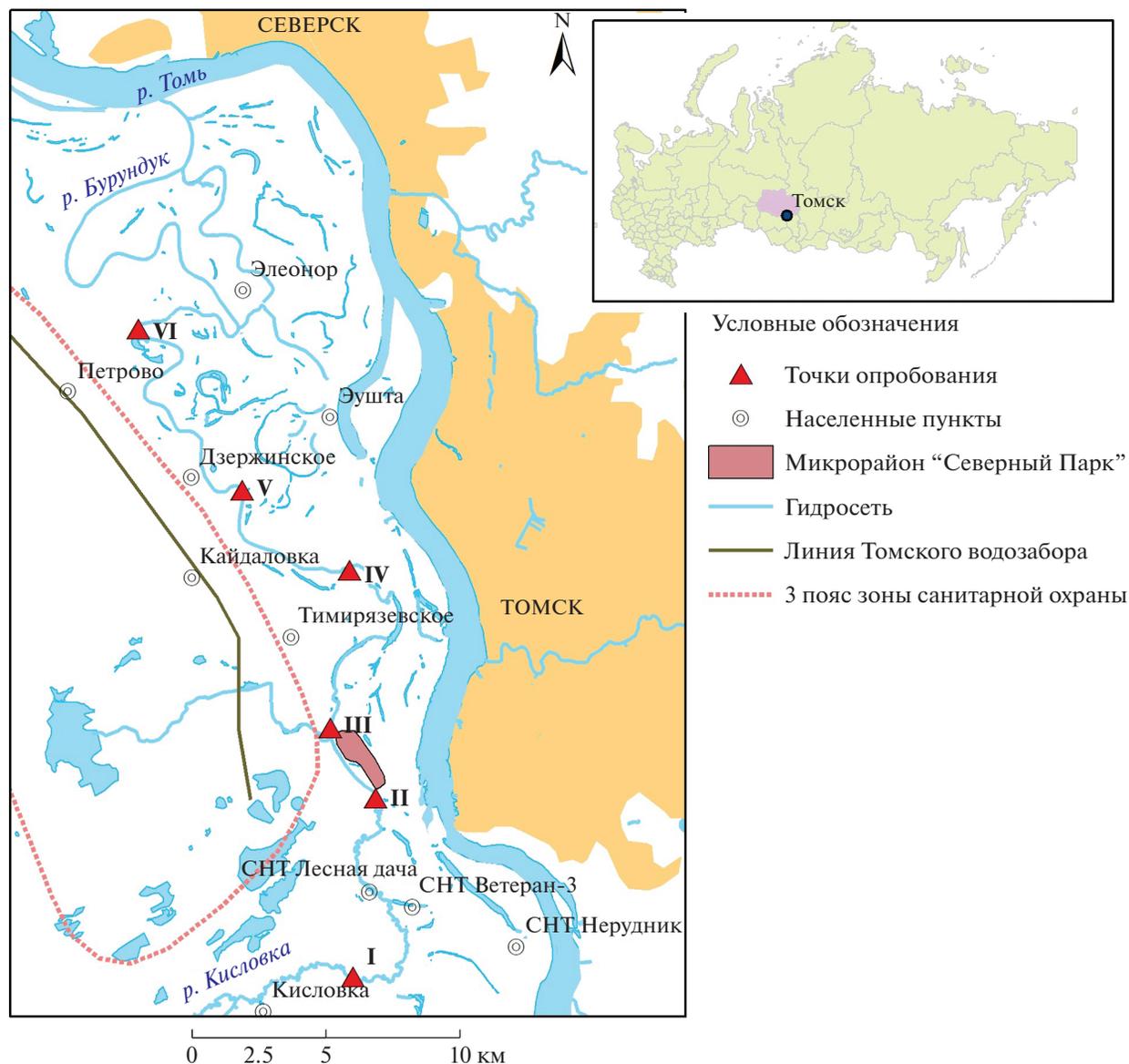


Рис. 1. Схема расположения р. Кисловка и пунктов отбора проб воды и донных отложений в зимнюю межень 2020 г. (характеристика пунктов I–VI приведена в табл. 1).

этажной застройкой) с выпусками в реку очищенных и неочищенных хозяйственно-бытовых стоков. Главная же особенность рассматриваемой территории – наличие одновременно эксплуатационных скважин и выпуска (в р. Кисловка, пункт III) сточных вод станции обезжелезивания Томского подземного водозабора.

Томский подземный водозабор – один из крупнейших подземных водозаборов в Российской Федерации – обеспечивает хозяйственно-питьевое водоснабжение г. Томск – центра Томской области с населением (с учетом пригорода и г. Северск) более 0.5 млн человек. Водозабор функционирует с 1973 г. и эксплуатирует Томское месторождение пресных вод в Обь-Томском меж-

дуречье. Отбор подземных вод проводится из песчано-галечниковых отложений палеогенового возраста с глубин 80–198 м [3, 5, 6].

Подземные воды в исходном состоянии – пресные, гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магниевого, по величине pH – от слабокислых до слабощелочных (табл. 1); их химический состав в целом соответствует нормативам качества питьевых вод, но последние достаточно часто нарушаются по содержанию железа, находящегося в подземных водах (в основном в виде иона  $Fe^{2+}$  и его соединений) в количестве до 12 мг/дм<sup>3</sup> и более [2, 3, 5, 11–13, 17].

На станции водоподготовки с фактической среднесуточной подачей воды 136 м<sup>3</sup>/сут (при проектной производительности 205.5 тыс. м<sup>3</sup>/сут) проводят обезжелезивание подземных вод путем их аэрирования, а затем пропуска самотеком сверху вниз с расчетной скоростью 8–10 м/час через скорые фильтры, загруженные слоем от 1.40 до 1.65 м отсевом дробленых горных пород крупностью 2–5 мм. В результате образуется почти 150 т/год железосодержащего осадка. На протяжении длительного времени промывные воды после фильтров сбрасывались в р. Кисловка.

В настоящее время создана система повторно-го использования промывных вод, которая позволила значительно уменьшить сброс промывных вод и содержащихся в них загрязняющих веществ. Тем не менее, можно предположить, что, по крайней мере, за предыдущий период в русле Кисловки сформировались природно-техногенные отложения с повышенным содержанием железа и ряда других химических элементов, особенно с учетом поступления в реку на участке выше по течению значительного количества хозяйственно-бытовых стоков с разной степенью очистки (от пп. Кисловка, Тимирязево, Дзержинский, садовых обществ, нового микрорайона Томска “Северный Парк”).

Цель исследования – выявление изменений химического и микробиологического состава речных вод, химического, микробиологического и минерального состава донных отложений малой р. Кисловка под влиянием сброса сточных вод станции обезжелезивания Томского подземного водозабора и иных антропогенных факторов.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для достижения указанной выше цели сотрудниками Томского политехнического университета (ТПУ) выполнен комплекс полевых, лабораторных и камеральных работ. Отбор проб воды и донных отложений р. Кисловка (протоки Бурундук) проведен в зимнюю межень 2020 г., в условиях ледостава, когда создаются наихудшие условия разбавления стоков и самоочищения на фоне сокращения водного стока и содержаний растворенного кислорода. Отбор проб выполнен с помощью ледового бура и пробоборников для воды (из слоя 0.3–0.5 м от поверхности воды в лунке) и донных отложений (верхний слой 0.2 м) с учетом требований [1, 15] в шести пунктах (см. рис. 1), расположенных последовательно от п. Кисловка к устью: I – в 29.8 км от Томи; II, III – выше и ниже нового микрорайона “Северный Парк”, расположенного в пойме Томи; IV – ниже по течению от перехода дороги Томск–Тимирязево, на границе поймы и первой надпойменной террасы Томи; V – в 0.86 км ниже по течению от створа

выпуска стоков станции обезжелезивания Томского подземного водозабора; VI – в 7.5 км от устья (даты отбора проб: I, II, III – 24.01.2020 г.; IV, V, VI – 06.02.2020 г.). Пункты I и II расположены непосредственно на р. Кисловка, прочие пункты – в пределах поймы р. Томь, в русле протоки Бурундук. В пунктах I и V дополнительно отобраны пробы донных отложений послойно через 0.1 м на глубину 0.5 м для изучения вертикального распределения микробиологических показателей.

Пробы воды и донных отложений были помещены в специально подготовленные емкости и доставлены в аккредитованные лаборатории ТПУ и ООО “Химико-аналитический центр “Плазма” (г. Томск). В ТПУ проведено определение физико-химических, гидрохимических и микробиологических показателей (Л.А. Ракул, К.Б. Кривцова, А.С. Погуца, Н.В. Бублий, В.В. Куровская под руководством А.А. Хвасцевской) с использованием следующих методов: рН – потенциометрический; удельная электропроводность (УЭП) – кондуктометрический; CO<sub>2</sub>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, перманганатная окисляемость (ПО) – титриметрический; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – турбидиметрический; NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> – фотометрический; Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> – ионная хроматография; Fe, Si и ряд микроэлементов – масс-спектрометрический с индуктивно-связанной плазмой (с использованием масс-спектрометра NexION 300D).

Изучение микрофлоры выполнено в ТПУ (Н.Г. Наливайко). Оно включало выявление различных физиологических групп гетеро- и литотрофных микроорганизмов (включая гетеротрофные железобактерии, аммонифицирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие, сульфатвосстанавливающие и тионовые бактерии) в пробах речной воды и водных вытяжках из донных отложений (в пунктах I и V) с использованием классических методик, принятых в микробиологии [14]. Более подробная информация о методике пробоподготовки и методах химического и микробиологического анализа изложена в [8].

Оценка химического состава донных отложений (фракция с диаметром частиц до 1 мм с извлечением кислоторастворимых форм элементов) выполнена в ООО “Химико-аналитический центр “Плазма” также с использованием масс-спектрометрического метода с индуктивно связанной плазмой (МВИ № 001-ХМС-2007; ФР.1.31.2007.04107; Т.А. Филипас, А.Н. Маковенко под руководством Н.В. Федюниной). Определение минерального состава проведено в ТПУ методами порошковой рентгеновской дифрактометрии (дифрактометр D2 Phaser) и сканирующей электронной микроскопии (микроскоп TESCAN VEGA 3 SBU). Методика анализа веще-

**Таблица 1.** Физико-химические и геохимические показатели состояния р. Кисловка и подземных вод эксплуатируемого горизонта Томского подземного водозабора

Показатель <sup>1</sup>	Пункты наблюдений в зимнюю межень 2020 г. <sup>2</sup> (см. рис. 1)						р. Кисловка (участок от п. Кисловка до устья) <sup>3</sup>	Подземные воды отложений палеогенового возраста <sup>4</sup>	ПДК <sub>хп</sub> <sup>5</sup>	ПДК <sub>рх</sub> <sup>5</sup>
	I	II	III	IV	V	VI				
$L_y$ , км	29.8	23.7	21.8	16.6	13.2	7.5	28.0–0.5	–	–	–
Вода										
$Q_a$ , м <sup>3</sup> /с	0.21	0.31	0.34	0.42	0.47	0.56	–	–	–	–
pH, ед.	7.62	7.53	7.28	7.86	7.66	7.63	7.74	7.30	6.0–9.0	6.5–8.5
ПО, мгО/дм <sup>3</sup>	3.2	2.3	2.7	3.5	3.5	3.6	9.60	2.10	5.0	–
мг/дм <sup>3</sup>										
CO <sub>2</sub>	3.5	3.5	3.5	6.2	4.4	6.2	–	–	–	–
$\Sigma_{mi}$	336.6	342.9	308.2	330.5	361.5	412.2	330.3	457.1	1000	1000
Ca <sup>2+</sup>	60.0	62.0	55.0	57.3	65.0	73.0	58.5	75.8	–	180
Mg <sup>2+</sup>	8.2	8.5	8.8	8.5	8.8	11.8	11.5	14.5	50	40
Na <sup>+</sup>	8.7	9.8	9.7	11.3	12.8	13.0	9.2	15.6	200	120
K <sup>+</sup>	1.0	1.1	1.6	1.0	1.7	1.6			–	50
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	254.0	254.0	224.0	244.0	265.0	299.0	237.0	345.0	–	–
Cl <sup>-</sup>	3.7	4.8	5.5	6.3	6.6	7.5	3.3	6.2	350	300
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1.0	2.7	3.6	2.1	1.6	6.3	10.9	–	500	100
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.68	0.45	0.32	2.62	1.98	4.5	5.569	0.03	45	40
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.066	0.22	0.43	0.01	0.01	0.01	0.081	0.004	3.30	0.08
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.91	1.39	2.3	0.085	0.066	0.066	0.808	0.62	1.9	0.5
P	0.018	0.044	0.208	0.079	0.129	0.081	–	–	1.14	0.065
Si	7.52	7.16	6.78	7.74	7.47	9.50	2.67	2.19	10	–
Fe	0.218	0.329	3.530	0.324	0.576	0.687	1.265	4.40	0.3	0.1
мкг/дм <sup>3</sup>										
Al	1.29	1.31	7.42	2.44	3.16	2.65	–	–	200	40
Mn	86.3	558.9	106.6	780.7	708.7	854.6	110.90	10.7	100	10
Cu	1.26	1.03	0.59	0.59	1.52	0.93	3.80	1.10	1000	1
Zn	2.27	2.11	2.55	3.16	7.46	3.50	10.60	55.00	1000	10
La	0.0024	0.0075	0.0205	0.0056	0.0082	0.0051	–	–	–	–
Ce	0.0040	0.0106	0.0496	0.0105	0.0112	0.0112	–	–	–	–
Sm	0.0003	0.0038	0.0170	0.0014	0.0012	0.0015	–	–	–	–
Кислотная вытяжка из фракции до 1 мм донных отложений в пределах верхнего слоя 0,2, мг/кг										
P	5068	2678	1822	605	42248	3604	–	–	–	–
Fe	73237	57979	51396	35718	326946	60428	–	–	–	–
La	17.32	20.32	25.97	22.63	4.18	20.60	–	–	–	–
Ce	30.72	41.13	51.68	45.73	8.84	42.49	–	–	–	–
Sm	3.03	3.16	4.85	4.56	1.07	3.17	–	–	–	–

Примечание: 1 – показатель:  $L_y$  – расстояние от устья р. Кисловки (протоки Бурундук);  $Q_a$  – расчетный среднеголетний расход воды; ПО – перманганатная окисляемость;  $\Sigma_{mi}$  – сумма главных ионов (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>); 2 – пункты наблюдений в 2020 г.: I – ниже п. Кисловка; II – выше мкр. “Северный Парк”; III – ниже мкр. “Северный Парк”; IV – ниже сброса п. Тимирязево; V – 0.86 км ниже сброса станции водоподготовки; VI – с. Петрово; 3 – среднее арифметическое, полученное по данным [4, 7] и фоновым материалам ТПУ, количество проб от 15 до 48; 4 – среднее арифметическое по данным [2], количество проб 72; 5 – предельно допустимая концентрация в водах назначения: ПДК<sub>хп</sub> – хозяйственно-питьевого; ПДК<sub>рх</sub> – рыбохозяйственного; ПДК для фосфора приведены пересчетом на фосфор, причем в случае рек – для эвтрофных объектов.

ственного состава донных отложений более подробно приведена в [9, 10].

Следует отметить, что визуально заметный подпор от Томи в период половодья ежегодно наблюдается в створе пункта VI. В прочих пунктах подпор возможен, но выражен не так сильно вследствие снеготаяния непосредственно на пойме, локального подпора от мостовых переходов и достаточно сложного перераспределения водных масс при затоплении поймы [4, 7].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Воды р. Кисловка в среднем за период наблюдений с 1995 г. до 2002 г. оцениваются как пресные (по сумме  $\Sigma_{mi}$  главных ионов  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), гидрокарбонатные (в среднем 45%-экв. от  $\Sigma_{mi}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) кальциевые (34%-экв.), по величине pH – нейтральные и слабощелочные; воды эксплуатируемого (основного) палеогенового водоносного комплекса (за период до 2003 г.) – также пресные, гидрокарбонатные (66%-экв.) кальциевые (44%-экв.), по pH – обычно нейтральные (см. табл. 1). Особенностью суммарного содержания растворенных солей в р. Кисловка является достаточно слабая изменчивость величины  $\Sigma_{mi}$ ; коэффициент вариации составляет  $Cv = \sigma/A = 0.24$ , где  $\sigma$  и  $A$  – среднее квадратическое и среднее арифметическое значения.

Непосредственно в период наблюдений в зимнюю межень 2020 г. показатели химического состава речных вод были сопоставимы со средними значениями. При анализе изменений гидрохимических показателей по длине изученного участка р. Кисловка отмечено уменьшение суммы главных ионов  $\Sigma_{mi}$ , концентраций  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{HCO}_3^-$  в пункте III, расположенном ниже по течению от нового микрорайона “Северный Парк”, и последующее увеличение к устью. В пункте III также зафиксированы максимальные концентрации в речной воде  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , P, Fe, V, Ge, As, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Ho, Er, Yb. Максимумы содержаний многих элементов и соединений ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{F}^-$ , Si, Sc, Cr, Mn, Co, Ga, Sr, Zr, Nb, Mo, Rh, Pd, Sb, I, Cs, Ba, Gd, Tb, Dy) отмечены в пункте VI, который расположен на минимальном расстоянии от устья в зоне часто наблюдаемого подпора от р. Томь (см. табл. 1).

Уменьшение значений  $\Sigma_{mi}$  и максимальные концентрации многих микроэлементов в пункте III, вероятно, объясняются поступлением поверхностного и грунтового стока с территории микрорайона “Северный Парк”, часть которого размещена на насыпном грунте. Из-за теплопотерь жи-

лых зданий в период наблюдений происходило таяние снежного покрова и, соответственно, поступление в русло р. Кисловка ультрапресных слабокислых талых вод, вступающих во взаимодействие с насыпными грунтами с повышенным содержанием ряда химических элементов.

Последующее же последовательное возрастание суммы главных ионов  $\Sigma_{mi}$  от пункта IV к устью может быть связано, скорее всего, с увеличением по мере приближения к р. Томь притока более минерализованных подземных вод. Влияние подпора от Томи (с поступлением в русло р. Кисловка вод с минерализацией более 300–350 мг/дм<sup>3</sup>) в зимнюю межень маловероятно, особенно с учетом того, что минерализация вод р. Томь у г. Томск в этот период составляет в среднем 262–334 мг/дм<sup>3</sup> [4, 7]. При этом воздействие собственно выпуска сточных вод станции обезжелезивания Томского подземного водозабора на минерализацию и химический состав вод р. Кисловка ограничено в основном некоторым повышением в пункте V (в 0.86 км ниже выпуска) концентраций K<sup>+</sup>, Be, B, Ni, Cu, Zn, In, Sn, Ir, Tl, La, Tm. Но уже в 5.7 км ниже по течению (пункт VI) уровень содержания перечисленных элементов заметно снижается (см. табл. 1).

Более яркое, по сравнению с речными водами, влияние выпуска стоков станции обезжелезивания установлено для донных отложений. В частности, отмечено резкое увеличение концентраций P (42.238 г/кг) и Fe (326.946 г/кг) в пункте V. Там же обнаружены и аномальные отклонения в минеральном составе фракции до 1 мм, представленном в основном двумя минералами – кварцем (20.4%) и вивианитом (79.6%; табл. 2). В остальных пунктах (I, II, III, IV, VI) в зимнюю межень 2020 г. концентрации P были в диапазоне 0.605–5.068 г/кг, Fe – от 35.718 до 73.237 г/кг, а в минеральном составе преобладали кварц (44.9–57.9%), плагиоклазы (альбит – 12.3–31.1%), калиевые полевые шпаты (микроклин – 5.5–27.5%) при значительном содержании амфиболов (до 9.9%), хлоритов (клинохлор – 4.4–5.9%), гидрослюд (до 3.9%). Также были отмечены барит, гетит, пирит, фосфаты редкоземельных элементов и ряд других минералов (рис. 2).

Таким образом, на участке со специфической мононагрузкой (в районе пункта V) в химическом составе донных отложений резко возрастают концентрации основного загрязняющего вещества (Fe) на фоне резкого снижения минерального разнообразия. Близкий по смыслу вывод был сделан при изучении Обского болота (в левобережной части р. Обь в 35–45 км на запад от рассматриваемой территории, см. рис. 1), где на загрязненном участке отмечен более высокий уровень содержания многих химических элементов в болотных водах, а на фоновом – большее разнооб-

**Таблица 2.** Минеральный состав донных отложений р. Кисловка в зимнюю межень 2020 г. (результаты рентгенофазового анализа фракции до 1 мм), %

Показатель	Пункты наблюдений (см. рис. 1)					
	I	II	III	IV	V	VI
Кварц	53.6	57.9	44.9	47.5	20.4	47.3
Альбит	27.1	17.7	28.4	12.3	—	31.1
Микроклин	11.7	5.5	8.9	27.5	—	7.1
Актинолит	—	—	—	—	—	6.1
Тремолит	—	3.4	—	—	—	—
Паргазит	—	—	9.9	3.3	—	—
Клинохлор	5.0	5.3	5.4	5.9	—	4.4
Иллит	2.6	2.4	2.6	3.1	—	3.9
Вермикулит	—	—	—	0.3	—	—
Вивианит	—	5.9	—	—	79.6	—
Гетит	—	1.7	—	—	—	—

разие минерального состава включений в торф [16]. С учетом этого можно предположить, что, по крайней мере, для исследуемого региона длительный сброс сточных вод может приводить к формированию противоположных тенденций изменения химического и минерального состава донных отложений рек и торфов.

В микробиологическом составе речных вод отмечены различные физиологические группы микроорганизмов (табл. 3). Наиболее высокие концентрации тионовых и аммонифицирующих бактерий на участке от п. Кисловка до п. Тимирязево, а нитрифицирующих, денитрифицирующих и сульфатвосстанавливающих бактерий — на участке от п. Тимирязево до устья. При этом повышенные содержания тионовых и аммонифицирующих бактерий наблюдаются там же, где наиболее высокие концентрации ионов  $\text{NH}_4^+$  и  $\text{NO}_2^-$ , источником которых с большой вероятностью являются

хозяйственно-бытовые стоки. Воздействием этого же фактора объясняется преобладание в пунктах II и III сапрофитов по сравнению с олиготрофами и высокое содержание аллохтонных мезофильных сапрофитов (в незагрязненных водах их содержание обычно не превышает 50 мл/кл).

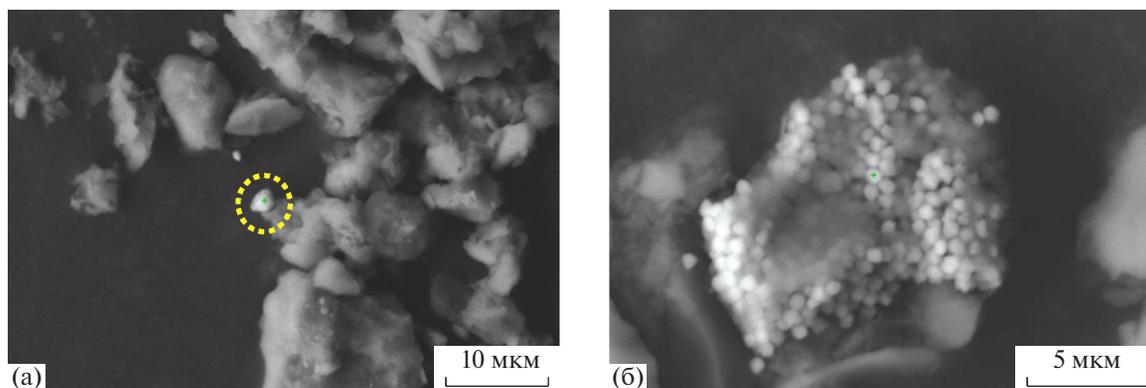
Явно выраженное влияние сброса промывных вод станции обезжелезивания ОАО “Томскводоканал” на микробиологический состав речных вод на момент проведения исследования не отмечено. Однако в пробах донных отложений в пункте V, по сравнению с пунктом I, выявлено заметное увеличение содержаний гетеротрофных бактерий, окисляющих восстановленные формы железа (далее — Fe-окисляющие), денитрифицирующих и сульфатвосстанавливающих бактерий, особенно в верхнем слое 0.0–0.4 м (за исключением сульфатвосстанавливающих бактерий с максимумом в слое 0.5–0.6 м) (табл. 4).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученной информации показал, что в речных водах максимумы содержаний соединений азота и фосфора приурочены к местам сброса хозяйственно-бытовых стоков, а наиболее высокие концентрации редкоземельных элементов — к относительно недавно застроенным участкам водосбора р. Кисловка, на которых проводилась отсыпка привозным грунтом.

Воздействие на химический состав речных вод многолетнего сброса стоков, образующихся при обезжелезивании пресных подземных вод питьевого назначения, прослеживается относительно слабо и заключается в некотором увеличении концентраций  $\text{K}^+$ , Be, B, Ni, Cu, Zn, In, Sn, Ir, Tl, La, Tm на участке около 1 км ниже по течению от выпуска стоков.

Более заметно влияние сброса стоков станции обезжелезивания Томского подземного водозабора на химический и минеральный состав дон-



**Рис. 2.** Результаты электронной микроскопии, пункт III, фракция до 1 мм: а — монацит (частица выделена пунктиром; проба 6s); б — фрамбоидальный пирит (проба 15).

**Таблица 3.** Микробиологический состав вод р. Кисловка в зимнюю межень 2020 г., кл/мл

Группы бактерий	Пункты наблюдений (см. рис. 1)					
	I	II	III	IV	V	VI
Мезофильные сапрофиты	390	780	390	40	550	7300
Психрофильные сапрофиты	3250	13910	7090	70	1460	170
Олиготрофы:	4600	5260	2620	150	10100	3830
образующие гидроксиды Fe	0	360	180	0	110	160
гетеротрофные Fe-окисляющие	1000	1000	1000	10000	100	100
Аммонифицирующие	100	1000	1000	100	10	10
Нитрифицирующие	1000	1000	100000	10000	100000	100000
Денитрифицирующие	10000	10000	1000	100000	100000	100000
Нефтеокисляющие	370	360	1040	3550	4700	3930
Сульфатвосстанавливающие	10	100	10	10000	1000	100
<i>Thiobacillus thioararus</i>	100	1000	1000	0	0	0
<i>Thiobacillus novellus</i>	450	4100	910	0	0	0
<i>Thiobacillus intermedius</i>	5200	4500	6250	910	830	1440

**Таблица 4.** Микробиологический состав донных отложений р. Кисловка, кл/мл

Группы бактерий	Пункт (см. рис. 1) и интервал опробования (м)										
	I					V					
	0.0–0.1	0.1–0.2	0.2–0.3	0.3–0.4	0.4–0.5	0.0–0.1	0.1–0.2	0.2–0.3	0.3–0.4	0.4–0.5	0.5–0.6
Мезофильные сапрофиты	>10 <sup>6</sup>	0	930	20	60	19370	5710	540300	1620	1400	480
Психрофильные сапрофиты	1100	1300	5600	1450	6500	7020	8400	7750	190	11650	6600
Олиготрофы	530	4230	3110	3000	760	1500	310	14700	1000	5000	1230
образующие гидроокислы Fe	30	40	380	20	780	110	80	20	40	70	190
гетеротрофные Fe-окисляющие	10	100	10000	10	1000	10000	10000	1000	1000	100	100
Аммонифицирующие	10	100	1000	10	10	10000	1000	10	1000	10000	10000
Нитрифицирующие	1000	1000	1000	100	10000	10000	10	1000	10000	1000	1000
Денитрифицирующие	10	1000	10	10	10	1000	10	1000	1000	1000	10000
Нефтеокисляющие	1700	0	2810	2360	12760	230	670	2610	480	5320	8610
Сульфатвосстанавливающие	10	10	100	100	100	1	1000	1000	1000	1000	10000
<i>Thiobacillus thioararus</i>	1000	10000	1000	10000	10000	10000	0	0	100	0	1000
<i>Thiobacillus novellus</i>	40	170	970	740	50000	60	0	0	220	1810	280
<i>Thiobacillus intermedius</i>	70	490	480	540	19600	360	890	370	780	570	3240

ных отложений. Оно проявляется в резком увеличении во фракции менее 1 мм концентраций Fe и P (в кислотных вытяжках) и снижении разнообразия минеральных форм за счет образования вианита. Ниже по течению это влияние уменьшается, и в 6.56 км от выпуска практически не прослеживается.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-55-80015.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ Р 56060-2014. Производственный экологический мониторинг. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов. М.: Стандартинформ, 2015. 5 с.
- Колоколова О.В. Геохимия подземных вод района Томского водозабора: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Томск: Томский политехн. ун-т, 2003. 21 с.

3. Лисецкий В.Н., Брюханцев В.Н., Андрейченко А.А. Улавливание и утилизация осадков водоподготовки на водозаборах г. Томска. Томск: Изд-во НТЛ, 2003. 164 с.
4. Льготин В.А., Савичев О.Г., Нигороженко В.Я. Состояние поверхностных водных объектов, водохозяйственных систем и сооружений на территории Томской области в 2000-2005 гг. Томск: ОАО "Томскгеомониторинг", "АГРАФ-ПРЕСС", 2006. 88 с.
5. Попов В.К., Пасечник Е.Ю., Проценко П.И., Гончаров О.Ю. Редкоземельные элементы в подземных водах Томского водозабора // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 6. С. 97–105.
6. Рогов Г.М., Попов В.К., Осипова Е.Ю. Проблемы использования природных вод бассейна реки Томи для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Томск: Изд-во Томск. гос. архит.-строит. ун-та, 2003. 218 с.
7. Савичев О.Г. Водные ресурсы Томской области. Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010. 248 с.
8. Савичев О.Г., Наливайко Н.Г., Рудмин М.А., Мазуров А.К. Микробиологические условия распределения химических элементов по глубине торфяной залежи в экосистемах восточной части Васюганского болота (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 9. С. 184–194. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/9/2272>
9. Савичев О.Г., Домаренко В.А., Перегудина Е.В., Лепкурова О.Е. Трансформация минерального состава донных отложений от истоков к устьям рек // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2018. Т. 329. № 7. С. 43–56.
10. Соктоев Б.Р., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Замана Л.В., и др. Минералого-геохимические особенности источника Ямкун (Забайкальский Край) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 7. С. 140–154. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/7/2191>
11. Состояние геологической среды (недр) территории Томской области в 2014 г. Вып. 20. АО "Томскгеомониторинг". Томск: ООО "Д-принт", 2015. 84 с.
12. Состояние геологической среды (недр) территории Томской области в 2015 г. Вып. 21. АО "Томскгеомониторинг". Томск: ООО "Д-принт", 2016. 80 с.
13. Состояние геологической среды (недр) на территории Сибирского федерального округа в 2017 г. Информационный бюллетень. Томск: Филиал "Сибирский региональный центр ГМСН", ФГБУ "Гидрогеология", 2018. Вып. 14. 178 с.
14. Экология микроорганизмов / Под ред. А.И. Нетрусова. М.: АКАДЕМА, 2004. 267 с.
15. *Manual on Stream Gauging*. Vol. I. Fieldwork. WMO. № 1044. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization, 2010. 252 p.
16. Savichev O.G., Rudmin M.A., Mazurov A.K., Nalivaiko N.G., Sergienko V.I., Semiletov I.P. Mineralogical and geochemical features of peat deposit of eutrophic the Obskoye fen in anthropogenous conditions (the Western Siberia) // *Doklady Earth Sciences*, 2020. V. 492. P. 1. P. 320–322. <https://doi.org/10.1134/S1028334X20050219>
17. Shvartsev S.L. Geochemistry of fresh groundwater in main landscape zones of the earth // *Geochem. International*. 2008. V. 46. № 13. P. 1285–1398.

## COMPOSITION OF RIVER WATER AND BOTTOM SEDIMENTS IN MINOR RIVERS UNDER ANTHROPOGENIC LOAD (BY THE EXAMPLE OF KISLOVKA RIVER, TOMSK)

**E. Yu. Pasechnik<sup>a,#</sup>, O. G. Savichev<sup>a,##</sup>, V. A. Domarenko<sup>a,###</sup>, N. G. Nalivaiko<sup>a,####</sup>,  
O. Yu. Goncharov<sup>b,#####</sup>, N. A. Brovchenko<sup>a,#####</sup>, and O. N. Vladimirova<sup>a,#####</sup>**

<sup>a</sup> National Research Tomsk Polytechnic University, Engineering school for natural resources,  
pr. Lenina, 30, Tomsk, 634050 Russia

<sup>b</sup> Tomskvodokanal Public Co., ul. Shevchenko, 41a, Tomsk, 634021 Russia

<sup>#</sup>E-mail: paseyu@yandex.ru

<sup>##</sup>E-mail: osavichev@mail.ru

<sup>###</sup>E-mail: viktor\_domarenko@mail.ru

<sup>####</sup>E-mail: nng@tpu.ru

<sup>#####</sup>E-mail: goncharov@vodokanal.tomsk.ru

<sup>#####</sup>E-mail: beautiful54@mail.ru

<sup>#####</sup>E-mail: onv-2018@yandex.ru

A complex of field, laboratory (using ICP MS, powder X-ray diffractometry, scanning electron microscopy and microbiological analysis), and office research in revealing the matter composition distribution in bottom sediments and water of the Kislovka River near the city of Tomsk (Western Siberia, Kislovka–Tom–Ob river system) in the winter low-water period of 2020. It was found out that the maximal content of N and P compounds were confined to the places of domestic wastewater discharge; the maximal content of rare-earth el-

ements were confined to the relatively recently built-up areas of the catchment area, where the territory was backfilled with foreign soil; Fe and P compounds occur in the area of wastewater discharge from the iron removal station of the Tomsk underground water intake. The influence of the effluent discharge from the iron removal station of the Tomsk underground water intake can be traced in a section about 1 kilometer downstream of the discharge; and it decreases significantly within 5–6 kilometers downstream.

**Keywords:** *chemical, microbiological and mineral composition, bottom sediments, river water, Kislovka River, Tomsk, Western Siberia*

## REFERENCES

1. GOST R 56060-2014. *Proizvodstvennyi ekologicheskii monitoring. Monitoring sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchei sredy na territoriyakh ob'ektov razmeshcheniya otkhodov* [Industrial environmental monitoring. Monitoring of the state and pollution of the environment in the territories of waste disposal facilities]. Moscow, Standartinform Publ., 2015, 5 p. (in Russian)
2. Kolokolova, O.V. *Geokhimiya podzemnykh vod raiona Tomskogo vodozabara*. [Groundwater geochemistry of the Tomsk water intake area. Extended abstract of Cand. Sci. (Geol.-Min.) Dissertation. Tomsk, Tomsk Polytechnic Univ., 2003, 21 p. (in Russian)
3. Lisetskii, V.N., Bryukhantsev, V.N., Andreichenko A.A. *Ulavlivanie i utilizatsiya osadkov vodopodgotovki na vodozaborakh g. Tomsk* [Collection and disposal of water treatment sludge at Tomsk water intakes]. Tomsk, NTL Publ., 2003, 164 p. (in Russian)
4. L'gotin, V.A., Savichev, O.G., Nigorozhenko, V.Ya. *Sostoyanie poverkhnostnykh vodnykh ob'ektov, vodokhozyaistvennykh sistem i sooruzhenii na territorii Tomskoi oblasti v 2000-2005 gg.* [The state of surface water bodies, water management systems and structures in the Tomsk region in 2000–2005]. Tomsk, OAO Tomskgeomonitring, AGRAF-PRESS, 2006. № 88, 112 p. (in Russian)
5. Popov, V.K., Pasechnik, E.Yu., Protsenko, P.I., Goncharov, O.Yu. *Redkozemel'nye elementy v podzemnykh vodakh Tomskogo vodozabara* [Rare-earth elements in the groundwater of the Tomsk water intake]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2018. V. 329. № 6. P. 97–105. (in Russian)
6. Rogov, G.M., Popov, V.K., Osipova, Ye.Yu. *Problemy ispol'zovaniya prirodnykh vod basseina reki Tomi dlya khozyaistvenno-pit'yevogo vodosnabzheniya* [Problems of using the natural water of the Tom River basin for household and drinking water supply]. Tomsk, Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering Publ., 2003, 218 p. (in Russian)
7. Savichev, O.G. *Vodnye resursy Tomskoi oblasti* [Water resources of the Tomsk region]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University Publ., 2010, 248 p. (in Russian)
8. Savichev, O.G., Nalivaiko, N.G., Rudmin, M.A., Mazurov, A.K. *Mikrobiologicheskie usloviya raspredeleniya khimicheskikh elementov po glubine torfyanoi zalezhi v ekosistemakh vostochnoi chasti Vasyuganskogo bolota (Zapadnaya Sibir')* [Microbiological conditions for the distribution of chemical elements over the depth of peat deposits in the ecosystems of the eastern part of the Vasyugan bog (Western Siberia)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2019. V. 330. № 9. P. 184–194. (in Russian)
9. Savichev, O.G., Domarenko, V.A., Peregudina, Ye.V., Lepokurova, O.Ye. *Transformatsiya mineral'nogo sostava donnykh otlozhenii ot istokov k ust'yam rek* [Transformation of the mineral composition of bottom sediments from sources to river mouths]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2018. V. 329. № 7. P. 43–56. (in Russian)
10. Soktoev, B.R., Rikhvanov, L.P., Baranovskaya, N.V., Zamana, L.V. et al. *Mineralogo-geokhimicheskie osobennosti istochnika Yamkun (Zabaikal'skii Krai)* [Mineralogical and geochemical features of the Yamkun spring (Trans-Baikal Territory)]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2019. V. 330. № 7. P. 43–56. (in Russian)
11. *Sostoyanie geologicheskoi sredy (nedr) territorii Tomskoi oblasti v 2014 g.* [The state of the geological environment (subsoil) of the Tomsk region in 2014]. Vol. 20. Tomsk, OOO D-print, 2015, 84 p. (in Russian)
12. *Sostoyanie geologicheskoi sredy (nedr) territorii Tomskoi oblasti v 2015 g.* [The state of the geological environment (subsoil) of the Tomsk region in 2015]. Vol. 21. Tomsk, OOO D-print, 2016, 80 p. (in Russian)
13. *Sostoyanie geologicheskoi sredy (nedr) na territorii Sibirskogo federal'nogo okruga v 2017 g. Informatsionnyi byulleten* [Condition of geological environment (bowels) in the territory of Siberian Federal District in 2017. News bulletin]. Tomsk, Filial Sibirskii regional'nyi tsentr GMSN, FGBU Gidropetsgeologiya, 2018. V. 14, 178 p. (in Russian)
14. *Ekologiya mikroorganizmov* [Ecology of microorganisms]. A.I. Netrusov, Ed., Moscow, AKADEMA Publ., 2004, 267 p. (in Russian)
15. *Manual on stream gauging. Vol. I. Fieldwork.* WMO. № 1044. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 2010, 252 p.
16. Savichev, O.G., Rudmin, M.A., Mazurov, A.K., Nalivaiko, N.G., Sergienko, V.I., Semiletov, I.P. *Mineralogical and geochemical features of peat deposit of eutrophic the Obskoye fen in anthropogenous conditions (the Western Siberia).* *Doklady Earth Sciences*, 2020. V. 492, part 1. P. 320–322.
17. Shvartsev, S.L. *Geochemistry of fresh groundwater in main landscape zones of the Earth.* *Geochem. International.*, 2008. V. 46. № 13. P. 1285–1398.