

Две небольшие перспективные площади выделены в пределах Пачелмской зоны разломов. Первая площадь выделена на пересечении Пачелмской зоны разломов с фронтом Днепровско-Окской надвиговой зоны возле г. Рязань. Ее площадь 70 км<sup>2</sup> (рис. 1, 3). Вторая перспективная площадь находится восточнее г. Шацк (Россия), ее площадь 46 км<sup>2</sup> (рис. 3).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Абушкевич, С.А. Перспективы нефтегазоносности юго-восточного побережья и островов Хатангского залива по данным дистанционного зондирования земли / С.А. Абушкевич, К.А. Волин, Т.А. Арестова // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 2. — С. 24–31.
2. Антипов, В.С. Нефтеперспективность центральной части Калининградской области по данным анализа многоспектральных космических снимков / В.С. Антипов, Е.А. Журавлев, Г.В. Гальперов, К.А. Волин // Геология нефти и газа. — 2011. — № 4. — С. 26–36.

3. Махнач, А.С. Геология Беларуси / А.С. Махнач, Р.Г. Гарецкий, А.В. Матвеев и др. — Минск.: Институт геологических наук НАН Беларуси, 2001. — 815 с.
4. Международная тектоническая карта Европы. Масштаб 1:5 000 000. Третье издание / Гл. редакторы: В.Е. Хаин, Ю.Г. Леонов. ЮНЕСКО, Российский фонд фундаментальных исследований, РАН. — СПб.: ВСЕГЕИ, 1998.
5. Хаин, В.Е. Региональная геотектоника (тектоника континентов и океанов) / В.Е. Хаин, А.Ф. Лимонов: Учеб. пособие. — Тверь: ООО «Издательство ГЕРС», 2004. — С. 78–88.
6. Gao, B. NDWI — A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space / B. Gao — Remote Sensing of Environment. — 1996. — 58(3). — P. 257–266.
7. Ceccato, P. Detecting vegetation water content using reflectance in the optical domain / P. Ceccato, S. Flasse, S. Tarantola, S. Jacquemond, & J. Gregoire // Remote Sensing of Environment. — 2001. — 77. — P. 22–33.

© Абушкевич С.А., Волин К.А. 2018

Абушкевич Сергей Антонович // niicosm\_as@mail.ru  
Волин Кирилл Артемович // k.volinn@spbu.ru

## ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 504.4.054.001.5:622.341

Домаренко В.А., Савичев О.Г., Перегудина Е.В.  
(Национальный исследовательский Томский  
политехнический университет)

### ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ БАКЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО УЗЛА (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Предложена методика оценки допустимых концентраций в сточных водах, потенциально образующихся при добыче осадочной железной руды и поступающих в реки, в зависимости от верхней границы доверительного интервала для средних арифметических концентраций веществ в подземных водах, дренируемых приемниками стоков. Дополнительное уточнение допустимых концентраций проводится путем анализа концентраций веществ в поверхностных водах и донных отложениях. Выполнена апробация методики на примере опытного участка геологоразведочных работ в пределах Бакчарского железорудного узла у с. Бакчар (Томская область). **Ключевые слова:** Бакчарский железорудный узел, изменения состояния водного объекта, допустимое воздействие.

Domarenko V.A., Savichev O.G., Peregudina E.V. (National research Tomsk Polytechnic University)

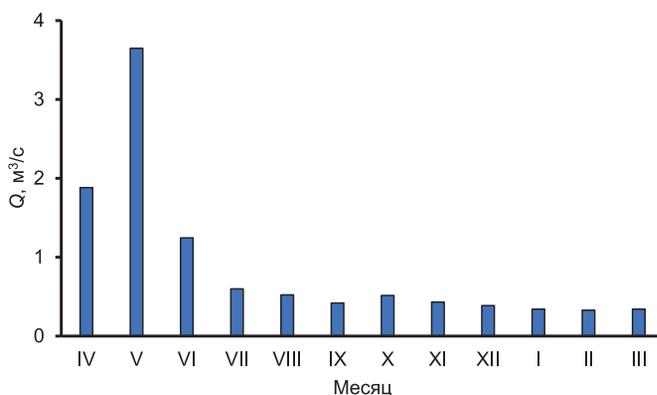
### PROBABLE CHANGES OF THE CONDITION OF WATER OBJECTS BY DEVELOPMENT OF THE BAKCHAR ORE UNIT (TOMSK REGION)

A method is proposed for estimating the permissible concentrations in wastewater potentially generated during the extraction of sedimentary iron ore and entering the rivers, depending on the upper limit of the confidence interval for the arithmetic mean concentrations of substances in groundwater drained by the sewage receivers. Additional specification of acceptable

concentrations is carried out by analyzing the concentrations of substances in surface waters and bottom sediments. Approximation of the technique was carried out on the example of the experimental site of geological prospecting within the Bakchar iron ore cluster near the village of Bakchar (Tomsk Oblast). **Keywords:** Bakcharsky iron ore junction, changes in the state of the water body, admissible impact.

Прогнозные ресурсы  $P_2+P_1$  осадочных железных руд Бакчарского рудного узла оцениваются в авторском варианте в 49 млрд т, или 9,1 млрд Fe при  $C_{cp} = 33\%$ . Их освоение в долгосрочной перспективе потребует решения целого ряда вопросов, включая исследование изменений окружающей среды [2, 9]. Ранее авторами [6] была проведена оценка допустимых концентраций веществ в сточных водах  $C_{w,lim}$ , сбрасываемых в подземные и поверхностные водные объекты, на основе сравнения двух выборок объемом  $N$  в условно фоновом  $C_b$  и нарушенном  $C_x$  состояниях в виде трансформированного критерия Стьюдента:

$$C_{w,lim} \leq C_b \cdot (1 + k_{\alpha,2-N-2} \cdot \delta \cdot \sqrt{2}), \quad (1)$$



Внутригодовое распределение водного стока р. Галка у с. Бакчар в расчетный год с обеспеченностью 95 %

где  $k_{\alpha, 2 \times N - 2}$  — квантиль распределения Стьюдента при уровне значимости 5% и числе степеней свободы  $2 \times N - 2$ ;  $\delta$  — заданная относительная погрешность определения фоновой концентрации (например,  $\delta = 0,05$ ). Однако при этом остались недостаточно проработанными вопросы определения фоновых концентраций и, особенно, взаимодействия вод с подстилающими и водовмещающими породами, что и определило соответствующие цели рассматриваемой работы.

#### Исходная информация и методика исследования

Исследование включало в себя два основных этапа: 1) изучение условий формирования фоновых концентраций в водных объектах; 2) изучение взаимодействий речных вод и донных отложений. Соответственно методика исследования включала проведение полевых и лабораторных работ, статистический анализ гидрогеохимической информации и разработку упрощенных математических моделей, описывающих основные механизмы формирования химического состава вод в природно-техногенных условиях.

В качестве основного объекта исследования выбрана южная часть Бакчарского железорудного узла, расположенного к югу от с. Бакчар (административный центр Бакчарского района Томской области) (рисунок). Отбор проб выполнен 03.11.2010 г. и 13.09.2017 г. (табл. 1). Химический состав донных отложений р. Галка изучался по фракции с диаметром частиц менее 1 мм. Лабораторные работы были выполнены в аккредитованной гидрогеохимической лаборатории Томского поли-

**Таблица 1**  
Физико-химические и геохимические показатели природных и техногенных вод и донных отложений в районе размещения карты намыва Западного участка Бакчарского рудного узла

Показатель	Единицы измерения	Река Галка		Карта намыва № 8, Бакчарский участок	Скважина № 7, Бакчарский участок, с. Бакчар	Скважина № 101, с. Бакчар
		выше с. Бакчар	с. Бакчар			
Дата отбора	—	13.09.13	13.09.13	13.09.13	13.09.13	03.11.10
pH	Ед. pH	8.3	8.3	9.3	9.6	8.2
$\Sigma_{гн}$	мг/дм <sup>3</sup>	233.4	242.4	712.4	656.2	525.6
Ca <sup>2+</sup>	то же	38.0	42.0	16.5	6.0	8.0
Mg <sup>2+</sup>	—/—/—	9.8	7.9	15.5	3.7	4.9
Na <sup>+</sup>	—/—/—	12.67	12.29	156.2	172.17	140.0
K <sup>+</sup>	—/—/—	1.18	2.10	8.95	2.65	2.20
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	—/—/—	157.4	161.04	424.0	378.2	290.0
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	—/—/—	0	0	24	36	4
Cl <sup>-</sup>	—/—/—	5.3	7.0	39.1	35.5	66.4
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	—/—/—	9.0	10.1	28.1	22.0	10.1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	—/—/—	1.00	0.60	1.70	1.23	<0.10
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	—/—/—	0.001	0.001	0.060	0.050	0.008
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	—/—/—	1.89	2.65	2.09	0.52	0.93
Фосфаты	—/—/—	0.20	0.20	0.13	0.50	0.58
Si	—/—/—	4.58	7.96	4.97	5.28	5.43
Fe	—/—/—	2.23	2.27	1.47	0.24	0.34
Al	мкг/дм <sup>3</sup>	244	235	257	70	10
Li	то же	6.5	6.8	15.8	8.1	8.0
Ti	—/—/—	5	5	5	107	1
V	—/—/—	1	2	4	20	<1
Cr	—/—/—	1	1	1	2	<1
Mn	—/—/—	23	27	11	14	20
Cu	—/—/—	7.3	4.9	3.4	3.2	5.0
Zn	—/—/—	16.0	15.0	14.0	8.6	4.0
Sr	—/—/—	246	248	258	78	176
Cd	—/—/—	0.6	1	0.001	0.1	<0.2
Pb	—/—/—	6.20	2.50	2.70	0.63	0.15
П.О.	мгО/дм <sup>3</sup>	51.33	55.35	0.82	1.17	1.16
Б.О.	мгО/дм <sup>3</sup>	116.9	105.5	16.45	25.8	Н.д.
Нефтепродукты	мг/дм <sup>3</sup>	0.039	0.026	0.014	0.100	Н.д.
Li	мг/кг	38.98	43.56	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Na	то же	707.8	751.4	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Mg	—/—/—	7136	8067	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Al	—/—/—	39280	39450	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Si	—/—/—	72.54	109.3	Н.д.	Н.д.	Н.д.
K	—/—/—	6512	6520	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Ca	—/—/—	8200	8954	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Ti	—/—/—	202.7	305.9	Н.д.	Н.д.	Н.д.
V	—/—/—	45.42	45.24	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Cr	—/—/—	12.75	15.08	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Mn	—/—/—	614.9	540.5	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Fe	—/—/—	21830	24550	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Cu	—/—/—	12.75	15.08	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Zn	—/—/—	65.42	80.24	Н.д.	Н.д.	Н.д.
As	—/—/—	6.725	6.395	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Sr	—/—/—	65.91	72.96	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Cd	—/—/—	0.491	0.579	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Ba	—/—/—	125.5	134.5	Н.д.	Н.д.	Н.д.
Pb	—/—/—	7.24	7.629	Н.д.	Н.д.	Н.д.

Примечание: Н.д. — нет данных;  $\Sigma_{гн}$  — сумма 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>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>; П.О. — перманганатная окисляемость; Б.О. — бихроматная окисляемость

**Таблица 2**  
**Среднегодовое показатели химического состава подземных и речных вод**

Показатель	Номер скважины				Река Бакчар
	130р	105р	Эксплуатационные скважины	110р	
Населенный пункт	с. Пудино	с. Каргасок	с. Чажемто	с. Бакчар	с. Гореловка
Возраст водоносных комплексов	$P_{3nm}$	$P_{2jr}$	$P_{2jr}$	$Q_{1tb}$	–
Средняя глубина, м	7.70	7.48	Н.д.	7.27	–
pH, ед. pH	7.41±0.08	7.06±0.08	6.93±0.44	7.19±0.08	7.20±0.06
мг/дм <sup>3</sup>					
$\Sigma_{гн}$	304.0±10.0	494.3±8.9	610.5±10.1	335.6±11.4	324.8±41.5
Ca <sup>2+</sup>	39.6±3.2	73.4±2.8	79.5±12.1	48.1±3.5	52.3±5.6
Mg <sup>2+</sup>	15.6±0.7	20.3±10.7	31.8±6.6	15.3±0.7	12.4±1.6
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	13.0±1.7	23.6±1.6	26.9±6.7	17.7±2.8	13.4±3.0
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	229.0±12.1	357.5±12.6	451.5±3.5	243.2±13.2	229.1±30.9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0.7±0.5	5.9±2.3	<1	1.3±0.3	12.0±1.2
Cl <sup>-</sup>	6.0±0.6	13.7±1.4	20.9±10.0	9.9±0.9	5.6±0.5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.194±0.124	1.385±0.665	Н.д.	0.625±0.413	0.837±0.208
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0.057±0.033	0.038±0.016	Н.д.	0.126±0.056	0.069±0.029
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.580±0.177	3.629±0.593	Н.д.	0.833±0.182	2.282±0.223
Fe	5.01±1.01	5.412±1.122	7.833±7.734	2.94±0.49	0.246±0.046
Si	4.052±0.530	5.093±1.270	Н.д.	2.901±1.270	4.554±0.583
П.О.	5.41±0.44	6.15±0.35	Н.д.	3.29±0.19	25.31±3.95
Б.О.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	Н.д.	50.60±6.01

технического университета (ТПУ) с использованием потенциометрического (рН), титриметрического (главные ионы, бихроматная окисляемость Б.О., перманганатная окисляемость П.О.), фотоколориметрического (фосфаты, соединения азота), флуориметрического (нефтепродукты) методов, ионной хроматографии (Na<sup>+</sup> и K<sup>+</sup> в воде) и атомно-эмиссионной спектроскопии с использованием iCAP 6300 Duo, Thermo Scientific (прочие химические элементы).

Кроме того, был выполнен анализ материалов многолетних наблюдений Росгидромета на р. Бакчар у с. Гореловка и результатов государственного мониторинга, выполняемого с 1960-х гг. в Томской геологоразведочной экспедиции и АО «Томскгеомониторинг» на режимных скважинах в селах Бакчар, Каргасок и Пудино, а также на двух эксплуатационных скважинах в с. Чажемто (табл. 2). Более полная информация об использованных материалах многолетних гидрогеологических и гидрологических наблюдений приведена в [4, 7, 8].

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

Во время проведения работ по опытной добыче осадочных железных руд методом скважинной гидродобычи непосредственный сосредоточенный сброс в р. Галка, расположенную в 2,5 км к северо-западу, отсутствовал. Но примерно в 300–400 м от карты намыва расположена вершина лога, по которому в весенний период наблюдается водный сток, аккумулируемый в пруду в 1 км от р. Галка. Между прудом и рекой расположена дорога с. Бакчар — с. Большая Галка, пересе-

кающая понижение в рельефе, фактически представляющее собой водосбор лога. Характер растительности и почвогрунтов в этом понижении позволяет сделать вывод о наличии подповерхностного и подземного стока, направленного от карты намыва к р. Галка.

Режимные гидрологические наблюдения на реке не проводятся. Поэтому, пользуясь данными по реке-аналогу (р. Бакчар у с. Польшнянка) методом среднего распределения [10] был рассчитан гидрограф р. Галка в год с обеспеченностью 95 % (рисунок). Для р. Чая в работе с помощью метода смешения и анализа данных о химическом составе речных и подземных вод было показано, что: 1) подземная составляющая суммарного речного стока оценивается в 24,1 м<sup>3</sup>/с или 29,7 %; 2) водоприток из отложений неоген-четвер-

тичного возраста формирует 6 % подземного стока, а из отложений палеогенового возраста — 94 % [7]. С увеличением расхода воды и площади водосбора степень дренирования водоносных горизонтов должна возрастать, хотя для левобережной части бассейна Оби с широким распространением покровных суглинков и слабой расчлененностью рельефа это, видимо, проявляется не так сильно, как в водосборах других притоков Оби.

Расчет допустимого воздействия на водные объекты обычно проводят в периоды с наихудшими условиями разбавления и самоочищения. В рассматриваемом природном районе таким можно считать период зимней межени (рисунок), когда русловой сток полностью представлен подземными водами, причем преимущественно из водоносных отложений палеогенового возраста. Соответственно наиболее логичным является выбор в качестве фоновых концентраций водотока средних (арифметических или геометрических в зависимости от типа распределения вероятностей) значений, определенных для подземных вод района исследований, а не верхней границы доверительного интервала для среднего арифметического в фоновом створе реке:

$$C_b = C_a + \frac{k_{\alpha, N-1} \cdot \sigma}{\sqrt{N}}, \quad (2)$$

где  $N$  — объем выборки;  $C_a$  — среднее арифметическое;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение;  $k_{\alpha, N-1}$  —

квантиль распределения Стьюдента при уровне значимости 5 % и числе степеней свободы  $N-1$  [5].

Это позволяет получить более надежную и «физическую» обоснованную оценку по данным многолетних гидрогеологических наблюдений, избежав случайной ошибки выбора фонового створа на реке и отбора проб воды (влияние русловых форм, деформаций русла, особенностей течения и связанного с ними неравномерного распределения донных отложений, погрешности, связанные со взмучиванием при отборе на мелководье в зимний период, попаданием в пробу фрагментов ледяного и снежного покрова и т.д.). В рассматриваемом случае (с учетом несколько меньшего вклада водопритока из отложений палеогенового горизонта по сравнению с притоком из отложений неоген-четвертичного возраста) в качестве фона целесообразно принять данные по режимной скважине 110р в с. Бакчар. При уровне значимости 5 % и объеме наблюдений на скважине 110р  $N = 66$  принято, согласно работе [5],  $k_{\alpha, 2 \times N - 2} \approx 1,66$  и  $k_{\alpha, N - 1} \approx 1,67$ . С учетом этого выполнен расчет фоновых концентраций в р. Галка (как фоновых концентраций в подземных водах по данным наблюдений на скважине 110р) и допустимых концентраций в сточных водах, которые могут поступать в реку в результате добычи осадочной железной руды (табл. 3).

Полученные данные позволяют охарактеризовать допустимые концентрации веществ в сточных водах, при которых статистически значимо не меняется химический состав приемника стоков. Но остается нераскрытым вопрос, каким образом добыча железной руды скажется на химическом составе донных отложений — границы поверхностного водного объекта и недр (тем не менее, для добычи песчано-гравийного

**Таблица 3**

**Допустимые концентрации веществ в сточных водах  $C_{w, \text{lim}}$ , которые могут образовываться при скважинной гидродобыче осадочной железной руды у с. Бакчар**

Показатель	Фоновая концентрация в подземных водах (скв. 110р) $C_b$ (2)	Допустимые концентрации веществ в сточных водах $C_{w, \text{lim}}$ (1)
pH, ед. pH	7.06–7.32	6.23–8.18
мг/дм <sup>3</sup>		
$\Sigma_{\text{гн}}$	354.6	396.3
$\text{Ca}^{2+}$	53.9	60.3
$\text{Mg}^{2+}$	16.5	18.4
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	22.4	25.0
$\text{HCO}_3^-$	265.2	296.4
$\text{SO}_4^{2-}$	1.8	2.0
$\text{Cl}^-$	11.4	12.7
$\text{NO}_3^-$	1.315	1.469
$\text{NO}_2^-$	0.220	0.245
$\text{NH}_4^+$	1.137	1.270
Fe	3.758	4.199
Si	5.02	5.61
П.О.	3.61	4.03

материала в руслах рек требуется получение лицензии на недропользование). Для ответа на этот вопрос было рассмотрено аналитическое решение одномерного стационарного уравнения диффузии [11, 12]:

$$C = S \cdot \frac{k_S}{k_C} + \left( C_0 - S \cdot \frac{k_S}{k_C} \right) \cdot \exp \left( X \cdot \frac{v}{2 \cdot D} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 + \frac{4 \cdot k_C \cdot D}{v^2}} \right) \right), \quad (3)$$

где  $C$  и  $S$  — концентрации вещества в воде и донных отложениях в расчетном створе;  $C_0$  — концентрация вещества в воде в начальном створе, расположенном на расстоянии  $X$  выше по течению от расчетного створа;  $v$  — средняя скорость течения;  $k_C$  и  $k_S$  — удельные скорости изменения концентраций вещества в воде и донных отложениях;  $D$  — коэффициент гидродисперсии, определяемый по формуле (4):

$$D = \frac{g \cdot v \cdot h}{k_{Ch} \cdot k_M}, \quad (4)$$

$$k_M = \begin{cases} 0.7 \cdot k_{Ch} + 6, & 10 \leq k_{Ch} \leq 60 \\ 48, & k_{Ch} > 60 \end{cases}, \quad (5)$$

где  $g$  — ускорение свободного падения;  $h$  — средняя глубина;  $k_{Ch}$  — коэффициент Шези [1, 5].

Основная идея использования уравнения (3) заключается в следующем: 1) по данным измерений расхода воды, концентраций  $C$  и  $S$  определяются параметры  $D$ ,  $k_C$  и  $k_S$ ; 2) при заданных значениях  $S$ ,  $D$ ,  $k_C$ ,  $k_S$  и  $C_0 = C_b$  рассчитываются концентрации  $C_y$  в расчетном створе; 3) полученные значения  $C_y$  сравниваются с измеренными значениями  $C$ . Если различия существенны, то система является неустойчивой, а воздействие на водный объект при содержании загрязняющих веществ в стоках в размере  $C_{w, \text{lim}}$  нельзя считать допустимым.

Апробация указанного выше алгоритма была проведена по содержаниям Fe и Si в водах и донных отложениях р. Галка (табл. 1). Для расчетных гидрологических условий получено: минимальный среднемесячный расход воды в год обеспеченностью 95 %  $Q_{\text{min}, p} = 0,329 \text{ м}^3/\text{с}$ ; расчетный месяц — февраль; коэффициент шероховатости (с учетом льда)  $n = 0,048$ ; расчетная глубина  $h = 0,16 \text{ м}$ ; средняя скорость течения  $v = 0,077 \text{ м/с}$ ; коэффициент Шези  $k_{Ch} = 15,459 \text{ м}^{0.5}/\text{с}$ ; коэффициент гидродисперсии  $D = 0,000471 \text{ м}^2/\text{с}$ . В случае кремния:  $k_C = 2,000020 \text{ с}^{-1}$ ;  $k_S = 0,000404 \text{ с}^{-1}$ ; относительная ошибка  $100 \times |C_y - C|/C = 0,001 \%$ ; в случае железа:  $k_C = 2,000018 \text{ с}^{-1}$ ;  $k_S = 0,000185 \text{ с}^{-1}$ ; относительная ошибка  $100 \times |C_y - C|/C = 0,116 \%$ . Таким образом, различия между значениями  $C_y$  и  $C$  минимальны, что позволяет принять значения  $C_{w, \text{lim}}$  (табл. 3) в качестве допустимых.

#### **Выводы**

Предложена методика оценки допустимых концентраций в сточных водах, образующихся при скважинной гидродобыче осадочной железной руды и поступающих в реки, в зависимости от верхней границы доверительного интервала для средних арифметических концентраций веществ в подземных водах, дренируемых приемниками стоков. Апробация методики проведена на при-

мере опытного участка СГД в западной части Бакчарского железорудного узла у с. Бакчар. Дополнительная проверка и уточнение полученных допустимых концентраций осуществляется путем использования уравнения связи между содержаниями химических элементов в речных водах и донных отложениях. Непосредственно для р. Галка допустимая концентрация железа в сточных водах, которые в перспективе могут поступать в результате добычи руды, составляет 2,27 мг/дм<sup>3</sup>.

Анализ результатов моделирования изменения концентраций железа в речных водах с помощью этого уравнения (аналитического решения одномерного стационарного уравнения диффузии) показал, что приближение к определенному уровню, соответствующему относительно устойчивому эколого-геохимическому состоянию, происходит буквально на протяжении нескольких метров. Судя по характеру изменения концентраций железа в донных отложениях, это объясняется выпадением из водной среды его малорастворимых соединений [3]. В случае существенного увеличения объема сточных вод время релаксации, безусловно, возрастет, а расстояние с повышенными концентрациями железа в донных отложениях — увеличится, но, скорее всего, ограничится четырехкилометровым участком (до с. Бакчар). Периодически повторяющаяся рекультивация дна (путем выемки верхнего слоя донных отложений) позволит минимизировать воздействие добычи осадочных железных руд, а общий уровень воздействия на водный объект будет в целом долгосрочный, локальный (до 4–5 км) и допустимый.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Голева, Р.В. Экологическая оценка потенциальной токсичности рудных месторождений / Р.В. Голева, В.В. Иванов, И.И. Куприянова и др. / Методические рекомендации. — М.: ВИМС, 2001 — 53 с.

2. Домаренко, В.А. Особенности распределения химических элементов в болотных экосистемах Восточного Васюганья / В.А. Домаренко, О.Г. Савичев, Е.В. Перегудина // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 8. — С. 50–54.
3. Крайнов, С.Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С.Р. Крайнов, Б.Н. Рыженко, В.М. Швец. — М.: Наука, 2004. — 677 с.
4. Лыготин, В.А. Долгосрочная изменчивость химического состава подземных вод Томской области / В.А. Лыготин, О.Г. Савичев, Ю.В. Макушин, О.А. Камнева // География и природные ресурсы. — 2012. — № 1. — С. 74 — 79.
5. РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. — М.: Росгидромет, 2001. — 68 с.
6. Савичев, О.Г. Оценка допустимого воздействия на водные объекты при разработке осадочных железных руд Бакчарского рудного узла (Томская область) / О.Г. Савичев, В.А. Домаренко, А.К. Мазуров // Геоинформатика. — 2014. — № 3. — С. 56–63.
7. Савичев, О.Г. Пространственно-временные изменения минерализации подземных вод в бассейне Средней Оби / О.Г. Савичев, О.А. Камнева // Разведка и охрана недр. — 2010. — № 11. — С. 67–70.
8. Савичев, О.Г. Поступление антропогенных веществ в воды р. Томь / О.Г. Савичев // Мелиорация и водное хозяйство. — 1998. — № 6. — С. 31–33.
9. Савичев, О. Г. Минералого-геохимические особенности донных отложений малых рек в междуречье рек Ло и Кау (Северный Вьетнам) / О.Г. Савичев, В.А. Домаренко., Е.В. Перегудина, Нгуен Ван Луен, М.В. Шалдыбин, А.В. Канаки // Известия ТПУ — 2017. — № 9. — Т. 328. — С. 102–113.
10. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. — М.: Госстрой России, 2004. — 72 с.
11. Benedini, M. Water Quality Modelling for Rivers and Streams. / M. Benedini, G. Tsakiris. — Dordrecht, 2013. — 288 p.
12. Loucks, D.P. Water Resources Systems Planning and Management. An introduction to Methods, Models and applications / D.P. Loucks, E. Van Beek. — Turin: UNESCO, 2005. — 680 p.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-05-00042.*

© Домаренко В.А., Савичев О.Г., Перегудина Е.В., 2018

Домаренко Виктор Алексеевич // Viktor\_Domarenko@mail.ru  
Савичев Олег Геннадьевич // OSavichev@mail.ru  
Перегудина Елена Владимировна // pere-elena@mail.ru

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 553.411.048 (571.53)

Карпенко И.А.<sup>1</sup>, Цымбалист С.И.<sup>2</sup>, Рябкин В.К.<sup>2</sup>, Литвинцев Э.Г.<sup>2</sup>, Куликов Д.А.<sup>1</sup>, Хашковская Т.Н.<sup>3</sup>, Ратнер В.Б.<sup>2</sup>, (1 — ФГУП «ЦНИГРИ», 2 — ФГБУ «ВИМС», 3 — ООО «Институт Гипроникель»)

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ВКРАПЛЕННЫХ СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОВЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД МОНЧЕГОРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Описаны исследования, проведенные на пробе платино-металлических руд участка Пласт-330, крупностью —75+20 мм. Приведено технико-экономическое сравнение технологий с применением радиометрических и традиционных методов обогащения. Доказана эффективность применения рентгенорадиометрической сепара-

ции, позволяющей повысить сквозные технологические показатели по всей схеме переработки исследуемых руд. **Ключевые слова:** медно-никелевые руды, платиновые руды, предварительное обогащение, рентгенорадиометрическая сепарация, сепарация руд.

Karpenko I.A.<sup>1</sup> Tsymbalist S.I.<sup>2</sup>, Ryabkin V.K.<sup>2</sup>, Litvintsev E.G.<sup>2</sup>, Kulikov D.A.<sup>1</sup>, Hashkovskaya T.N.<sup>3</sup>, Ratner V.B.<sup>2</sup>

(1 — TSNIGRI, 2 — VIMS, 3 — Ltd. Gipro-nickel Institute)

### THE PERFECTION OF TECHNOLOGY FOR PROCESSING DISSEMINATED SULFIDE PLATINUM-COPPER-NICKEL ORES OF THE MONCHEGORSK ORE DISTRICT

Describes research conducted on a sample of ores platinum metal of the site Plast 330, particle size -75+20 mm. Given technoeconomic comparison of technologies with application of radiometric methods and technology with the use of traditional