

## ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ ОАО «РУСАЛ КРАСНОЯРСК» НА КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ ВОД

**А.Ю. Озерский**

ЗАО «Центр экологических обоснований и мониторинга (МОНИТЭК)»  
Ул. К. Маркса, 62, Красноярск, Россия, 660049

**Г.Ф. Ботвич**

ОАО «РУСАЛ Красноярск»  
Пр. Пограничников, 40, Красноярск, Россия, 660111

Рассматривается характеристика вещественного состава отходов, шламовых вод, а также подземных вод, загрязняемых фильтрационными утечками из шламовых полей. Рассчитаны размеры фильтрационных потерь из шламовых полей. Показана эффективность противофильтрационных мероприятий, выполняющаяся ОАО «РУСАЛ Красноярск».

В настоящее время на российских алюминиевых заводах образуется значительное количество твердых отходов, которые направляются гидравлическим способом на шламовые поля. Последние представляют собой гидротехнические сооружения, внутри дамб которых производится намыв отходов, отделение жидкой части пульпы и ее возврат в систему шламоудаления. Известно, что последствия размещения и хранения отходов на шламовых полях и полигонах приводят к большим затратам при эксплуатации шламовых полей, вызывают потерю ценных для электролиза компонентов (F, Al и др.), а также требуют возмещения значительного экологического ущерба [1]. Экологический ущерб наносится прежде всего химическим загрязнением подземных вод, которое возникает в результате фильтрационных потерь технических вод, внедряющихся в природные водоносные горизонты. За время эксплуатации алюминиевых заводов на каждом из них накоплены гигантские объемы тонкодисперсных фтор-, сульфат- и углеродсодержащих отходов, представляющих механическую смесь тонкодисперсной пыли электрофильтров, шлама газоочистки и хвостов флотации (табл. 1).

Таблица 1

**Химический состав твердых отходов в шламовых полях  
алюминиевого производства [1]**

Компонент отходов	F	Al	Na	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	C	SO <sub>3</sub>
Пыль электрофильтров	15—27	10—33	5—11	0,2—0,5	1—4	12—45	1—6
Шлам газоочистки	13—17	12—28	10—17	0,2—0,5	1—2	13—15	3—7
Пена угольная	28—32	11—14	14—16	0,5—1	0,5—1	25—30	0,1—1
Хвосты флотации	6—11	2—4	3—5	0,1—0,5	1—2	75—85	0,5—2,5

В гранулометрическом составе шлама присутствуют частицы размерами 0,2—10 мкм (шлам флотации), 10—70 мкм (пыль электрофильтров) и 0,3—25 мкм (хвосты флотации) [1]. Тонкодисперсный состав шлама косвенно свидетельствует о его слабой проницаемости, однако, до настоящего времени фильтрационные свойства шламов не были изучены. В силу технологических особенностей намыва шламы обладают слоистой структурой и, соответственно, анизотропией фильтрационных свойств по вертикали и латерали.

Ниже шламовой толщи на глубинах 16,0—25,0 м залегает аллювиальный песчано-гравийный водоносный горизонт средней мощностью 10 м, в который разгружаются загрязненные технические воды. Коэффициент фильтрации песчаного и гравийного слоя варьирует от 1,0—3,0 м/сут до 15,0 м/сут. Ниже аллювиального горизонта встречены коренные (юрские) породы, считающиеся относительно водоупорными.

ОАО «РУСАЛ Красноярск» уделяет большое внимание снижению негативного воздействия эксплуатации шламовых карт на окружающую среду. В последние годы были проведены реконструкция гидротехнических сооружений и экранирование шламовых карт, а также реконструкция системы отвода надшламовой воды, которая позволяет выдерживать влажность шлама в пределах, снижающих фильтрацию загрязненных технических вод в подземные воды.

Одновременно с реконструкцией проводится мониторинг состояния подземных вод. Существующая режимная сеть скважин экологического мониторинга позволяет контролировать влияние мест размещения отходов на подземные воды (рис.). Контрольные скважины расположены на двух профилях вниз по потоку от фоновой скважины в юго-восточном направлении.

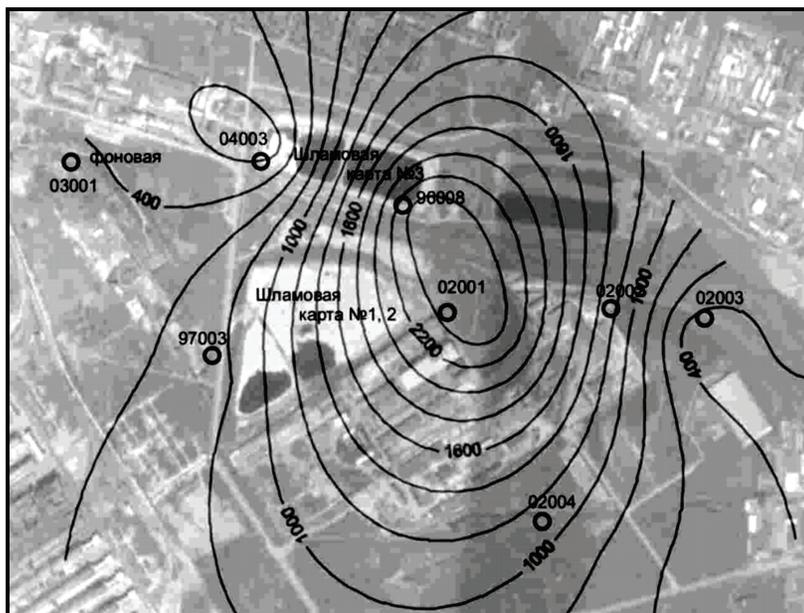
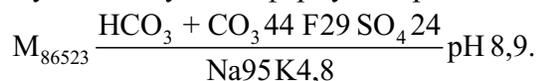


Рис. Распространение сульфатов в подземных водах в районе шламовых полей.  
Числа в разрывах изолиний — концентрации сульфатов, мг/дм<sup>3</sup>

Результаты мониторинга рассматривались в составе двух пространственно-функциональных выборок, которые мы назвали группами. *Первая группа* объединяет четыре скважины, расположенные по периферии шламовых карт на расстояниях до 100 м от их дамб. Во *вторую группу* входят три скважины, находящиеся на конечных пунктах профилей в 400—600 м к югу и юго-западу от шламовых полей (рис.).

Загрязнение водной среды формируется в результате взаимодействия шлама с технической водой системы шлагоудаления. Ведущее влияние на формирование химического состава водной среды оказывают содержащиеся в шламе десятиводный сульфат натрия и криолит [4]. Растворимость десятиводного сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  очень велика —  $1500 \text{ г/дм}^3$ , поэтому сульфаты и натрий являются типичными компонентами, загрязняющих водную среду в районах алюминиевого производства. Вторым экологически важным минеральным соединением отходов является криолит  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$  (растворимость  $0,42 \text{ г/дм}^3$ ), при растворении которого до насыщения в воде возникают опасные концентрации фтора (около 180 питьевой ПДК). Шламовые воды представляют высококонцентрированный технический раствор, химический состав которого не имеет природных аналогов и характеризуется следующей формулой среднего солевого состава:



Средняя величина минерализации водной среды в отстойнике (86,5 г/л) в 2,5 раза превосходит среднюю минерализацию морской воды (35 г/л). Кроме сульфатов и фторидов в воде шламовых карт присутствуют другие компоненты в очень высоких концентрациях (табл. 2). Следует отметить, что, несмотря на высокие содержания нормируемых элементов, шламовые воды неправомерно рассматривать как загрязненные, пока они находятся внутри гидротехнических сооружений шламовых полей. Только при попадании шламовых вод в природные водные объекты создаются условия для возникновения их химического загрязнения.

Таблица 2

**Средний химический состав водной среды отстойников шламовых полей, мг/дм<sup>3</sup>**

Компоненты	Концентрация	Компоненты	Концентрация	Компоненты	Концентрация
$\text{Na}^+$	37 600	V	59	Mo	6,7
$\text{HCO}_3^-$	29 360	B	47	$\text{Mg}^{2+}$	5,4
$\text{SO}_4^{2-}$	16 600	Ti	22,3	Ni	5,2
$\text{F}^-$	7 980	$\text{NH}_4^+$	22	Pb	2,6
$\text{CO}_3^{2-}$	4 520	Ba	16,7	$\text{SiO}_2$	1
$\text{K}^+$	2 350	$\text{Ca}^{2+}$	9,7	Ag	0,7
Cl <sup>-</sup>	1 240	$\text{Fe}_{\text{общ}}$	9,4	Cr	0,6
$\text{ХПК}_{\text{Mn}}^*$	198	Li	8,9	Cu	0,4
P	60	$\text{Al}^{3+}$	8,5	$\text{NO}_2^-$	0,1

\*  $\text{ХПК}_{\text{Mn}}$  — перманганатная окисляемость

Шламовые карты, как и все подобные гидротехнические сооружения, не являются полностью гидравлически изолированными от природных водных объектов, поэтому из них происходят фильтрационные утечки загрязненных технических вод в подстилающие природные водоносные горизонты. В 2000 г., по оценкам кафедры инженерной экологии Красноярского технического университета, фильтрационные потери составляли около 3000 м<sup>3</sup>/сут. При этом в конце 1990-х гг. минерализация подземных вод у западной части шламовых карт достигала 50 г/дм<sup>3</sup>.

В настоящее время на этом же участке максимальная минерализация достигает 9—12 г/л, что говорит об эффективности природоохранных мероприятий по снижению фильтрации. В зоне сильного воздействия (до 100 м от дамб) в загрязнении подземных вод участвуют сульфаты, органические вещества, сумма минеральных веществ, фториды, железо, аммоний и медь. Из них непосредственно связаны с фильтрацией из шламовых полей SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, F<sup>-</sup>, минерализация, а остальные компоненты имеют другие источники происхождения. Распространение загрязненных вод в поровом пространстве аллювиального горизонта по мере их удаления от дамб шламовых карт сопровождается снижением концентраций нормируемых компонентов и минерализации за счет сорбции водоносными породами. На расстоянии 500 м от дамб концентрации большинства элементов снижаются до значений местного природного фона, при этом они достигают соответствия питьевым нормативам. Исключение представляет фтор, обладающий в щелочной среде высокой миграционной активностью и поэтому распространяющийся на более далекие расстояния (табл. 3). Границы гидрогеохимического ореола распространения фторидов пока не установлены.

Таблица 3

**Средние концентрации некоторых компонентов группы экологического контроля в подземных водах, мг/дм<sup>3</sup>**

Компоненты	ПДК питьевой воды [3]	Фон подземных вод [5]	Фоновая скважина	Группа 1 (100 м от дамб)	Группа 2 (400—600 м от дамб)
Cl <sup>-</sup>	350	59,7	213	161	47
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	500	70,7	460	4 297	450
Минерализация	1 000	469	535	4 520	910
ХПК <sub>Мп</sub>	5	8,8	2,9	13,8	3,9
Fe <sub>общ</sub>	0,3	0,48	0,04	0,16	0,04
Al <sup>3+</sup>	0,2	0,226	0,04	0,03	0,01
F <sup>-</sup>	1,5	0,48	2,75	13,3	6,31

Оценка расхода утечек из гидротехнических сооружений шламовых полей была выполнена гидрохимическим методом по известному уравнению, описывающему механическое смешение двух потоков [2]. Расчеты гидрохимическим методом показывают, что среднегодовой расход фильтрационных утечек равен 160 м<sup>3</sup>/сут. В целом расчетная величина утечек за 2007 год говорит об их значительном снижении в последние годы, что подтверждает эффективность природоохранных мероприятий, направленных на снижение фильтрации.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Головных Н.В., Мартынихин В.В., Полонский С.Б. Переработка твердых отходов алюминиевого производства // *Металлургия и машиностроение*. — 2006. — № 3. — С. 9—12
- [2] Воробьев А.Е., Дьяченко В.В., Вильчинская О.В., Корчагина А.В. Основы природопользования: экологические, экономические и правовые аспекты. — Ростов н/Д: Феникс; Высшее образование, 2006.
- [3] СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. — Госкомсанэпиднадзор России. — 2001.
- [4] Учанов С.В. Технические аспекты экологической безопасности алюминиевого производства на современном этапе. Компания «РУСАЛ». Братский алюминиевый завод, Братск. — 2006 [Электронный ресурс]: Интернет, режим доступа: <https://sdo.rusal.ru/Lists/List5/Attachments/67/Uchnov.doc>
- [5] Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. — М.: Недра, 1998.
- [6] Экология промышленного производства / Алборов И.Д., Цгоев Т.Ф., Воробьев А.Е., Котенко Е.А. — Владикавказ, 1996.
- [7] Горное дело и окружающая среда. Часть 1 / Бабков-Эстеркин В.И., Батугин А.С., Воробьев А.Е., Куликова Е.Ю., Шилов А.А. — М.: МГГУ, 1997.
- [8] Горное дело и окружающая среда. Часть 3 / Бабков-Эстеркин В.И., Батугин А.С., Воробьев А.Е., Куликова Е.Ю., Шилов А.А. — М.: МГГУ, 1999.

## THE INFLUENCE OF SOLID WASTES OF PRIMARY ALUMINIUM PRODUCTION ON THE GROUND WATER QUALITY

**A.Yu. Ozerskiy**

Joint Stock Company «Center for Environmental Assessment and Monitoring (MONITEC)»  
*Carl Marx Street, 62, Krasnoyarsk, Russia, 660049*

**G.F. Botvich**

Joint Stock Company «RUSAL Krasnoyarsk»  
*Prospekt Pogranichnikov, 40, Krasnoyarsk, Russia, 660110*

There are characterized the chemical properties of solid wastes, slime waters, and ground waters, polluted by leakage from slime fields. There were calculated the leakage discharge. The effectiveness of environmental measures carried out by JSC «RUSAL Krasnoyarsk» are shown.



**Озерский А.Ю.**, кандидат геолого-минералогических наук, директор ЗАО «Центр экологических обоснований и мониторинга (МОНИТЭК)», начальник Геоэкологической партии ОАО «Красноярскгеология», награжден нагрудным знаком Министерства природных ресурсов «Отличник разведки недр», автор более 100 публикаций по гидрогеологии, геохимии, экологии



**Ботвич Г.Ф.**, инженер-металлург, инженер-эколог, начальник отдела экологии ОАО «РУСАЛ Красноярск», квалифицированный специалист в области охраны окружающей среды в алюминиевой промышленности