

### *Литература:*

1. **Фаткуллин Р.А.** Природные ресурсы Республики Башкортостан и рациональное их использование. Уфа: Китап, 1996. 176 с.
2. **Хазиев Ф.Х.** Почвы Республики Башкортостан и регулирование их плодородия. Уфа: Гилем, 2007. 288 с.
3. **Рождественский А.П.** Новейшая тектоника и развитие рельефа Южного Приуралья. М.: Наука, 1971. 285 с.

## **ГИДРОКСИДНОЖЕЛЕЗИСТЫЕ ХИМИКО-БАКТЕРИАЛЬНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ В ОБЛАСТЯХ СТОКА РУДНИЧНЫХ ВОД**

*Г.Т. Шафигуллина<sup>1</sup>, В.Н. Удачин<sup>2</sup>, П.Г. Аминов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт геологии УНЦ РАН, Уфа, [shafigullina\\_g@mail.ru](mailto:shafigullina_g@mail.ru)

<sup>2</sup> Институт минералогии УрО РАН, Миасс, [udachin@ilmeny.ac.ru](mailto:udachin@ilmeny.ac.ru)

В процессе отработки колчеданных месторождений Южного Урала образуется большое количество техногенных подотвальных вод и вод, связанных с рудничным водоотливом. Первоначальные потоки имеют, обычно, рН на уровне 3,8–4,2 и высокие содержания растворенных форм тяжелых металлов халькофильной группы. В участках гидролиза (встреча кислых рудничных вод с нейтральными природными водами) на щелочном геохимическом барьере образуется хлопьевидная взвесь бурого цвета, которая медленно осаждается, формируя осадки различной мощности на дне водоемов. Нами изучены два участка гидролиза техногенных вод — в Учалинской геотехнической системе (ГТС, отводной канал в пруд-отстойник Буйда) и в Сибайской ГТС (пруд Строителей).

В Учалинской ГТС после смешения кислых подотвальных вод со щелочными водами хвостохранилища в отводном канале за несколько десятилетий образовались два типа разного по составу и цвету техногенных илистых осадков мощностью до 30 см (разрез 150, сверху вниз): бурые гидроксидно-железистые и черные суспензированные илы.

В верхней части разреза (проба 150/1) выделены илы гидроксидно-железистого состава мощностью от 0 до 3 см увенчанные водонасыщенным горизонтом. На поверхности водонасыщенного горизонта наблюдаются белые хлопьевидные «следы», вероятно гипса и кальцита. Далее вниз по разрезу (проба 150/2, мощность 3 см) среди бурых гидроксидно-железистых илов появляются маломощные линзы чёрного и индигово-чёрного цвета с характерным запахом органики. Дифрактограмма пробы UC(sd)150/2 (рис. 1) показывает, что среди железистого ила находятся минеральные фазы новообразованных аутигенных минералов — гипса и кальцита. Гипсу соответствуют базальные отражения с  $d/n$  от 7,62 до 1,62 Å. Кальциту отвечают слабые по интенсивности пики, соответствующие диапазону межплоскостных расстояний с  $d/n$  от 3,85 до 1,60 Å. Необходимое условие образования карбонатов — повышенная щелочность и присутствие в воде достаточного количества ионов  $Ca^{2+}$  и  $CO_3^{2-}$ . Известно, что поведение карбонат-иона сильно зависит от величины рН. Высокие значения рН способствуют его осаждению в виде кальцита. Другие факторы (температура, колебание давления  $CO_2$  в атмосфере и т.д.) либо второстепенны, либо малозначимы. Изменение величины окислительно-восстановительного потенциала вообще не препятствует образованию кальцита [1].

Железосодержащие фазы, присутствующие в интервале 0–6 см колонки, не идентифицируются по причине рентгеноаморфности. Считается, что базальное отражение, соответству-

ющее  $d/n$  2,598 Å отвечает всей группе оксидно-гидроксидных соединений железа. Детальное исследование спектров ядерной гамма-резонансной спектроскопии позволило надежно идентифицировать основную фазу в гидроксидно-железистых прослоях — ферригидрит. В целом отмечена очень высокая изменчивость содержаний железа в слоях, чередующихся через 3–5 см. Содержания изменяются от 3 до 7%.

В интервале от 6 до 9 см (UC(sd)150/3) преобладают черные суспензированные илы. По данным рентгенофазового анализа основные фазы представлены также кальцитом и гипсом. В дифрактограмме этой части разреза интенсивность пиков гипса незначительна, что свидетельствует о малом количестве этой новообразованной фазы в черных илах. Нижние части колонки (9–30 см) состоят из железистого ила с относительно крупными линзами, блоками сложной форм и прослоями черных илов.

Максимумы концентраций металлов (Fe, Cu, Zn, Co, Cd) приурочены к нижней части разреза. При снижении pH на 2 единицы (вариант аварийных сбросов кислых подотвальных вод) возможен «ураганный» выход тяжелых металлов извлекаемых из осадка в водную среду, поскольку подавляющая часть Cu, Zn, Pb и Cd адсорбированы на поверхности ферригидрита и связаны слабыми связями с матрицей. Процессы изменения физико-химических условий в осадках хорошо иллюстрируются изменениями pH–Eh среды. Сугубо восстановительная обстановка с высоким pH (9,70) и низким окислительно-восстановительным потенциалом (–22 mV) в верхних частях разреза сменяется на близонейтральную в нижней части разреза (pH 7,81). Отрицательный окислительно-восстановительный потенциал свидетельствует об отсутствии в разрезе кислорода. Общий цветовой фон разреза донных отложений отводного канала — бурый, обусловленный наличием больших количеств гидроксидов железа, образованных на геохимическом (щелочном) барьере при выносе железа нисходящими потоками.

проба: UC150/2, диапазон: 5°–65°, шаг: 0.02°, анод: Cu (1/54178)

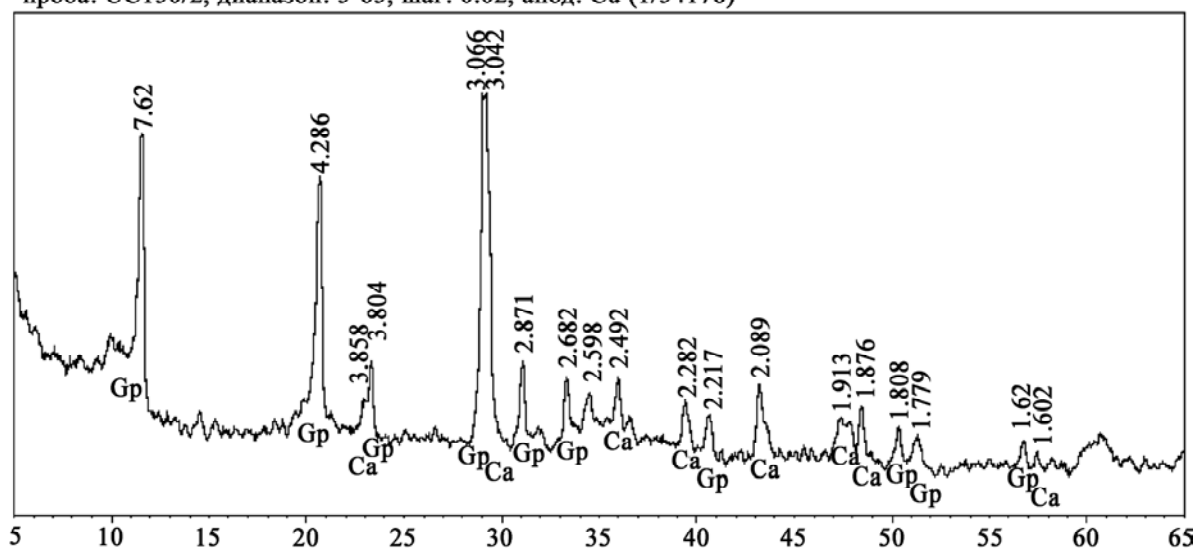


Рис. 1. Дифрактограмма гидроксидно-железистых илов для пробы UC(sd)150/2

Новообразования, как показано выше, представлены гипсом и кальцитом, которые отмечаются почти по всему разрезу. Образование гипса в техногенных водоемах донных отложений происходит при взаимодействии  $SO_4^{2-}$  с карбонатом кальция. Источником серы являются кислые подотвальные и щелочные воды обводного канала хвостохранилища, а источником кальция, главным образом, известь станции нейтрализации. Таким образом, осаждение карбоната кальция, главным образом кальцита, зависит от увеличения pH.

В Сибайской ГТС мощность гидроксидножелезистых осадков составляет 70 см. Ниже залегают торфоподобные высокогумусированные осадки дна палеоводоема. Рентгенофазо-

вый анализ свидетельствует о преобладании кварц-полевошпат-хлоритовой минеральной ассоциации (минеральный детрит в составе рудничного водоотлива) с примесью аутигенного гипса до глубины 52 см. Ниже аутигенный гипс до глубины 90 см является преобладающей минеральной новообразованной фазой.

Основная форма гидроксидов железа — ферригидрит. Химический состав техногенных илов отражен в таблице 1 и характеризуется увеличением содержаний всех халькофильных элементов в интервале от 40 до 68 см, что соответствует наиболее ранним этапам рудничного водоотлива в Сибее. Электронно-микроскопические исследования свидетельствуют об образовании основной массы ферригидрита в техногенных осадках за счет участия в процессах окисления железобактерий *Gallionella*.

Таблица 1

Содержание основных металлов в гидроксидножелезистых осадках пруда Строителей (г. Сибай), мг/кг

Глубина, см	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
5–10	253	3776	1550	27	38	452	38
10–14	297	7700	2875	27	47	566	50
14–18	247	8750	2275	31	56	570	49
18–22	285	9050	2225	27	55	412	45
22–27	254	8814	2078	32	54	478	61
32–38	320	6550	2150	29	48	480	48
38–40	443	4375	2725	30	52	379	35
40–48	245	9300	4025	34	58	586	71
60–68	560	13925	3400	83	102	815	95
90–100	1475	562	1250	42	32	197	9

Авторы благодарят Г.Ф. Лонцакову, Л.Г. Удачину, М.Н. Маляренко за выполнение химических анализов.

Исследования выполнены при финансовом содействии РФФИ (грант № 10-05-90743-моб\_ст).

#### Литература:

1. Термодинамика геохимических процессов: Сб. статей: Пер. с англ. и нем. / Под ред. и с предисл. В.В. Щербины. М.: ИЛ, 1960. 270 с.