

## **ПРОЯВЛЕНИЕ СУЛЬФИДОГЕНЕЗА В ТАЕЖНЫХ ЛАНДШАФТАХ ЗАПАДНОГО ПРИКАМЬЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ГАЛОГЕНЕЗА**

*Е.А. Хайрулина*

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета (ЕНИ ПГНИУ), Пермь, Россия, elenakhay@gmail.com

## **SULFIDOGENESIS IN TAIGA LANDSCAPES OF WEST PREURALS UNDER TECHNOGENIC HALOGENESIS**

*E.A. Khayrulina*

Institute of Natural Science of Perm State National Research University (NSI PSU), Perm, Russia, elenakhay@gmail.com

На примере южнотаежных ландшафтов на территории разрабатываемого Верхнекамского калийно-магниевого месторождения рассмотрены процессы сульфидогенеза в донных отложениях и гидроморфных почвах. Основной причиной образования сульфидов в долинах рек является техногенный галогенез, в результате которого формируются поверхностные и подземные воды обогащенные сульфатами.

Sulfidogenesis in sediments and hydromorphic soils are considered on the example of the southern taiga landscapes in the territory of Verkhnekamskoye potassium and magnesium deposit. The main reason for the sulfide formation in the river valleys is a technogenic halogenesis, which resulted in the forming surface and ground waters rich in sulfates.

Ключевые слова: сульфидогенез, техногенный галогенез, Верхнекамское калийно-магниевое месторождение, таежные ландшафты

Key words: sulfidogenesis, technogenic halogenesis, Verhnekamskoye Potash Deposit, taiga landscape

Сульфидогенез – процессы восстановления серы сульфатов до сероводорода и образования сульфидов – широко распространен в солоноватых и соленых озерах и солончаково-болотных почвах [6]. В почвах данный процесс активизируется при поступлении сульфатных подземных вод к поверхности. С активным участием сульфатредуцирующих бактерий происходит образование сульфидов. При взаимодействии сульфидов с углекислотой, выделяющейся при разложении органических остатков, образуются углекислые соли и сероводород. Данные процессы чаще всего встречаются в аридных экосистемах [1, 6-8] и сопровождаются современными процессами галогенеза.

Техногенная деятельность человека нарушает зональные особенности развития ландшафтно-геохимических процессов и сульфидогенез встречается в автоморфных и гидроморфных почвах таежных ландшафтов. Формирование сероводородной обстановки в гумидных ландшафтах описано Солнцева Н.П. [12] в связи с поступлением высокоминерализованных вод в результате нефтедобычи, тем не менее при разработке месторождений солей этот вопрос мало изучен. Техногенный галогенез на разрабатываемых месторождениях солей отличается большей интенсивностью проявления и геохимической спецификой техногенных потоков, которые в свою очередь могут активизировать процессы сульфидогенеза.

Развитие сульфидогенеза в гидроморфных почвах южнотаежных ландшафтах западного Прикамья были рассмотрены на территории крупнейшего в России разрабатываемого месторождения солей – Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС) (Пермский край).

Формирование месторождения в Предуральском краевом прогибе произошло в ранней перми и связано с галогенными осадками лагунного типа. Промышленное освоение месторождения началось в 30-е годы XX века. Месторождение относится к хлоридному типу. Геологические запасы представлены карналитовой породой, сильвинитами и каменной солью. Добытая руда обогащается флотационными и галургическими способами на обогатительных

фабриках рудоуправлений. Калийно-магниевые соли обогащены до промышленных значений бромом и оксидом рубидия. Многие микроэлементы входят в состав калийных руд и каменной соли в составе водорастворимых соединений – хлоридов, что обеспечивает их активную миграцию в водных растворах.

Калийное производство, как и другие виды горнодобывающей деятельности, сопровождается накоплением значительного количества отходов разного фазового состава (шламохранилище, солеотвал, рассолосборники). До 70% всей добытой руды уходит в отвал либо используется в качестве закладочного материала [11]. В результате извлечения на поверхность калийных пород на территории Верхнекамского месторождения накоплено более 270 млн. т. галитовых отходов и более 30 млн. м<sup>3</sup> глинисто-солевых шламов [2], которые являются постоянным источником техногенных потоков в окружающую среду. Галитовые отходы и глинисто-солевые шламы состоят в основном из хлоридов Na и K. В результате различных технологических процессов обогащения в отходах концентрируются и достигают высоких концентраций Ba, Fe, Cd, Co, Mn, Cu, Ni, Rb, Sr, Cr, Zn, Br [3].

Атмосферные осадки фильтруются сквозь тело солеотвала и шламохранилища, формируют техногенные хлоридно-натриевые стоки с минерализацией от 11 г/л до 300 г/л и нейтральным рН. Стоки с отвалов и шламохранилищ без очистки поступают в поверхностные и подземные воды, вызывая наибольшую трансформацию химического состава приповерхностной гидросферы на значительной территории и смену гидрокарбонатно-кальциевого типа вод на хлоридно-натриевый. На пути поверхностного стока с объектов хвостового хозяйства предприятий и в местах близкого залегания техногенных подземных вод формируются очаги засоления почвенного покрова [9,10].

Исследования были выполнены в долине р. Ленва. Геохимическая обстановка этой долины формируется в результате поступления сточных вод с поверхностным стоком от шламохранилищ и солеотвала двух калийных предприятий и техногенных высокоминерализованных подземных вод, которые разгружаются в долине реки.

В долине р. Ленва представлены отложения четвертичной (аллювиально-делювиальными песками мелкими, суглинками, элювиально-делювиальными глинами дресвяными, элювиальными дресвяно-щебенистыми грунтами) и пермской системами (приуральского отдела уфимского яруса (P<sub>1</sub> u) - переслаивающимися алевролитами и песчаниками). Подземные воды залегают на глубинах 0,0-3,1м, приурочены к четвертичным отложениям поймы. Представлены двумя типами вод: гидрокарбонатно-кальциевые, пресные с минерализацией 0,23-0,50 г/л и соленые, хлоридно-натриевые с минерализацией до 22,1 г/л. Зональный почвенный покров представлен дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами, в долине реки развиты смыто-намыто долинно-приречные и аллювиальные дерновые заболоченные почвы.

Химический анализ включал проведение общего анализа поверхностных и подземных вод и водной вытяжки почв, донных отложений методом капиллярного электрофореза на приборе КАПЕЛЬ-105. Выполнение минералогического анализа почв и донных отложений осуществлялось Б.М.Осовецким и Г.А.Исаевой (сектор наноминералогии ПГНИУ). Проводилось отмучивание образцов, частицы глинистой фракции менее 0,01 мм были удалены. Минералогический анализ выполнялся с использованием бинокулярного микроскопа Nikon 104 (Япония).

В результате техногенной деятельности в долине р. Ленва сформировались специфические солончаковые ландшафты (табл. 1). Минерализация р. Ленвы изменяется на своем протяжении от 6 г/л до 15 г/л. Более половины от общей минерализации составляют хлориды. В почвах содержание хлоридов достигает максимального значения (свыше 160 г/л) в местах близкого залегания подземных вод, что свидетельствует о развитии процессов техногенного галогенеза, содержание сульфатов в верхнем почвенном горизонте достигает 7 г/л.

В местах близкого залегания подземных вод сформировались пятна охристого цвета с отсутствием растительного покрова. Протяженность данных проявлений в долине р. Ленвы составляет более 3 км (рис. 1). Под маломощным горизонтом (2-3 см) охристого цвета залегают черная гелеобразная масса с характерным запахом сероводорода. Донные отложения характеризуются той же структурой. На незначительной глубине ниже горизонта охристого

цвета формируются массы, обогащенные сероводородом; в наиболее глубоких участках реки донные отложения характеризуются только сероводородной обстановкой.

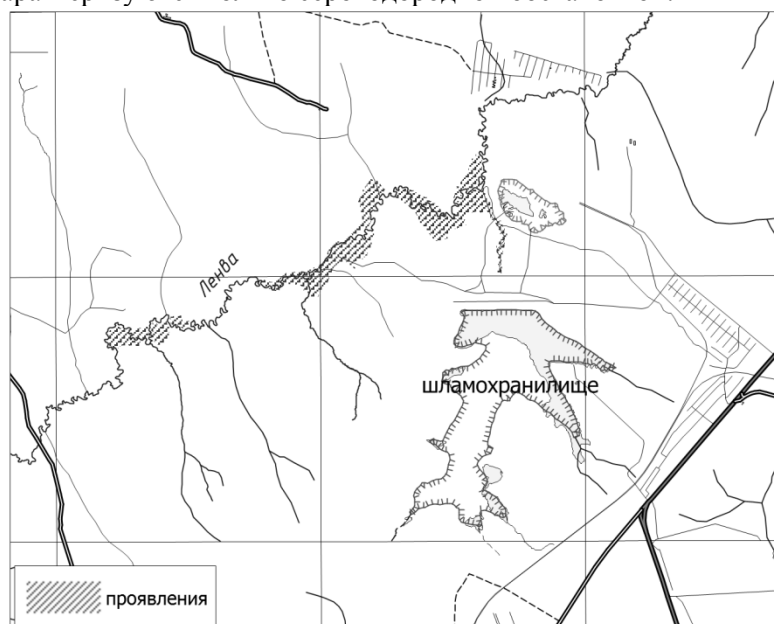


Рис. 1. Распространение процессов сульфидогенеза в долине р. Ленва

Анализ содержания сероводорода в донных отложениях и в почвах в местах площадной разгрузки высокоминерализованных подземных вод в долине р. Лёнва показал увеличение концентрации сероводорода до 23,1 мг/кг (табл. 1). Значение показателя Eh изменяется от -198 до -249, что свидетельствует о развитии резко восстановительных условий.

Таблица 1. Химический состав поверхностных вод, почв и донных отложений в долине р. Ленва

		H <sub>2</sub> S	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
Поверхностные воды (n=5), мг/л									
	среднее	-*	112,2	111,8	6551,2	1003,0	287,8	1834,4	651,2
	max	-	162,0	175,0	8972,0	1260,0	337,0	3370,0	1229,0
Донные отложения (n=3), мг/кг									
	среднее	8,84	142,3	878,1	16239,5	2173,5	404,4	6255,6	2271,9
	max	23,10	183,0	1245,0	33617,5	4380,0	861,3	13222,5	3458,8
Почвы (n=4), мг/кг									
0-5 см	среднее	3,05	183,0	3620,0	98624,3	22228,5	5121,3	31235,1	54,5
	max	8,30	289,8	6855,0	162140,0	38250,0	9540,0	45400,0	163,5
5-20 см	среднее	9,43	118,2	791,8	34965,6	6212,2	1386,3	12844,6	413,5
	max	17,00	152,5	1715,0	101860,0	18695,0	4145,0	36970,0	1654,0

\*- не определялось

Высокое содержание сульфатов в поверхностных и подземных водах, формирование сульфидной обстановки под воздействие микробиологической деятельности способствует образованию в почвах и донных отложениях сульфида железа. Характер минералогического состава (табл.2) свидетельствует о преобладании минералов железа. Источником железа в почвах выступают обогащенные железом почвообразующие породы [4, 5].

Вероятней всего в гидроморфных почвах происходит формирование гидротроилитового горизонта ниже окислительного. В природных условиях гидротроилит – водный сульфид железа – образуется в сульфатных водоёмах степной и пустынной зон [9], где развивается десульфуризация и продуцируется H<sub>2</sub>S. Мощность данного горизонта на территории исследования изменяется от 5 до 30 см и представляет собой черную гелеобразную массу с характерным запахом сероводорода.

Таблица 2. Содержание некоторых минералов в почвах и донных отложения в долине р. Ленва, (%)

№ пробы	Кварц	Ожелез. древесина	Железист образования	Гидрогетит	Гематит	Оксиды Mn	Другие минералы
Донные отложения (n=3)							
5	78,6	-	3	-	-	-	18,4
7	73,4	2	-	10	2	-	12,6
10	73,6	-	-	-	-	-	26,4
Почвы (n=4)							
0-5 см	4.1	0,1	10	84,9	-	-	5,0
	6.1	2,5	86,8	6	-	-	4,7
	8.1	1	20	73,9	-	-	5,1
	11.1	0,5	30	-	68,2	-	1,3
5-20 см	4.2	57,6	9	25	-	-	8,4
	6.2	78,2	3	8	-	0,3	10,5
	8.2	5	5	-	84,8	-	5,2

- не обнаружены

Техногенные потоки вещества, образующиеся в результате разработки месторождения калийных солей, являются причиной развития современного галогенеза в гумидных ландшафтах. Высокое содержание в поверхностных и подземных водах сульфатов и микробиологическая деятельность активизируют процессы сульфидогенеза в гидроморфных почвах и донных отложениях.

#### Литература

1. Salama R.B., Otto C.J., Fitzpatrick R.W. Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization // *Hydrogeology Journal*. 1999. №7. P. 46-64.
2. Бачурин Б.А. Технологическая экогеохимия горного производства // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)* – 2006. – № 8. – С. 148-153.
3. Бачурин Б.А., Бабошко А.Ю. Эколого-геохимическая характеристика отходов калийного производства // *Горный журнал* – 2008. – № 10. – С. 88-91.
4. Водяницкий Ю.Н., Васильев А.А., Кожева А.В., Сатаев Э.Ф. Особенности поведения железа в дерново-подзолистых и аллювиальных оглеенных почвах Среднего Предуралья // *Почвоведение*. 2006. №4. С. 396-409.
5. Ворончихина Е.А. Оценка роли таежных почв как регуляторов содержания железа и марганца в поверхностных водах бассейна Камы // *Экология и биология почв*. Ростов-на-Дону, 2004. С.51-54.
6. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов. М.: Географический факультет МГУ, 2007. 350 с.
7. Касимов И.С., Геннадиев А.Н., Лычагин М.Ю., Крооненберг С.Б., Кучеряева В.В. Геохимические изменения прибрежных почв центрального Дагестана при подъеме уровня Каспийского моря. // *Почвоведение*. № 1. 2000. С.16-27.
8. Касимов, Николай Сергеевич. Геохимия степных и пустынных ландшафтов [Текст] / Н. С. Касимов. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 253 с.
9. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Основы мониторинга окружающей среды при разработке месторождения калийных солей // *Инженерные изыскания* – 2012. - №8. – С. 20-30.
10. Максимович Н.Г., Первова М.С. Влияние перетоков минерализованных вод Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей на приповерхностную гидросферу // *Инженерные изыскания*. – 2012. – № 1. – С. 22-28.
11. Сандаков В.Т. Основные результаты экологической политики в ОАО «Сильвинит» // *Горный журнал*. – 2008. – № 10. – С 96-97.
12. Солнцева Н.П., Садов А.П. Техногенный галогенез в районах добычи углеводородного сырья и эволюция солевых ореолов // *География, общество, окружающая среда*. Том IV: Природно-антропогенные процессы и экологический риск / под ред. Проф. С.М. Малхазовой и проф. Р.С. Чалова. М.: «Издательский Дом «Городец», 2004. – С. 427-447.