

РАЗВИТИЕ СЕРОВОДОРОДНОЙ ОБСТАНОВКИ В ТАЁЖНЫХ ЛАНДШАФТАХ ВЕРХНЕГО ПРИКАМЬЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ГАЛОГЕНЕЗА

Е. А. Хайрулина, Н. Г. Максимович

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета,
ул. Генкеля 4, 614990 Пермь, Российская Федерация; elenakhay@gmail.com

Процессы восстановления S сульфатов до H_2S и образования сульфидов – сульфидогенез – широко распространены в донных отложениях солоноватых и солёных озерах и солончаково-болотных почвах. В почвах данный процесс активизируется при поступлении обогащённых сульфатами 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 H_2S . Данные процессы чаще всего встречаются в аридных экосистемах и сопровождаются современными процессами галогенеза.

В результате техногенной деятельности процессы сульфидогенеза могут встречаться в автоморфных и гидроморфных почвах таёжных ландшафтов. Формирование сероводородной обстановки в южнотаёжных ландшафтах Пермского края описано Н. П. Солнцевой и др. [1] в связи с поступлением высокоминерализованных вод в результате нефтедобычи.

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 сероводородной обстановки в гидроморфных почвах южнотаёжных ландшафтах Верхнего 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. Геологические запасы представлены карналитовой породой, сильвинитами и каменной солью. Перекрывающими и вмещающими являются сульфатные и карбонатные породы. Месторождение относится к хлоридному типу. Содержание KCl в руде 18–34 %, $MgCl_2$ 20–25 %. Калийно-магниевые соли обогащены до промышленных значений Вг и оксидом Rb.

Площадь месторождения составляет 6,5 тыс. км². Промышленное освоение месторождения началось в 1930-е гг. Добытая руда обогащается флотационным способом на обогатительных фабриках.

В процессе разработки месторождения на поверхности складированы огромные объёмы вмещающих пород и отходы калийного производства разного фазового состава. До 70 % всей добытой руды поступает в шламохранилища, солеотвалы и рассолосборники. Твёрдые галитовые отходы поступают в солеотвалы. В их составе содержание NaCl составляет более 90 %. Глинистый материал, вещество нерастворимого остатка в виде глинисто-солевого шлама и избыточные рассолы поступают в шламохранилище. Глинисто-солевые шламы состоят из водорастворимых солей и нерастворимого глинистого осадка.

Атмосферные осадки и рассолы фильтруются сквозь тело солеотвала и шламохранилища, формируют техногенные хлоридно-натриевые фильтрационные стоки с минерализацией до 300 г/л и нейтральным pH. Фильтрационные стоки с отвалов и шламохранилищ поступают в подземные воды, определяя трансформацию химического состава приповерхностной гидросферы на значительной территории: смену гидрокарбонатно-кальциевого типа поверхностных и подземных вод на хлоридно-натриевый. В районах расположения объектов хвостового хозяйства калийных предприятий и в местах близкого залегания высокоминерализованных подземных вод формируются очаги засоления почвенного покрова [2].

Исследование формирования сероводородной обстановки в почвах и донных отложениях в условиях техногенного галогенеза были выполнены в долине р. Ленва, являющейся притоком р. Камы (Камского водохранилища). Эколого-геохимическая обстановка этой долины определяется поступлением фильтрационных сточных вод от шламохранилищ и солеотвала двух калийных предприятий.

Засоленные воды разгружаются субаквально в русло реки и в виде восходящих родников, в том числе и на противоположном берегу реки. Это обусловлено тем, что борт долины реки, где расположено шламохранилище, сложен глинистыми породами, затрудняющими разгрузку.

В долине р. Ленва представлены отложения четвертичной (аллювиально-делювиальными песками мелкими, суглинками, элювиально-делювиальными глинами дресвяными, элювиальными дресвяно-щебёнистыми грунтами) и пермской системой (переслаивающимися алевролитами и песчаниками). Подземные воды залегают на глубинах 0,0–3,0 м, приурочены в основном к четвертичным отложениям поймы. До техногенного воздействия подземные и поверхностные воды соответствовали типу гидрокарбонатно-кальциевые, пресные с минерализацией 0,23–0,50 г/л. Зональный почвенный покров представлен дерново-подзолистыми и подзолистыми почвами, в долине реки развиты смыто-намыто-долинно-приречные и аллювиальные дерновые заболоченные почвы.

Отбор проб донных отложений производился в пунктах гидрохимического наблюдения. Почвенные образцы отбирались в местах развития сероводородной обстановки по горизонтам. Определение анионно-

катионного состава выполнено методом капиллярного электрофореза. Выполнение минерального анализа почв и донных отложений осуществлялось в секторе наноминералогии ПГНИУ. Содержания H_2S в почвах и донных отложениях определялось титриметрическим методом.

В результате поступления высокоминерализованных поверхностных и подземных вод в долине р. Ленвы сформировались специфические солончаковые ландшафты. Минерализация вод р. Ленвы изменяется на своём протяжении от 3 г/л до 18 г/л. Более половины от общей минерализации составляют хлориды. В водной вытяжке донных отложениях также преобладают хлориды с максимальным содержанием 33 г/кг. Максимальные значения Na 13 г/кг, K 3,4 г/кг, pH 7,2. Превышения над фоновыми значениями составляют для Na^+ 137 раз, Cl^- – 131, K^+ – 130, SO_4^{2-} – 79. В подземных и поверхностных водах в районе шламохранилища наблюдаются повышенные концентрации соединений N , что может способствовать активизации микробиологических процессов.

В почвах максимальные значения содержание Cl^- (свыше 160 г/л) приурочены к местам близкого залегания высокоминерализованных подземных вод, что свидетельствует о развитии процессов техногенного галогенеза. Наряду с высоким содержанием хлоридов содержание сульфатов в верхнем почвенном горизонте достигает 7 г/л. Коэффициент корреляции (r) между содержанием SO_4^{2-} и Cl^- в почвах составляет +0,86.

В местах близкого залегания подземных вод на поверхности почвенного покрова сформировались пятна охристого цвета с отсутствием растительного покрова. Протяжённость данных проявлений в долине р. Ленвы составляет более 3 км. Под маломощным горизонтом мощностью 3–5 см охристого цвета залегает чёрная гелеобразная масса с характерным запахом H_2S . Мощность сероводородного горизонта составляет от 5 до 30 см. В нём встречаются слаборазложившиеся растительные остатки.

Анализ содержания H_2S в почвах в местах площадной разгрузки высокоминерализованных подземных вод в долине р. Лёнва показал увеличение концентрации H_2S до 17,00 мг/кг. Значение показателя Eh изменяется от -198 до -249, что свидетельствует о развитии резко восстановительных условий. В донных отложениях содержание H_2S достигает значения 23 мг/кг. Наши наблюдения в течение 2013–2016 гг. показали, что данный горизонт крайне неустойчивый. Его мощность меняется в зависимости от количества осадков в период исследования и уровня подземных вод.

Нижележащий горизонт представлен глеевой обстановкой. Низкое содержание органики на глубине 40–80 см ограничивает развитие сульфатредуцирующих бактерий и сероводородная обстановка не формируется.

Микробиологическая деятельность способствует образованию в почвах и донных отложениях сульфида Fe . Анализ минерального состава показал, что содержание железистых образований достигает 80 % от нерастворимой части пробы, что свидетельствует о преобладании минералов Fe . Источником Fe в почвах выступают обогащенные им почвообразующие породы и техногенные стоки.

Вероятней всего в гидроморфных почвах ниже окислительного барьера происходит формирование гидротроилитового горизонта. В природных условиях гидротроилит – водный сульфид Fe образуется в сульфатных водоёмах степной и пустынной зон [3], где развивается десульфуризация и продуцируется H_2S .

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, соединений N и Fe в минералах почв и горных пород, микробиологическая деятельность активизируют процессы сульфидогенеза в верхних горизонтах гидроморфных почв и донных отложений.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-05-07461.

1. 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.

2. Хайрулина Е. А. Техногенная трансформация ландшафтно-геохимических процессов в районе добычи калийномагниевого сырья// Теоретическая и прикладная экология. 2014. № 3. С. 41–45.

3. Касимов Н. С. Геохимия степных и пустынных ландшафтов. М.: Изд-во МГУ, 1988. 253 с.