

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-323-324

РОЛЬ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ФОРМИРОВАНИИ СУЛЬФИДНЫХ ЛАНДШАФТОВ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ГАЛОГЕНЕЗЕ**THE ROLE OF BIOGEOCHEMICAL PROCESSES IN THE SULFIDE LANDSCAPE FORMATION DURING TECHNOGENIC HALOGENESIS****Хайрулина Е.А.**

Khayrulina E.A.

e-mail: elenakhay@gmail.com

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия
Perm State National Research University, Perm, Russia

Аннотация. На территории одного из крупнейших в мире месторождений калийных солей – Верхнекамском месторождении калийно-магнелийских солей, изучено формирование ландшафтов в результате техногенного поступления солей. Зональные ландшафтообразующие факторы, определяющие формирование среднетаежных ландшафтов кислого и кисло-глеяного класса, осложняются поступлением водорастворимых солей с фильтрационными водами солеотвалов и шламохранилищ Na–Cl состава и минерализацией свыше 300 г/л. Изучена роль микробиологических сообществ в формировании сульфидных солончаков. В результате взаимодействия микроорганизмов, почв и высокоминерализованных вод, обогащенных сульфат-ионами и железом, в таежных ландшафтах в солончаковых почвах возникает гидротроилитовый горизонт и формируются сульфидные солончаки.

Abstract. On the territory of one of the world's largest deposits of potassium salts - the Verkhnekamsk deposit of potassium-magnesium salts, the formation of landscapes as a result of natural and technogenic salt inflow was studied. Zonal landscape-forming factors that determine the formation of mid-taiga landscapes of the acidic and acid-gley class are complicated by the influx of water-soluble salts with seepage water from salt dumps and sludge storages of Na–Cl composition and mineralization over 300 g/l. The role of microbiological communities in sulfide landscape formation has been studied. As a result of the interaction of microorganisms, soils, and highly mineralized waters enriched with sulfate ions and iron, a hydrotroilite horizon in solonchak soils in taiga landscapes and sulfide solonchaks are formed.

Ключевые слова: техногенный галогенез, солончак вторичный, микроорганизмы, сульфидогенез, восстановление железа
Keywords: technogenic halogenesis, secondary solonchak, microorganisms, sulfidogenesis, iron reduction

Воздействие горнодобывающей промышленности на окружающую среду является интенсивным и многофакторным. Поступающие в природные геосистемы техногенные потоки приводят не только к увеличению загрязняющих компонентов в окружающей среде, но и трансформации ландшафтно-геохимических процессов. В результате возникают природно-техногенные геосистемы, геохимическая специфика которых может существенно отличаться от зональных. На территории одного из крупнейших в мире месторождений калийных солей – Верхнекамском месторождении калийно-магнелийских солей, изучено формирование ландшафтов в результате техногенного поступления солей. Техногенные источники поступления солей, в частности солеотвалы и шламохранилища, являются основными источниками засоления. Фильтрационные воды, активно мигрируя с подземными водами разгружаются в долинах рек, трансформируя геохимические параметры зональный лугово-аллювиальных ландшафтов в сульфидные солончаки.

Целью настоящего исследования являлось изучение генезиса сульфидных солончаков и роли микробиологической деятельности в их формировании. Исследование микробного разнообразия почв выполнено в центре коллективного пользования Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН. Для изучения таксономического разнообразия микрофлоры образцов засоленных почв проведен их метагеномный анализ по генам 16S рРНК на платформе MiSeq (Illumina). Анализ морфологии и микроструктуры проб почв и донных отложений в местах разгрузки засоленных подземных вод с использованием сканирующих электронных микроскопов TESCAN MIRA 3 LMU и LEO 1430VP. Для анализа твердой фазы образцов был использован энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия (EDS; Oxford Instrument X-Max 80 EDS-system). Классификация ландшафтов выполнена по [1,3], почв по [4].

Сульфидные солончаки формируются в местах близкого залегания высокоминерализованных Na–Cl подземных вод, где формируются устойчивые ареалы засоленных почв с повышенным содержанием Cl^- , K^+ , SO_4^{2-} , Na^+ на фоне зональных аллювиальных гумусовых глеевых почв. В долинах засоленных рек формируется солончак вторичный [по 4]. Техногенный галогенез проявляется в высоком значении суммы токсичных солей (до 26 %), что соответствует «очень сильной» степени засоления и содержанию хлоридов (более 160 г/л в водной вытяжке почв верхнего горизонта), доли $\text{Na}_{\text{обм}}$ от емкости катионного обмена (ЕКО) (до 50%).

Верхний горизонт солончака вторичного покрыт рыжей коркой мощностью 2 см. Анализ минералогического состава верхнего горизонта показал, что содержание железистых образований достигает 85% от нерастворимой части пробы, а ожелезненных растительных остатков в некоторых пробах – 20%. Среди минералов выявлены гидрогетит, гетит и магнетит.

Нижний почвенный горизонт, мощностью 5–20 см, представлен черным гелеобразным веществом с высоким содержанием остатков растительности и диатомовых водорослей. Содержание гидрогетита достигает 84%, обнаружены гематит и магнетит. Происходит образование сероводорода, зна-

В почвах обнаружены остатки бактериальных сообществ, покрытые железистыми образованиями, губки, остатки диатомовых водорослей из кремнистого материала обогащенных Ca, Fe и Cl с примесью Mg, Na, K, Al, P и S. При доминировании обычных для почвенной и водной среды протеобактерий в почвенных образцах значительную долю составляли бактерии, характерные для морской и других высокоминерализованных сред. На глубине 2–14 см (рис. а) преобладают гамма-протеобактерии рода *Shewanella* (79 и 75% в общей структуре микробиоценоза), являющиеся морскими микроорганизмами, способными к восстановлению железа и марганца. Во всех изученных почвенных горизонтах более 4% от общего числа бактерий составляли представители рода *Alicyclobacillus* – ацидофильные аэробные бациллы, способные к окислению железа и серы. В горизонте, залегающем на глубине от 14 до 40 см (рис. б) в условиях анаэробноз состав микрофлоры кардинально менялся. Наиболее многочисленными (26,38%) на данной глубине были бактерии рода *Thiomicrospira*, известные как анаэробные облигатные хемолитотрофные бактерии, окисляющие железо и серу. Также в значительном количестве (9–10%) обнаружены бактерии родов *Marinobacter*, *Marinomonas*, *Idiomarina*, известные как обитатели морской среды, 7% составляли эpsilon-протеобактерии рода *Sulfurimonas*, характеризующиеся способностью к денитрификации и окислению серы.

a)

Genus	Relative Abundance (%)
Pseudomonas	81%
Alicyclobacillus	4%
Aeromonas	6%
Ilumatobacter	1%
Gp6	5%
Saccharibacteria_genera_incertae_sedis	5%

b)

Genus	Relative Abundance (%)
Sphingomonas	24%
Spartobacteria_genera_incertae_sedis	14%
Legionella	7%
Devosia	3%
Gp16	6%
Hoeflea	7%
Demequina	4%
Aquicella	5%
Rhodanobacter	1%
Gp7	1%
Acinetobacter	6%
Pseudomonas	5%
Gp6	6%

Рис. Структура микроценозов образцов почв (а – 4-14 см, б – 14-40 см)

При изучении генезиса сульфидогенеза было изучено микробиологическое разнообразие техногенного засоления. Установлено, что засоление приводит к трансформации микробиоценозов и изменению их геохимической роли в формировании свойств почв. В солончаке вторичном преобладают бактерии *Shewanella*, *Acidocella* и *Acidophilium* и *Thiomicrospira*, обитающие в морских и высокоминерализованных средах и способных восстанавливать железо, марганец, продуцировать сульфиды. В результате взаимодействия микроорганизмов, почв и высокоминерализованных вод, обогащенных сульфат-ионами и железом, в таежных ландшафтах в солончаковых почвах возникает сероводородная обстановка, гидротроилитовый горизонт и формируются сульфидные солончаки.

Литература

5. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов / М.А. Глазовская – М., Географический факультет МГУ, 2007. – 350 с.
6. Дашко Р.Э., Волкова А.В., Власов Д.Ю. Микробная деятельность в подземных выработках и ее влияние на свойства богатых железных руд и конструкционных материалов // Записки Горного института. 2006. Выпуск 168. С. 165 – 174.
7. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов – М: Астрей-2000, 1999. – 768 с.
8. Шишов Л.Л. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.