

УДК 502.55

## **РОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ВОДА-ПОРОДА В ФОРМИРОВАНИИ ЛАНДШАФТОВ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ГАЛОГЕНЕЗЕ**

**Хайрулина Е.А.**

*Естественнаучный институт*

*Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь,  
e-mail: elenakhay@gmail.com*

Физико-химические процессы играют важную роль в формировании ландшафтно-геохимической структуры территории [1]. Их активизация в результате производственной деятельности в некоторых случаях может быть определяющей в появлении специфических техногенных ландшафтов. Влияние на ландшафты некоторых физико-химических процессов в системе вода-порода рассмотрено 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. Содержание KCl в руде 18-34%, MgCl<sub>2</sub> 20-25%. Геологические запасы представлены карналитовой породой, сильвинитами и каменной солью. Месторождение относится к хлоридному типу. Перекрывающими и вмещающими являются сульфатные и карбонатные породы.

Подземные воды надсолевой толщи представлены шешминским, верхнесоликамским, нижнесолекамским и четвертичным водоносными комплексами. На поверхность в основном разгружаются воды шешминского водоносного комплекса, характеризующегося Ca-HCO<sub>3</sub> составом с минерализацией около 300 мг/л и pH около 7,0.

Активная разработка месторождения калийных солей привела к резкому увеличению содержания водорастворимых солей в окружающей среде, основными источниками которых являются галитовые отходы, шламы и рассолы. Твердые галитовые отходы на более чем 90% состоят из NaCl, шламы – на 35-40% из водорастворимых солей и 60-65% из нерастворимого глинистого осадка. В результате фильтрации атмосферных осадков и рассолов сквозь толщу солеотвалов и шламохранилищ формируются техногенные Na-Cl фильтрационные стоки с минерализацией от 11 г/л до 300 г/л и нейтральным pH. Содержание хлоридов достигает 200 г/л, сульфатов 3,7 г/л, натрия 128 г/л, калия 20 г/л, кальция 2 г/л.

В процессе миграции техногенных рассолов через горные породы соленые Na-Cl воды более интенсивно, чем природные Ca-HCO<sub>3</sub> воды растворяют глинистые, местами доломитизированные известняки и мергели [2] и при контакте с кальцием, магнием и сульфатами горных пород происходит повышение их содержания в подземных и поверхностных водах. В катионном соотношении техногенные воды родников смещаются к увеличению содержания кальция и магния, а в анионном – к хлоридам и сульфатам (рис. 1а).

Минерализация техногенных подземных вод, выходящих на поверхность в виде родников, достигает 45,6 г/л, концентрация ионов хлорида увеличивается до 22,3 г/л, натрия – до 10,2 г/л и калия – до 5,8 г/л при pH 6,6-8,0. Содержание в подземных водах иона магния и кальция достигает высоких значений 5,1 г/л и 2,2 г/л (соответственно). По преобладающим ионам техногенные подземные воды представлены Na-Cl и Ca,Na-Cl составом.

Разгрузка техногенных подземных вод в долинах рек вблизи источника загрязнения приводит к формированию Na-Cl состава поверхностных вод (рис. 1б). Минерализация поверхностных вод, испытывающих максимальную солевую нагрузку, достигает

60 г/л, концентрация ионов хлоридов увеличивается до 34,0 г/л, натрия до 19,0 г/л и калия до 4 г/л, при pH 7,3. Содержание ионов магния и кальция снижается до 0,3 г/л и 1,5 г/л соответственно. Тем не менее, при некотором удалении от источника загрязнения и при снижении минерализации до 3 г/л содержание кальция в водах преобладает над натрием и формируется Ca,Na-Cl состав поверхностных вод.

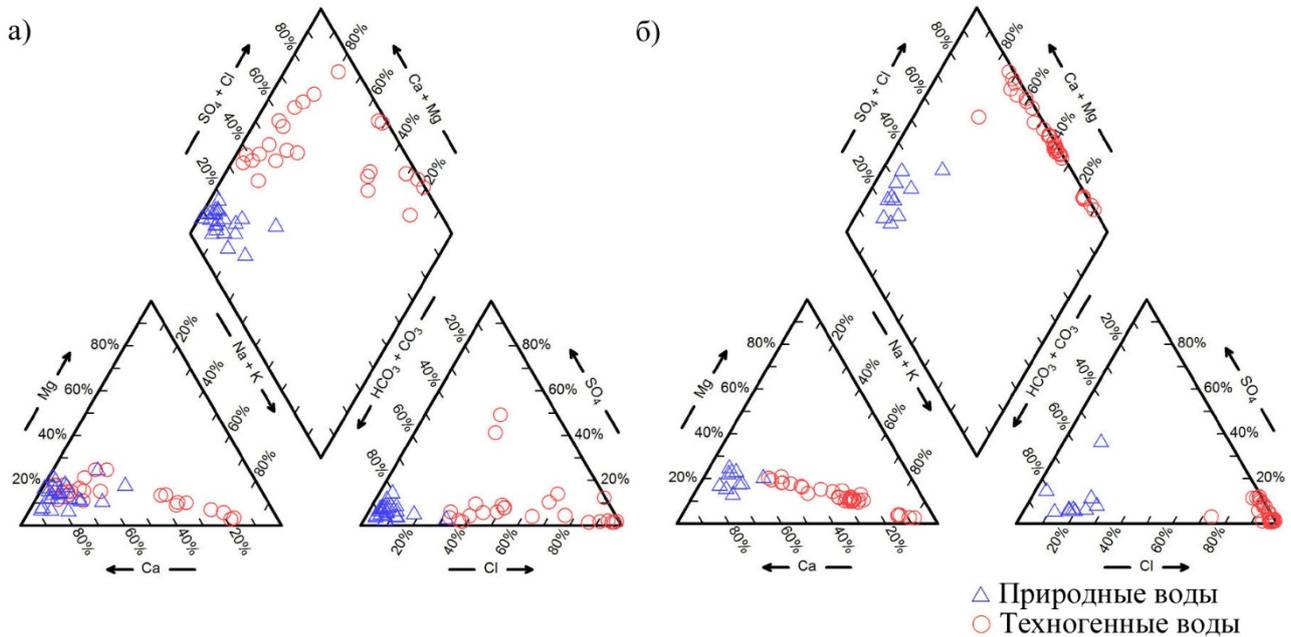


Рис. 1. Химический состав а) подземных и б) поверхностных вод в виде Piper diagram, мг-экв/л

В долинах рек на гидроморфных почвах, в местах площадной разгрузки или близкого залегания подземных высокоминерализованных вод могут формироваться «железные шляпы» – пятна охристого цвета с отсутствием растительности. Для них характерны максимальные содержания хлоридов (свыше 160 г/л) в водной вытяжке из верхнего горизонта почв, что свидетельствует о влиянии подземных вод.

На поверхности почвенного покрова, в условиях окислительного режима двухвалентное железо рассолов окисляется с образованием гидрогетита, гетита, магматита и разнообразных железистых образований. Минеральный анализ верхнего горизонта почв (мощностью 0-2 см) показал, что содержание железистых образований достигает 85 % от нерастворимой части пробы, а ожелезненных растительных остатков – 20 %.

В нижнем почвенном горизонте мощностью 15-30 см в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий образуется сероводород (до 17,0 мг/кг), значение окислительно-восстановительного потенциала  $E_h$  снижается (-156 – -197), развиваются резко восстановительные условия. Вероятней всего, ниже кислородного геохимического барьера происходит формирование гидротроилитового горизонта. В природных условиях гидротроилит – водный сульфид железа – образуется в сульфатных водоемах степной и пустынной зон [3-5], где развивается десульфуризация и продуцируется  $H_2S$ . Ниже гидротроилитового горизонта расположен горизонт с глеевой обстановкой.

Формирование сульфидных солончаков на территории Верхнекамского месторождения в условиях южной тайги обусловлено близким залеганием подземных вод с повышенным содержанием сульфатов. В местах площадной разгрузки таких вод содержание сульфатов в водной вытяжке почв достигает 7 г/л. Коэффициент корреляции ( $r$ ) между содержанием  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$  в почвах составляет 0,86, что свидетельствует о тесной связи хлоридного загрязнения и повышенного содержания сульфатов. Источником железа, в основном, являются гидроксиды железа шешминских пестроцветных

пород [6] и почвенные минералы [7], которые более активно выщелачиваются под воздействием техногенных высокоминерализованных подземных вод. Высокое содержание органики в почвах способствует формированию сульфидной обстановки под воздействием микробиологической деятельности.

Формирование окислительных геохимических барьеров исследовано на примере природно-техногенных комплексов долины р. Ленва, в которую на протяжении 40-50 лет осуществляется сток с накопителей отходов двух действующих калийных предприятий. Минерализация вод р. Ленвы изменяется на своем протяжении от 3 до 18 г/л. Более половины от общей минерализации составляют хлориды. Протяженность данных проявлений в долине р. Ленвы составляет более 3 км (рис. 2). Погибшая древесная растительность, ожелезненные и слаборазложившиеся остатки растительности в почвах свидетельствуют, что формирование сульфидных солончаков произошло недавно.

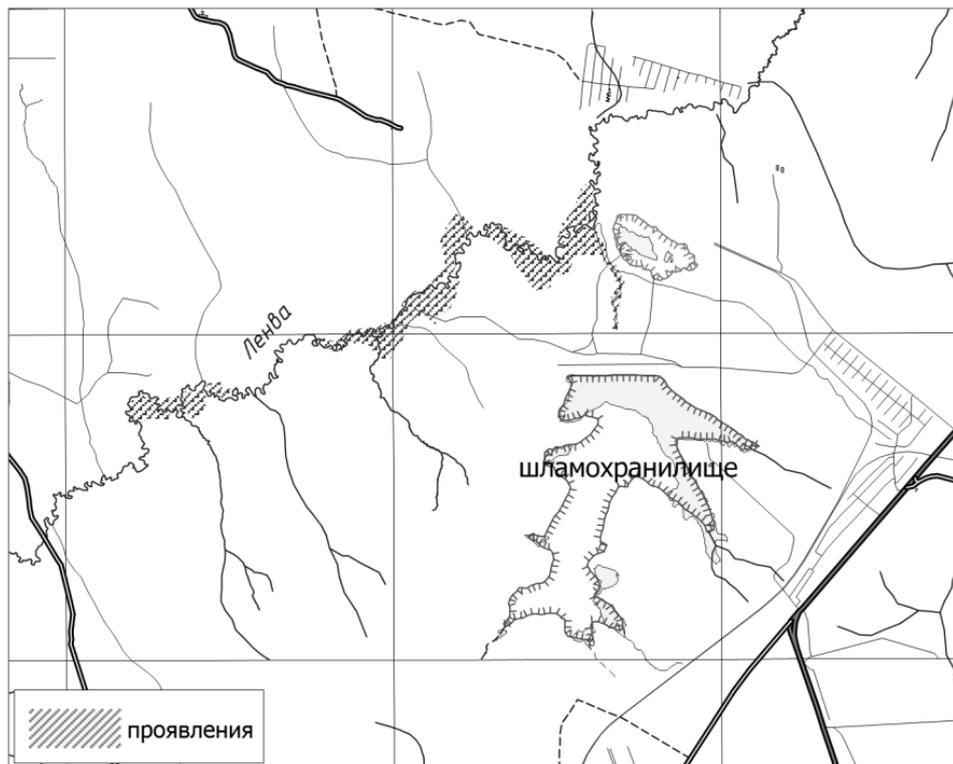


Рис. 2. Распространение «железных шляп» в долине р. Ленва

Техногенные стоки шламохранилищ и солеотвалов формируют Na-Cl техногенные подземные воды, которые активизируют процессы выщелачивания и ионного обмена в системе вода-порода интенсивнее, чем при фильтрации природных пресных вод. Вследствие этого в подземных и поверхностных водах на фоне высокого уровня хлоридного загрязнения увеличиваются содержания кальция, магния, сульфатов и железа, а в долинных ландшафтах при площадной разгрузке загрязненных подземных вод формируются сульфидные солончаки с «железными шляпами» на поверхности почв.

Работа поддержана грантом РФФИ 15-05-07461 и Министерством образования и науки РФ №14.В37.21.0603.

### Литература

1. Перельман А.И. Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М: «Астрей-2000», 1999. 768 с.
2. Юй Лю, Лехов А.В. Моделирование изменения фильтрационных параметров загипсованных пород при фильтрации рассолов // Геоэкология. Инженерная геология.

Гидрогеология. Геоэкология. 2012. № 6. С. 551-559.

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

4. 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.

5. 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.

6. Мигунов Л.В. Инфильтрационная минеральная зональность надсолевых толщ. СПб.: Наука, 1994. 150 с.

7. 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.