

УДК 624.139

ПОДВИЖНОСТЬ ИОНОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВО ЛЬДАХ И МЕРЗЛЫХ ПОРОДАХ

© 1999 г. Э. Д. Ершов, Е. М. Чувилин, О. Г. Смирнова

Представлено академиком В.И. Осиповым 21.08.97 г.

Поступило 21.08.97 г.

Открытие геохимических ореолов рассеяния (их мощность может достигать десятков метров) в толщах мерзлых пород и льдов вокруг месторождений полезных ископаемых [1, 2] позволяет говорить о возможности переноса ионов химических элементов в криолитозоне. Однако эта проблема до сегодняшнего дня остается слабо изученной [3, 4].

Специальный комплекс экспериментальных исследований, выполненный в последние годы на кафедре геокриологии МГУ им. М.В. Ломоносова, позволил установить причины и выявить механизм достаточно высокой подвижности ионов химических элементов в криогенных средах [5]. Экспериментально показано, что основным механизмом миграции ионов является концентрационная диффузия [6, 7]. В поликристаллических льдах ионная проницаемость связана прежде всего с границами кристаллов, которые являются областями с высокой плотностью дислокаций и поверхностных дефектов, где существует разупорядоченный квазижидкий слой молекул воды. В мерзлых породах средой для переноса ионов химических элементов служат пленки незамерзшей воды, существующие на поверхности минеральных частиц, а также границы кристаллов порового льда. Ионная проницаемость льдов, как показывают эксперименты, выше ионной проницаемости мерзлых пород. Это обусловлено особенностями механизма переноса ионов, а также отсутствием во льдах сорбционных процессов, препятствующих миграции ионов химических элементов.

Влияние строения льда на миграцию в нем ионов химических элементов проявляется прежде всего через плотность и пористость образцов, наличие различных включений (минеральных частиц, растворенных солей, воздуха), размер и ориентировку кристаллов. Экспериментально показано, что с увеличением размера кристаллов происходит снижение суммарного накопления ионов (рис. 1).

Это обусловлено уменьшением удельной поверхности кристаллов льда и снижением в целом количества подвижной фазы воды, существующей на границах кристаллов, которая является главной ионопроводящей средой.

Миграция ионов химических элементов во льду существенно лимитируется температурными условиями. С понижением температуры происходит уменьшение количества подвижной фазы воды, существующей на поверхности кристаллов льда. Поскольку границы кристаллов льда являются основной средой переноса ионов химических элементов, то с понижением температуры

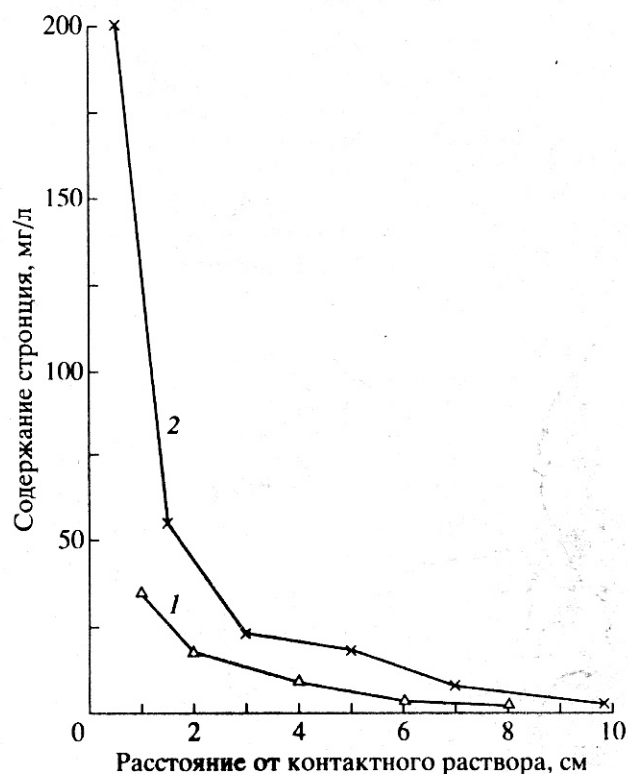


Рис. 1. Накопление ионов стронция во льдах с различным размером кристаллов (d), взаимодействующих с 0.1 N раствором $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ при $t = -6^\circ\text{C}$ в течение 7 суток. $d = 6$ (1) и 1 мм (2).

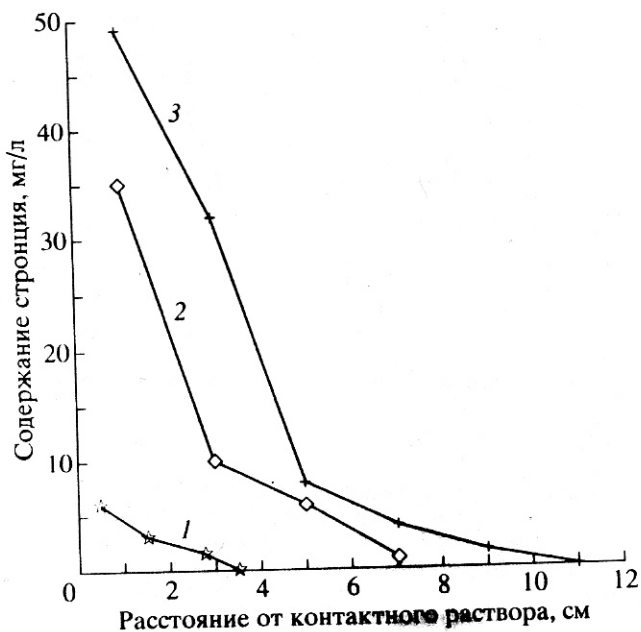


Рис. 2. Накопление ионов стронция во льдах, взаимодействующих с 0.1 N раствором $Sr(NO_3)_2$ при различных температурах: -20 (1), -6 (2) и $-2^\circ C$ (3).

проницаемость льда падает (рис. 2). Ионная проницаемость льдов для различных химических элементов изменяется незначительно (табл. 1).

Перенос ионов химических элементов в мерзлых породах также определяется комплексом факторов, и в первую очередь характеристиками самой породы: дисперсностью, химико-минеральным составом, влагосодержанием, криогенным строением.

Ионная проницаемость мерзлых пород, как показали проведенные исследования, снижается с увеличением дисперсности (табл. 1, рис. 3). Это объясняется слабой сорбцией химических эле-



Рис. 3. Распределение ионов стронция по высоте образцов пород различной дисперсности, взаимодействующих с 0.1 N раствором $Sr(NO_3)_2$ в течение 3 месяцев при температуре $-7^\circ C$. 1 – песок, 2 – супесь, 3 – суглинок.

ментов в грубодисперсных породах. Основную роль в переносе ионов здесь играет диффузия по границам кристаллов порового льда, которая, как показано выше, весьма значительна. Тонкодисперсные породы несмотря на то, что имеют более высокую влагопроводящую пористость за счет повышенного содержания незамерзшей воды, отличаются активным проявлением сорбционных процессов, которые, препятствуя переносу ионов, и снижают их ионную проницаемость.

Исследование влияния льдистости мерзлых пород (рис. 4), а также степени заполнения пор влагой на миграцию химических элементов показало, что с их повышением наблюдается рост суммарного накопления ионов и ионной проницаемости мерзлых пород в целом, что указывает на важную роль порового льда в переносе ионов (табл. 1). Учитывая высокую подвижность ионов

Таблица 1. Подвижность ионов химических элементов в криогенных средах

| Криогенная среда | Температура, $^\circ C$ | Элемент | Эффективный коэффициент диффузии, cm^2/c |
|----------------------------------|-------------------------|---------|--|
| Песок | -7 | Sr | $4.6 \cdot 10^{-7}$ |
| Супесь | -7 | Sr | $2 \cdot 10^{-7}$ |
| Суглинок | -7 | Sr | $0.4 \cdot 10^{-7}$ |
| Глина (каолининовая), $W = 35\%$ | -7 | Sr | $1.2 \cdot 10^{-7}$ |
| Глина (каолининовая), $W = 42\%$ | -7 | Sr | $2.3 \cdot 10^{-7}$ |
| Глина (каолининовая), $W = 47\%$ | -7 | Sr | $3.9 \cdot 10^{-7}$ |
| Лед | -7 | Sr | $0.8 \cdot 10^{-5}$ |
| Лед | -7 | Pb | $0.2 \cdot 10^{-5}$ |
| Лед | -7 | Zn | $0.35 \cdot 10^{-5}$ |

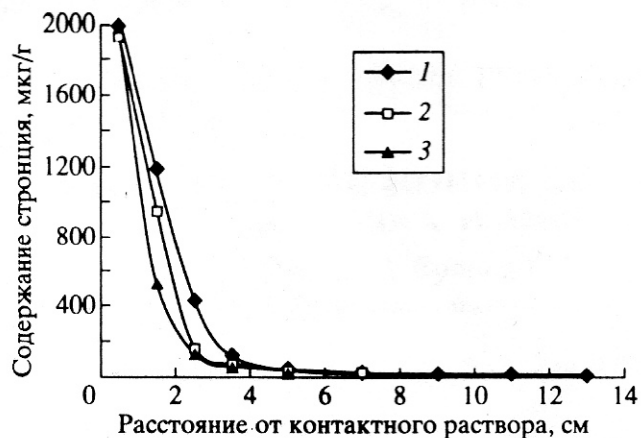


Рис. 4. Распределение ионов стронция по высоте образцов каолиновой глины различной влажности (W), взаимодействующих с $0.1 N$ раствором $Sr(NO_3)_2$ в течение 3 месяцев при температуре $-7^\circ C$. $W = 47$ (1), 42 (2) и 35% (3).

в поровом льде, следует иметь в виду, что в тонкодисперсных породах при переходе их из талого состояния в мерзлое ионная проницаемость может не только не снижаться, но, напротив, иногда и увеличиваться, вследствие формирования определенного криогенного макро- и микростроения.

Наличие шлировых криогенных текстур в мерзлых породах приводит к анизотропии ионной проницаемости, при этом выдержанные ледяные прослойки, как показывают эксперименты, практически полностью прерывают поток ионов. Использование этого свойства открывает возможности для создания техногенных геохимических барьеров вокруг захоронений токсичных отходов в породах криолитозоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов О.П. // Геохимия. 1996. № 36. С. 367–371.
2. Макаров В.Н. Геохимические поля в криолитозоне. Материалы первой конференции геокриологов России. М., 1996. Т. 1. С. 253–260.
3. Hallet B., Sletten R.S., Pratum T. Solute Mobility in Porous Media. Wash.: Wash. Univ. Press, 1995. 52 p.
4. Murrman R.P. Proc. II Intern. Conf. Permafrost. Wash. D.C.: Nat. Acad. Sci. Press, 1973. P. 352–359.
5. Основы геокриологии. Ч. 1. Физико-химические основы геокриологии. М.: Изд-во МГУ, 1995. С. 181–214.
6. Chuvilin E.M., Smirnova O.G. Ground Freezing-97. Frost Action in Soils. Lulea, Sweden, 1997. P. 371–374.
7. Ershov E.D., Chuvilin E.M., Zherebyatyeva O.G. VII Intern. Symp. Ground Freezing. Nancy, France, 1994. P. 355–360.