

5. Н. А. Пузаков Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог. М: Автотрансиздат, 1960, с. 168.
6. В. Г. Чеве́рев, Ю. П. Лебе́денко О природе сил морозного пучения грунтов и методика их оценки // Мерзлые породы и криогенные процессы. – М: Наука, 1991, с. 112-119.
7. Konrad, J.M. (1994). Sixteenth Canadian Geotechnical Colloquium: Frost heave in soils: concepts and engineering (in English). Canadian Geotechnical Journal, 31, №2, p. 223-245.

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СВЯЗАННОЙ ВОДЫ И ЛЬДОВ МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ

В.Н. Конищев, В.В. Рогов, В.Н. Голубев, С.А. Сократов

Московский Государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия; rogovvic@mail.ru

Проведены лабораторные исследования изотопного состава воды и льдов в составе дисперсных грунтов. Установлено, что при взаимодействии воды с грунтами, ее миграции и льдообразовании при промерзании происходит фракционирование изотопов, зависящее от состава грунта и условий промерзания.

ISOTOPIC CONTENT OF INTERFACIAL WATER AND ICE FROZEN GROUND

V.N. Konischev, V.V. Rogov, V.N. Golubev, S.A. Sokratov

Moscow State University, Faculty of Geography; Moscow, Russia; rogovvic@mail.ru

Laboratory researches of isotope structure of water and ice in structure of dispersed grounds are carried out. It is established, that at interaction of water with grounds, its migrations and ice forming at freezing occurs change of the isotopes, dependent on structure of a ground and freezing conditions.

Изотопные исследования ледяных образований криосферы (ледников и ледниковых покровов, залежеобразующих и текстурообразующих подземных льдов) стали одним из основных методов получения информации об условиях прошлого. Концентрация стабильных изотопов кислорода и водорода, регистрируемая во внутригрунтовых льдах, определяется вариациями изотопного состава влаги, из которых они формировались и процессами фазовых переходов и массопереноса, протекавшими под воздействием окружающей среды. Ведущее значение в процессах массопереноса грунтовой влаги к фронту промерзания ледяной составляющей мерзлого грунта принадлежит гранулометрическому и минералогическому составу грунта, определяющему его удельную поверхность и поверхностную энергию и вследствие этого само наличие и количество «незамерзшей» воды. Практически полное отсутствие данных о различии или соответствии изотопного состава свободной и «незамерзшей» влаги и вместе с тем определенная несогласованность изотопного состава разных типов грунтовых льдов позволяют предположить, что «незамерзшая» вода, характеризующаяся свойствами, отличными от таковых у свободной воды может иметь изотопный состав, отличающийся от изотопного состава свободной воды. Взаимодействие этой составляющей грунтовой влаги с поверхностью частиц грунта определяется силами Ван-дер-ваальсового взаимодействия диполей воды с атомами и молекулами на поверхности этих частиц, что дает основание предполагать в ней как повышенное, так и пониженное содержание тяжелых изотопов. Вследствие этого, а также фракционирования изотопов во влаге, участвующей в массопереносе, изотопный состав ледяных образований в мерзлом грунте может отличаться от изотопного состава первичной влаги.

В фундаментальной монографии Ю.А. Федорова «стабильные изотопы и эволюция гидросферы» (1999) показано, что в системе «прочносвязанная и конституционная вода глинистых минералов- вода бассейна седиментации» происходит значительное фракционирование изотопов водорода и кислорода. Оказалось, что прочносвязанная вода глинистых минералов (по крайней мере, локализованная в монослое) изотопно легче по водороду и тяжелее по кислороду по сравнению с водами, находящимися в изотопном равновесии с глинистыми минералами. При этом разница по содержанию D может достигать до -160‰ (для серицита) и +28‰ по O18 (для гиббсита) по сравнению со стандартом SMOW. Главной причиной фракционирования изотопов водорода и кислорода при формировании кристаллизационной и прочносвязанной воды глинистых минералов и их вариаций по мнению Ю.А. Федорова являются энергия связи молекул воды и ионов H_3O^+ , H^+ , OH^- с твердой фазой. Однако ни конституционная, ни прочносвязанная вода не участвует в криогенной миграции. Поэтому нашей задачей ставилось получить ответ на вопрос, в какой мере фракционирование изотопов водорода и кислорода захватывает рыхлосвязанную и капиллярную виды воды, которые в первую очередь вовлекаются в криогенную миграцию при промерзании влажных дисперсных отложений, как это хорошо известно, из многочисленных экспериментальных и натурных (полевых) наблюдений мерзлотоведов. Для решения такой задачи был поставлен эксперимент, в котором в качестве грунтов для экспериментов брались образцы пылеватого («едомного») суглинка, взятого из разреза Дуванный яр на р. Колыме, каолинит Просьяновского месторождения и бентонит Хакасского месторождения. Образцы были насыщены дистиллированной водой (см. таблицу 1) при комнатной температуре и выдержаны в течении суток. Затем на рычажном прессе из образцов была выжата вода, которая и анализировалась на содержание тяжелых изотопов кислорода (O18‰) и дейтерия (D‰). Вторая серия увлажненных образцов подвергалась однократному промораживанию –оттаиванию, третья – 5-кратному промерзанию –оттаиванию (-20oC- +20oC) и после этого, также как и в первом опыте из них была отжата вода и проанализирована на содержание тяжелых изотопов. В качестве сравнения был определен изотопный состав исходной воды. Результаты анализов представлены в таблице 1.

Полученные данные подтверждают, что при взаимодействии воды с дисперсным грунтом наблюдается фракционирование изотопов воды. Однако, процесс этот достаточно сложный и есть определенная связь между свойствами глинистого минерала и характером фракционирования. При этом отжатая вода для всех представленных грунтов имеет более «тяжелый» состав, как по кислороду, так и по водороду. Вероятно, что отжатая вода - это смесь капиллярной и поровой воды– т.е. воды, которая в минимальной степени испытывает влияние поверхностных сил минерального скелета. Тогда вполне правомерно предположить, что вода, оставшаяся после отжатия, также является смесью различных категорий воды, но с гораздо большим весом воды, связанной с грунтом. Таким образом, можно считать, что более активно взаимодействует грунт с более легкими изотопами воды, причем бентонит в силу своей большей адсорбционной способности взаимодействует несколько активнее других. В случае промораживания картина несколько иная. В промороженных образцах отжатая вода также во всех случаях оказывается более тяжелой по водороду, но каолинит отдает воду по кислороду несколько легче чем, в не промороженных образцах. Также отлично от других ведет себя каолин и в 5-кратно промороженных образцах – он отдает воду несколько тяжелее по кислороду; по водороду разница в содержании изотопов дейтерия небольшая, но здесь бентонит отдает более легкую воду, чем каолинит и суглинок. Опыт с режимом промораживания образцов говорит о

том, что фракционирование изотопов воды может, как усиливаться, так и ослабевать в зависимости от свойств грунта и условий промерзания, причем в разной степени для разных изотопов воды, но при этом вода в грунтах всегда остается более «легкой» по сравнению с исходной.

Табл. 1. Содержание изотопов воды в различных грунтах после отжатия влаги при содержании в исходной воде - O18 ‰ – 12,6 и D ‰ – 89,0

Грунт	Увлажненный образец				Увлажненный и замороженный образец				Увлажненный и 5-кратно замороженный образец			
	W‰ нач.	W‰ кон.	O18 ‰	D ‰	W‰ нач.	W‰ кон.	O18 ‰	D ‰	W‰ нач.	W‰ кон.	O18 ‰	D ‰
Каолинит	77,2	50,2	-11,2	-79,1	62,8	47,7	-11,5	-73,1	81,2	54,2	-10,2	-71,8
Бентонит	920	548	-10,8	-77,4	979	554	-8,8	-73,1	945	596	-9,2	-72,3
Суглинок	32,4	24,2	-11,2	-79,7	33,9	25,8	-10,5	-73,8	33,8	23,7	-10,6	-75,5

Этот тезис подтверждается экспериментом с выпариванием влаги, остающейся после отжатия. Для этого образцы вышеуказанных грунтов помещались в замкнутую систему, состоящей из испарителя, конденсатора и сборника конденсата. При этом изотопный состав воды определялся по определенным порциям (15 мл.). При этом как в свободной воде, так и выпаренной из образцов испарялись (как это и должно быть) вначале более легкие изотопы, а затем и более тяжелые. В этом случае данные показывают, что в ходе испарения грунты неохотно отдают легкие изотопы, а последний объем воды (15 мл) испарившейся свободной воды был «тяжелее» по кислороду и «легче» по водороду, чем таковой из образцов грунтов (за исключением каолинита) (табл. 2).

Табл. 2. Содержание изотопов воды в различных грунтах в ходе испарения влаги при содержании в исходной воде - O18 ‰ -14,5 и D ‰ -93,9

	4-я порция		10-я порция	
	O18‰	D‰	O18‰	D‰
Исх. Вода.	-16,5	-112,4	-6,3	-61,4
Каолинит	-16,0	-97,9	-9,2	-64,2
Бентонит	-14,6	-97,5	-6,7	-49,8
Суглинок	-14,4	-90,9	-9,0	-60,5

В этой таблице следует обратить внимание на бентонит, в котором испарялась наиболее «тяжелая» вода, и, следовательно, этот минерал связывает «легкую» воду интенсивнее других.

Однако, как было показано выше, оставшаяся после отжатия грунтовая влага является смесью различных категорий воды и не все из них участвуют в миграции и сегрегационном льдообразовании, а при действии этих процессов, вероятно, неизбежно очередное фракционирование. С этой целью были проведены определения не только отжатой воды, но и льда шпиров, сформировавшихся в опытных грунтах. С этой целью образцы были заморожены в специальной установке по одномерному промерзанию. При этом в образцах каолина в его верхней части образовалась слоистая криогенная текстура со шпиром толщиной 3-4 мм, в суглинке льдовыделение было менее интенсивным со шпиром 1-1,5 мм, в бентоните образовалась сетчатая

криогенная текстура со шлирами толщиной до 1,5 мм. Лед включений был отделен от образца и после оттаивания был определен его изотопный состав (табл.3).

Табл. 3. Содержание изотопов воды в шлирах сегрегационного льда в различных грунтах при содержании в исходной воде - O18 ‰ -14,5 и D ‰ -93,9

Грунт	O18‰	D‰
Каолинит	- 13,4	- 96,7
Бентонит	- 12,3	-88,3
Суглинок	-13,5	-96,7

Данные, представленные в табл.3. показывают, что вода, формирующая включения льда, «тяжелее» по кислороду и «легче» по водороду, что ближе к данным Ю.А. Федорова по прочносвязанной и конституционной воде, за исключением бентонита. Другими словами, данные изотопного состава подтверждают известные представления о характере влаги, формирующей сегрегационный лед. Исключение по содержанию дейтерия в образцах бентонита, возможно, объясняются его свойствами или характером льдовыделения, для чего нужны дальнейшие исследования, поскольку фракционирование, вероятно, зависит еще и от скорости промерзания, типа криогенной текстуры и иных криолитологических характеристик.

В заключение следует отметить, что полученные результаты по-новому объясняют данные по изотопному составу сегрегационных льдов в мерзлых толщах различных регионов – они более «тяжелые» по кислороду относительно льдов, сформировавшихся их поверхностных вод. (Коняхин, Михалев, Соломатин, 1996); данные же по содержанию дейтерия для сегрегационных льдов получены впервые.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 09-05-00536-а

Литература

1. Коняхин М. А., Михалев Д. В., Соломатин В. И Изотопно-кислородный состав подземных льдов/ М. Изд-во МГУ, 1996. 155 с.
2. Федоров Ю.А. Стабильные изотопы и эволюция гидросферы/ М. Изд-во Истина, 1999. 369 стр.

О ДОЛГОВЕЧНОСТИ И СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ МЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ И ЛЬДА)

А.А. Коновалов

Институт проблем освоения Севера СО РАН, г. Тюмень

На примере мерзлых пород показано взаимоотношение долговечности с уровнем их структурной организации. Разработана стратегия обобщения систем различной природы, основанная на принципе Золотого Сечения.

ON LONGEVITY AND STRUCTURED PHYSICAL SYSTEM ORGANIZATIONS (ON EXAMPLE OF FROZEN SOILS AND ICE)

A. A. Konovalov

Institute of North Development Problem, SB RAS, 625003, Tyumen, Russia,
konov7@rambler

On the example of frozen soils is shown relationship of longevity with the level of structured system organizations. Designed strategy of generalising the different nature systems, based on the principle of Gild Section. Cited an instance calculation.