Поступление трития в снежный покров мерзлотных ландшафтов бореальной зоны Восточной Сибири

Макаров В.Н.

*Институт мерзлотоведения Сибирского отделения РАН, Россия 677010, Якутск, ул. Мерзлотная 36;
E-mail: Makarov@mpi.ysn.ru*

АННОТАЦИЯ. В работе рассмотрены результаты изучения распределение радиоактивного изотопа водорода – трития в снежном покрове мерзлотных ландшафтов бореальной зоны Восточной Сибири. Поступление трития в окружающую среду региона и накопление изотопа в снежном покрове происходит в результате регионального атмосферного переноса и примерно в три раза превышает концентрацию изотопа в снежном покрове Южного полюса. Наблюдается зависимость между концентрацией трития в снежном покрове и численностью населения селитебных зон.

The arrival of tritium in the snow cover of permafrost landscapes of the boreal zone of Eastern Siberia

Makarov V.N.

*Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia 677010, Yakutsk, st. Frozen, 36
;E-mail: Makarov@mpi.ysn.ru*

ANNOTATION. The results of the study of the distribution of the radioactive isotope of hydrogen - tritium in the snow cover of the permafrost landscapes of the boreal zone of Eastern Siberia are considered. The release of tritium into the environment of the region and the accumulation of the isotope in the snow cover occurs as a result of regional atmospheric transport and is approximately three times higher than the concentration of the isotope in the snow cover of the South Pole. There is a relationship between the concentration of tritium in the snow cover and the population of residential areas.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование геохимии радионуклидов ^3H в экосистемах является одной из фундаментальных задач экологической геохимии и имеет высокую научную значимость. Естественная миграция трития в окружающей среде происходит в основном результате регионального атмосферного переноса и частично за счет поступления из природных геологических объектов – месторождений углеводородов. Техногенный тритий появился в окружающей среде в результате испытаний ядерного оружия и использования атомной энергии в мирных целях. В настоящее время не существует эффективных мер улавливания трития, поэтому он практически целиком поступает в природные экосистемы. Концентрацию трития обычно выражают в тритиевых единицах - ТЕ, которые определяются как один атом трития на 10^{18} водородных атомов ($^3\text{H}/\text{H} = 10^{-18}$) и составляют около 0,12 Бк/л. Глобальная распространенность трития, сравнительно большой период полураспада и более высокая биологическая активность, чем у большинства других гамма- и бета-излучающих изотопов, делают тритий генетически значимым изотопом [5]. Тритий присутствует во всех природных средах: в атмосферном возду-

хе, водах, почве, растительности, снежном покрове. Анализ снежного покрова является одним из компонентов определения содержания трития в атмосфере. Одна проба, отобранная по всей высоте снежного покрова, дает представление о загрязнении за весь период – 6 месяцев, от установления снежного покрова (начало октября) до момента отбора пробы (конец марта). Таежный покров, постоянный антициклон, рекордно низкая влажность, редкие очаги техногенеза создали в Якутии чистый, сухой и прозрачный воздух идеальный для изучения геохимии снежного покрова фоновых районов.

Результаты исследований позволят понять особенности миграции трития и могут быть использованы для оптимизации радиэкологического мониторинга окружающей среды. Исследование геохимии радионуклидов ^3H в экосистемах является одной из фундаментальных задач практической геохимии и имеет высокую научную значимость.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение трития в снежном покрове проведено в 2013 г. в ходе наблюдений по маршруту протяженностью 1200 км. Маршрутные наблюде-

ния проведены в пределах бореальной зоны Восточной Сибири, в районах распространения широтно-зональных среднетаёжных мерзлотных ландшафтов, по большей мере не затронутых прямым антропогенным воздействием. Пункты наблюдений располагались на расстоянии 150-200 м от автодороги, расстояние между точками по маршруту составляло 50-100 км. В каждом пункте проводилось 5-6 измерений высоты снежного покрова и определений его плотности, измерялась температура воздуха и снега на поверхности и на почве. Пробы снега на химический анализ отбирали на всю глубину снежного покрова перед началом периода снеготаяния. Снеговую воду очищали от механических загрязнений путем фильтрования через бумажный фильтр «Синяя лента» и хранили в закрытых стеклянных емкостях. Пробы анализировали на тритий в Национальном институте изучения окружающей среды (Япония) с использованием низкофоновой жидкостной сцинтилляционной системы (LSC-LB3 Aloka Co., Ltd.) Химический анализ снеговой воды выполнен в лаборатории геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аналитики Л. Ю. Бойцова, Р. М. Петухова и О. В. Шепелева).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Средняя температура воздуха по маршруту колебалась в пределах -11,9 -22,5 °С. Диапазон изменения температура воздуха в пунктах наблюдений составлял от -5,0 до -42,2 °С. Температура снега на поверхности почвы была постоянно отрицательной: от -1,0 до -20,3 °С, в среднем -13,3 °С. На большей части региона снежный покров залегает в течение 220-250 дней в году. Высота снежного покрова вследствие антициклонального режима погоды сравнительно невелика. Характерной особенностью снежного покрова региона является небольшая плотность. Снег выпадает очень сухой и мало уплотняется в течение зимы. В марте его плотность перед началом снеготаяния составляет 0,150 г/см³. Концентрация пылевых частиц в снежном покрове незначительна, в среднем 0,007 г/л. По величине минерализации снеговые воды ультрапресные, с диапазоном колебания в пределах одного порядка 6,69 – 9,24 мг/л.

Для снежного покрова характерно следующее соотношение макрокомпонентов (по уменьшению концентрации):

$\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^-$;

$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+$.

Распределение макрокомпонентов химического состава снежного покрова типично для континентальных районов и подчиняется общей гид-

рохимической закономерности, в соответствии с которой, первым анионом пресных и ультрапресных вод является HCO_3^- . По химическому составу снеговые воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые.

Величина рН в снежном покрове характерна для фоновых атмосферных осадков и колеблется в пределах 5,14-6,29.

Концентрация трития в снежном покрове изменяется в диапазоне 8-70 ТЕ, при среднем значении 32 ТЕ (таблица).

Таблица 1. Параметры снежного покрова среднетаёжных мерзлотных ландшафтов (абс. отм. 97-363 м)

Параметры	t, °С		Высота снега, см	Плотность снега, г/см ³	Т, ТЕ
	Воздух	Снег на почве			
От	-11,6	-4,7	22,0	0,112	8,0±1,5
До	-42,2	-20,3	44,0	0,175	70,0±5,8
Сред.	-22,5	-13,3	32,0	0,150	32,0±4,0

Эти значения примерно в три раза полученных в этом регионе конце XX века и планетарного фона, содержания изотопа в снежном покрове Южного полюса – эталоне чистого снега. Так, концентрация трития в снежном покрове Земли Адели (Антарктида) составляла в среднем 11,3 ТЕ [6]. В снежном покрове бореальной зоны Восточной Сибири техногенные источники изотопа полностью отсутствуют и повышение концентрации трития обусловлено его миграцией при региональном западном атмосферном переносе и частично за счет поступления из природных геологических объектов – месторождений углеводородов. Техногенные источники изотопа – селитебные и промышленные зоны в Восточной Сибири расположены на значительных расстояниях друг от друга, небольшие по размерам и не влияют на региональные значения ³Н.

Уровень средней концентрации ³Н в среднетаёжных ландшафтах бореальной зоны Восточной Сибири – 32 ТЕ, аналогичен концентрации трития (27-34 ТЕ) в снежном покрове ландшафтов горных пустынь хребта Сунтар-Хаята (а.о. 2600-2700 м) и, по-видимому, значения ³Н около 30 ТЕ характерны как для среднетаёжных, так и для горных ландшафтов Восточной Сибири. Среднее содержание изотопа трития в речных водах региона – 19 ТЕ (диапазон 16-23 ТЕ), примерно на 30% ниже, чем в снежном покрове

[1]. Тритий, поступающий из атмосферы и накапливающийся в снежном покрове, является основным источником ^3H для речных вод, особенно в период половодья, когда наблюдается максимальное содержание изотопа в реках.

Анализ содержания трития в толще снега показал, что он в основном накапливается в среднем и нижнем горизонтах снежного покрова. Вероятно, при этом большую роль играют процессы изотопного фракционирования, происходящие на границе твердой и газообразной фаз под влиянием изменения физико-химических параметров [2, 4]. В тоже время преимущественное присутствие трития в тех или иных горизонтах снежного покрова находится в зависимости от подстилающего субстрата. На почвенной поверхности более легкие изотопы водорода обогащают верхние слои снега в которые поступают и загрязнители (SO_4^{2-}), а более тяжелый изотоп – тритий, накапливается в нижних горизонтах снежного покрова. На водоемах, где снег лежит на поверхности льда, т. е. на относительно более теплом, чем почвы субстрате, более интенсивный, чем на почвах массоперенос, привносит в нижние горизонты снежного покрова из минерализованного льда сульфат-ион и легкие изотопы водорода оттесняя тритий в вышележащие слои снега.

Распределение трития и сульфат-иона в снежном покрове существенно различается. Основным источником сульфатов в атмосфере региона являются техногенные выбросы [3], в то время как для трития преобладает региональный атмосферный перенос.

Корреляционный анализ показал существование значимых корреляционных связей в снежном покрове между величиной минерализации, рН, большинством макрокомпонентов (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) и соединениями азота (NO_3^- , NO_2^- и NH_4^+), главными компонентами химического состава снега. У трития отсутствуют значимые корреляционные связи с макрокомпонентами химического состава снега. Очевидно, характер поступления изотопа из атмосферы в снежный покров региона иной, чем у главных ионов и мало зависит от локальных источников.

В техногенных (селитебных) ландшафтах химический состав снежного покрова заметно отличается от природных значений. Концентрации нитритов, аммония, сульфатов, гидрокарбонатов, кальция и магния возрастают в 2-6 раз. Степень техногенного накопления макрокомпонентов в снежном покрове максимальна для нитритов и уменьшается в ряду:

$\text{NO}_2^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+$, $\text{Ca}^{2+} > \text{HCO}_3^-$, Mg^{2+} .

Концентрация трития в снежном покрове селитебных зон региона изменяется в пределах 13-64 ТЕ. Среднее содержание трития равно 35 ТЕ, примерно на 10% выше, чем в природных ландшафтах бореальной зоны. Редкие селитебные зоны в регионе исследований представлены двумя крупными для Восточной Сибири городами (Якутск и Мирный) и небольшими городами и селами с численностью жителей от 6 до 10 тыс. человек. Наблюдается определенная зависимость между численностью населения (увеличением количества источников изотопа) и концентрацией трития в снежном покрове селитебных зон (рисунок).

В селитебных зонах региона некоторое количество трития поступает в окружающую среду из научно-исследовательских центров (Якутск, Мирный), медицинских учреждений и промышленных предприятий, производящих различного рода исследования и работы с применением искусственного трития, из свалок бытовых отходов. Этот изотоп используется для производства жидкокристаллических электронных табло, при изготовлении некоторых люминофоров, которые применяются в люминесцентных лампах, электронно-лучевых трубках, для изготовления рентгеновских экранов и др., поступающих затем в отходы. Так объём люминесцентных ламп в отходах производства предприятия «Мирнинский ГОК АЛРОСА» только за один год составляет 2,027 т (2005 г.). В г. Якутске ежегодно предприятиями сдается на утилизацию 50-60 тыс. люминесцентных ламп. Источники трития, существующие в селитебных зонах Восточной Сибири влияют на небольшую территорию, но иногда могут давать повышенные удельные активности, т.к. тритий сразу же включается в атмосферную воду и все, что было в выбросе, выпадет тут же на месте, на небольшом пространстве.

ВЫВОДЫ

Поступление трития в окружающую среду бореальной зоны Восточной Сибири и накопление изотопа в снежном покрове происходит путем естественной миграции в результате регионального атмосферного переноса и частично за счет поступления из природных геологических объектов. Тритий, поступающий из атмосферы и накапливающийся в снежном покрове, является основным источником изотопа для речных вод. Техногенные источники трития в регионе – селитебные и промышленные зоны не влияют на региональные значения ^3H . Среднее содержание трития в снежном покрове селитебных зон Восточной Сибири составляет 35 ТЕ, при-

мерно на 10% выше, чем в природных среднетазежных ландшафтах. Наблюдается зависимость между концентрацией трития в снежном покрове и численностью населения селитебных зон за счет увеличения количества источников изотопа в городах и промышленных зонах. Ис-

точники трития, существующие в более крупных населенных пунктах Восточной Сибири (Мирный, Якутск и другие) влияют на небольшую территорию, но в некоторых случаях могут давать локальные повышенные удельные активности.

Рис. 1. Зависимость между численностью жителей селитебных зон и концентрацией ^3H в снежном покрове

Населенные пункты: Б – Бердигестях, В – Вилуйск, ВВ – Верхневилуйск, М – Мирный, Н – Нюрба, С – Сунтары, Я – Якутск

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей природной среды Республики Саха (Якутия) в 2014 году». - Ижевск: ООО «Принт». - 2015, 304 с.
2. Котляков В.М., Гордиенко Ф. Г. (1982) Изотопная и геохимическая гляциология. – Л.; Гидрометеониздат, 288 с.
3. Макаров В.Н., Федосеев Н.Ф., Федосеева В.И. (1990) Геохимия снежного покрова Якутии. Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО А СССР, 152 с.
4. Федосеева В.И. (2003) Физико-химические закономерности миграции химических элементов в мерзлых грунтах и снеге. – Якутск: Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 140 с.
5. Arjun Makhijani, Brice Smith and Michael C. Thorne. (2007) Health Risks of Tritium: The Case for Strengthened Standards, Science for Democratic Action, Vol. 14, No. 4, 1-12.
6. Ravoire J., Lorus C e.a. (1970) Tritium content in a firn core from Antarctica. – J. Geophys. Res., v. 75, N 5722, 479-480.