

ТРИТИЙ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ МЕРЗЛОТНЫХ ЛАНДШАФТОВ**В. Н. Макаров**Институт мерзлотоведения Сибирского отделения РАН, ул. Мерзлотная 36,
677010 Якутск, Российская Федерация; mpi@ysn.ru

Определение химических (содержание макро- и микроэлементов) и физических параметров снежного покрова (высота, плотность, влагозапас) в малоисследованном районе Восточной Сибири, одной из областей мира, где обсерватории расположены наиболее редко, необходимо для мониторинга радиоактивного загрязнения снежного покрова территории России.

Тритий (^3H) – радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада ^3H – 12,3 года входит в состав молекул воды и присутствует во всех природных средах: в атмосферном воздухе, водах, почве, растительности, снежном покрове. В окружающей среде тритий находится преимущественно в виде окиси трития, которая является изотопной разновидностью воды (НТО), быстро включается в гидрологический цикл, постоянно поступает с водой в организмы человека, животных, растений. Природный тритий образуется в верхних слоях атмосферы на высотах 10–20 км в основном при ядерных реакциях, вызванных космическими лучами солнечного и галактического происхождения, и сохраняется в стратосфере долгое время.

Различаются два основных источника природного происхождения трития в снежном покрове: аэрозоли и газы, образованные на суше или в океане и уже существующие в атмосфере с момента ядерного синтеза вместе с дочерними продуктами распада, а также созданные путём взаимодействия космической радиации с земной атмосферой.

Техногенный тритий появился в окружающей среде в результате испытаний ядерного оружия и использования атомной энергии в мирных целях. 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 7,2 расп/мин на литр воды.

Глобальная распространённость трития, большой период полураспада (12,3 года), более высокая биологическая активность, чем у большинства других гамма-бета-излучающих изотопов, делают тритий генетически значимым изотопом.

Нашими исследованиями охвачены районы распространения мерзлотных ландшафтов в пределах арктической и бореальной зон Восточной Сибири.

Изучение содержания трития в снежном покрове проводилось в 1998 и 2013 г. путём маршрутных и точечных наблюдений в регионе, где эти параметры ранее не исследовались. Пробы снега на химический анализ отбирались на всю глубину снежного покрова в марте, перед началом снеготаяния. Общая протяжённость маршрутов составила около 8 тыс. км. Перепад высот мест отбора проб снега по маршрутам составил 2 358 м (абсолютные отметки от 90 м до 2448 м). На большей части региона снежный покров залегает 220–250 дней в году, в горных районах продолжительность достигает 260–280 дней. Все ландшафтно-маршрутные исследования проводились в марте, до начала снеготаяния. Расстояние между пунктами наблюдений по маршруту составляло около 50 км. Участки наблюдений располагались в типичных ландшафтах, в 150–200 м от автодороги. В каждом пункте проводилось 5–6 измерений высоты снега и определений его плотности, измерялась температура воздуха и снега (на поверхности и на почве). Высота снежного покрова в регионе вследствие антициклонального режима погоды сравнительно невелика. В среднетаёжных ландшафтах – 40 см, максимальная – в среднем 42 см, наблюдается в горно-таёжных ландшафтах, а в ландшафтах горных пустынь (выше 1 000 м) уменьшается до 29 см. Метеорологические показатели холодных сезонов соответствовали норме в многолетнем ряду.

Геохимические исследования проводились во второй половине марта. Метеорологические показатели холодных сезонов в период исследований соответствуют норме в многолетнем ряду, но количество осадков было выше зимой 1998 г. Преобладала безветренная штилевая погода, при которой происходит сильно выхолаживание земной поверхности. Средняя температура воздуха по маршрутам колебалась в пределах $-11,9 \dots -22,5$ °С при колебании в диапазоне $-5,0$ (1998 г.)... $-42,2$ °С (2013 г.).

Температура снега на поверхности почвы была постоянно отрицательной: $-1,0 \dots -20,3$ °С и составляла в среднем $-13,3$ °С.

Как указывалось выше, на большей части региона снежный покров залегает в течение 220–250 дней в году. Высота снежного покрова вследствие антициклонального режима погоды сравнительно невелика – 36–63 см (1998 г.) и 22–44 см (2013 г.). Характерной особенностью снежного покрова является небольшая плотность. Снег выпадает очень сухой и мало уплотняется в течение зимы. В марте 2013 г. его плотность перед началом снеготаяния изменялась от $0,112$ г/см³ до $0,175$ г/см³, в среднем $0,150$ г/см³.

Концентрация пылевых частиц в снежном покрове незначительна, в среднем $0,007$ г/л. По величине минерализации снеговые воды за пределами селитебных зон ультрапресные, с диапазоном колебания в пределах одного порядка $6,69$ – $9,24$ мг/л. Распределение главных ионов химического состава снежного покрова типично для континентальных районов и подчиняется общей гидрохимической закономерности, в соответствии с которой, первым анионом пресных и ультрапресных вод является HCO_3^- . По химическому составу снеговые воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые.

Относительное содержание SO_4^{2-} в снежном покрове не превышает 10 %-экв. ($0,29$ – $0,82$ мг/л), что отражает низкий уровень техногенного давления в регионе.

Величина рН в снежном покрове характерна для фоновых атмосферных осадков и колеблется в пределах $5,14$ – $6,29$. В загрязнённых техногенных районах Якутии для снега характерны щелочные значения рН.

Пробы снега на химический анализ отбирались на всю глубину снежного покрова перед началом периода снеготаяния. Снеговую воду очищали от механических загрязнений путём фильтрования и хранили в закрытых стеклянных ёмкостях.

Пробы 1998 г. анализировались на тритий в Национальном институте изучения окружающей среды (Япония).

Количественное определение трития в 2013 г. проводилось в Институте мерзлотоведения СО РАН на ультра-низкофоновом жидкостном сцинтилляционном спектрометрическом радиометре (QUANTULUS 1220 Perkin Elmer, Inc., США) с альфа/бета разделением, с пассивной и активной защитой (Регистрационный номер в Госреестре средств и измерений 19178). Концентрацию ³Н вычисляли относительным методом путём сравнения пробы со стандартным раствором. Ошибка бета-счёта на счётной установке не превышает 5 %, чувствительность метода составляет $0,7$ Бк/л. Химический анализ снеговой воды выполнен в лаборатории геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН

В 1998 г. диапазон концентрации трития в снежном покрове составил 3–18 ТЕ, при среднем значении 11 ТЕ, что соответствует планетарному глобальному фону. Так, концентрация трития в снежном покрове Земли Адели (Антарктида) составляла в среднем $11,3$ ТЕ. Максимальные значения трития в 1998 г. – 16 – 18 ТЕ были существенно ниже техногенного фона (42 Бк/л). Очевидно, что на большей части региона в конце XX в. техногенные источники изотопа полностью отсутствовали и поступление трития в окружающую среду происходило путём его естественной миграции в результате регионального атмосферного переноса и частично за счёт поступления из природных геологических объектов – месторождений углеводородов. Техногенные источники изотопа – селитебные и промышленные зоны расположены на значительных расстояниях друг от друга, небольшие по размерам и не влияют на региональные значения ³Н.

Почти во всех пробах снеговой воды в 2013 г. содержание трития превышало уровень глобального фона. На территории исследований в последние пятнадцать лет (с 1998 г.) не появилось существенных источников радиоактивного загрязнения окружающей среды и резкое (почти в 3 раза) возрастание концентрации трития в снежном покрове нельзя объяснить локальным техногенным воздействием. При отсутствии локального загрязнения это свидетельствует о появившемся внешнем источнике загрязнения радионуклидом атмосферы. В 2013 г. содержание трития в снежном покрове среднетаёжных ландшафтов региона выросло почти в три раза по сравнению с 1998 г. и составило в среднем 32 ТЕ, при вариации в пределах 8–70 ТЕ.

Показателем того, что содержание трития в снежном покрове мерзлотных ландшафтов обусловлено региональным атмосферным переносом, его естественной миграцией, является и то обстоятельство, что уровень средней концентрации ³Н в данных ландшафтах – 32 ТЕ (2013 г.), оказался аналогичен концентрации трития (27 – 34 ТЕ) в снежном покрове хребта Сунтар-Хаята, на высоте $2,6$ – $2,7$ км, в 600 км к востоку, где поступление трития за счёт дальнего переноса несомненно.

Корреляционный анализ показал существование значимых корреляционных связей в снежном покрове между величиной минерализации, pH, большинством макрокомпонентов (Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) и соединениями N (NO_3^- , NO_2^- и NH_4^+), т. е. с компонентами, определяющими химический состав снега. Тритий не образует значимых корреляционных связей с макрокомпонентами химического состава снега и структура их поступления из атмосферы иная, чем у трития, более соответствующая множеству локальных источников и ландшафтно-техногенной позиции участков, к которым приурочены аномалии.

В техногенных (селитебных) ландшафтах химический состав снежного покрова заметно отличается от природных значений. Концентрации NO_2^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} и гидрокарбонатов Ca и Mg возрастают в 2–6 раз. Концентрация трития в снежном покрове селитебных зон Центральной Якутии изменяется в пределах 13–64 ТЕ. Среднее содержание трития равно 35 ТЕ, примерно на 10 % выше, чем в природных ландшафтах. Редкие селитебные зоны в регионе исследований представлены двумя крупными для Якутии городами (Якутск – 320 и Мирный – 35 тыс. жителей) и небольшими городами и селами с численностью жителей от 6 до 10 тыс. человек. Наблюдается определённая зависимость между концентрацией трития в снежном покрове и численностью населения селитебных зон.

За последние 15 лет, с конца XX века, концентрация трития в снежном покрове региона увеличилась почти в три раза, с 11 ТЕ (1998 г.) до 32 ТЕ (2013 г.). Тем не менее, она примерно соответствует средней многолетней фоновой концентрации этого изотопа для территории Российской Федерации, которая в 2011 г. колебалась в пределах 18–29 ТЕ, и остаётся намного ниже предельно допустимой концентрации трития в воде, равной 124 ТЕ.

Увеличение концентрации трития в снежном покрове региона в 2013 г. по сравнению с данными конца XX в. вероятно связано с выбросами в атмосферу радионуклидов, в том числе и трития, вызванных катастрофой на АЭС «Фукусима-1» (11.03.2011 г.). Повышение объёмной активности техногенных радионуклидов в марте и апреле 2011 г. в приземной атмосфере на территории России» после аварии на АЭС «Фукусима-1» отмечено в Госдокладе Минприроды РФ (2012).

УДК 550.4

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ И ПЕТРОМАГНИТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ г. РЮСТЕНБУРГ (ЮАР)

А. Ф. Б. Мачомбе, М. В. Решетников

Саратовский национальный исследовательский государственный университет, геологический факультет,
ул. Астраханская 83, 410012, Саратов, Российская Федерация; rnv85@list.ru

В работе представлены результаты изучения эколого-геохимических и петромагнитных свойств почвенного покрова на территории города Рюстенбург (ЮАР). Работы проводились с целью оценки эколого-геохимического состояния почвенного покрова и оценки ущерба, нанесённого почвам, а также установления взаимосвязей между геохимическими и петромагнитными свойствами.

Рюстенбург (Rustenburg) – город в ЮАР, в провинции Трансвааль. 395 тыс. жителей (2001). Железнодорожной веткой соединён с магистралью Претория–Йоханнесбург. Центр крупных разработок платины, хромитов, также никеля. На территории города расположены табачные фабрики, пищевые предприятия. В районе города активно занимаются возделыванием цитрусовых, табака, хлопчатника.

В процессе работ отобрано 10 проб почв с глубин 0–20 см. Во всех образцах определено содержание кислоторастворимых форм (1 M HNO_3) тяжёлых металлов (Pb, Zn, Cu, Ni, Cr и Cd), а также измерена магнитная восприимчивость образцов (k) и её частотная зависимость (FD).

Кислоторастворимые формы тяжёлых металлов в исследуемых образцах были установлены в следующих концентрациях. Cu зафиксирована во всех образцах в концентрации от 5,5 до 25,5 мг/кг, при среднем значении 15,8 мг/кг. Zn – во всех образцах в концентрации от 12,2 до 74,2 мг/кг, при среднем 41,6 мг/кг. Ni – во всех образцах в концентрации от 8,7 до 39,2 мг/кг при среднем 21,4 мг/кг. Cd зафиксирован в 5 из 10 проб в концентрации от 0,01 до 0,05 мг/кг. Cr – в 2 из 10 проб в концентрации от 9,7 до 13,5 мг/кг.