

Тритий в снежном покрове бассейна р. Вилюй

В.Н. Макаров, Н.В. Торговкин

Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск

Исследовано распределение радиоактивного изотопа водорода – трития в снежном покрове бассейна р. Вилюй. В конце XX века поступление трития в окружающую среду региона и накопление изотопа в снежном покрове происходило в результате регионального атмосферного переноса и соответствовало концентрации изотопа в снежном покрове Южного полюса. К 2013 г. содержание трития в снежном покрове возросло почти в три раза. Наблюдается зависимость между концентрацией трития в снежном покрове и численностью населения селитебных зон. В настоящее время на территории региона существует долгоживущее техногенное радиоактивное загрязнение, обусловленное, главным образом, выпадением из атмосферы радиоактивных продуктов аварии на АЭС «Фукусима» в 2011 г.

Ключевые слова: снег, тритий, химический состав, ландшафты, Якутия.

This study examines the distribution of tritium, a radioactive isotope of hydrogen, in a snow cover in the Viluy River basin. In the late 20th century, tritium in the regional environment and its accumulation in snow originated from regional atmospheric transfer and had concentrations similar to those at the South Pole. By 2013, tritium concentrations in the snowcover increased nearly three times. The tritium concentrations in the snow cover correlate with population density. At present, long-living diffusive radioactive contamination is observed in the region caused mainly by radioactive fallout from the «Fukushima» disaster in 2011.

Key words: snow, tritium, chemical composition, landscapes, Yakutia.

Введение

Тритий (^3H) – радиоактивный изотоп водорода с периодом полураспада ^3H – 12,3 года входит в состав молекул воды и присутствует во всех природных средах: атмосферном воздухе, водах, почве, растительности, снежном покрове. В настоящее время его концентрации в окружающей среде обусловлены глобальными источниками: тритием естественного и искусственного происхождения.

Основная масса природного трития образуется в верхних слоях атмосферы на высотах 10–20 км при ядерных реакциях, вызванных космическими лучами солнечного и галактического происхождения, и сохраняется в стратосфере долгое время. Естественная миграция трития в окружающей среде происходит в основном в 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 це-

лях. Концентрацию трития обычно выражают в тритиевых единицах – TU, которые определяются как 1 атом трития на 10^{18} водородных атомов ($^3\text{H}/\text{H} = 10^{-18}$) и составляют около 7,2 расп./мин на 1 л воды.

Глобальная распространенность трития, относительно большой период полураспада и более высокая биологическая активность, чем у большинства других гамма-бет излучающих изотопов, делают тритий генетически значимым изотопом. Тритий присутствует во всех природных средах: в атмосферном воздухе, водах, почве, растительности, снежном покрове. Тритий легко и достаточно быстро окисляется в воде и наиболее распространенным методом оценки его содержания в окружающей среде является его содержание в атмосферных осадках. Снег, сохраняющий радионуклид в течение всего зимнего периода, служит наиболее надежным индикатором контроля радиоактивного загрязнения воздушной среды. Обладая высокой сорбционной способностью, снежинки поглощают из атмосферы значительную часть продуктов техногенеза и сохраняют накопленную информацию длительное время – в течение всего зимнего периода до снеготаяния. Поэтому анализ снежного покрова является одним из компонентов определения содержания трития

МАКАРОВ Владимир Николаевич – д.г.-м.н., проф., в.н.с., makarov@mpi. ysn.ru; ТОРГОВКИН Николай Владимирович – аспирант, nick1805torg@gmail.com.

в атмосфере. Одна проба, отобранная по всей высоте снежного покрова, дает представление о загрязнении за весь период – 6 месяцев, от установления снежного покрова до момента отбора пробы (конец марта).

Население городов и поселков виллюйских районов Якутии, прилежащих к районам подземных взрывов ядерных устройств и падения отделяемых частей ракетносителей, несмотря на информацию об отсутствии радиоактивного загрязнения, по-прежнему опасается такого загрязнения. С учетом этого и была проведена специальная работа по оценке содержания трития в снежном покрове.

Методика исследований

Маршрут, протяженностью 1200 км, располагался к западу от г. Якутска, вдоль федеральной автодороги «Виллюй», пересекал среднетаёжные мерзлотные ландшафты и достигал г. Мирный, центра алмазодобывающей промышленности РФ. В административном отношении в пределах маршрута находятся территории Мирнинского, Сунтарского, Нюрбинского, Верхневиллюйского, Виллюйского и Горного районов РС(Я), по большей мере не затронутые прямым антропогенным воздействием (рис. 1).

Расстояние между пунктами наблюдений по маршруту составляло 50 км. Участок наблюдений располагался в типичном ландшафте на расстоянии 150–200 м от автодороги. В каждом пункте проводилось 5–6 измерений высоты снежного покрова и определений его плотности, измерялась температура воздуха и снега на поверхности и почве.

Пробы снега на химический анализ отбира-

лись на всю глубину снежного покрова перед началом периода снеготаяния (13–16 марта). Снеговую воду очищали от механических загрязнений путем фильтрования и хранили в закрытых стеклянных емкостях. Для количественного определения трития в пробах воды проводили предварительное обогащение методом одноступенчатого электролиза. Метод основан на значительной разнице в скорости выделения легкого (протия) и тяжелых (дейтерия и трития) изотопов водорода при разрядке ионов на катоде в ходе электролитического разложения воды. Выделяющийся при этом молекулярный водород обогащается протием, а электролит – соответственно тритием и дейтерием. Количественное определение трития в 2013 г. осуществляли в Институте мерзлотоведения СО РАН на ультранизкофономом жидкостном сцинтилляционном спектрометрическом радиометре (QUANTULUS 1220 Perkin Elmer, Inc., США) с альфа- и бета-разделением, с пассивной и активной защитой (Регистрационный номер в Госреестре средств и измерений 19178), а его концентрацию вычисляли относительным методом путем сравнения пробы со стандартным раствором. Ошибка бета-счета на счетной установке не превышает 5%, чувствительность метода составляет 0,7 Бк/л, аналитики М.П. Бурнашева и М.И. Парфенов.

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

Химический анализ снеговой воды выполнен в лаборатории геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аттестат аккредитации № РОСС RU 0001.518584), аналитики Л.Ю. Бойцова, Р.М. Петухова и О.В. Шепелева.

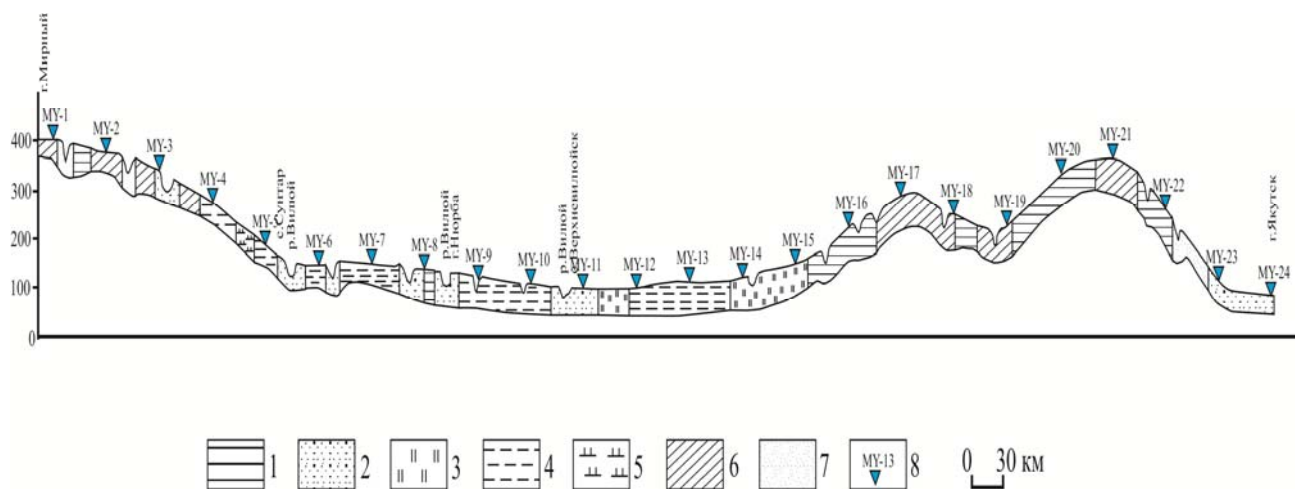


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдения.

Типы ландшафтов (местности): 1 – плакорный; 2 – низкотеррасовый; 3 – межгрядово-низинный; 4 – межаласный; 5 – древнетеррасный; 6 – склоновый; 7 – мелкодолинный (аллювиальный); 8 – пункты отбора проб

Результаты и обсуждение

Маршрутно-геохимические исследования проводились в 1998 и 2013 гг., во второй половине марта. Район исследований – Центрально-якутская низменность зимой находится под сильным воздействием Сибирского антициклона. Метеорологические показатели холодных сезонов 1998 и 2013 гг. соответствуют норме в многолетнем ряду, но количество осадков было выше зимой 1998 г. Преобладает безветренная штилевая погода, при которой происходит сильное выхолаживание земной поверхности. Средняя температура воздуха по маршрутам колебалась в пределах $-11,9...-22,5^{\circ}\text{C}$. Диапазон изменения температуры воздуха в пунктах наблюдения колебался от $-5,0$ (1998 г.) до $-42,2^{\circ}\text{C}$ (2013 г.). Температура снега на поверхности почвы была постоянно отрицательной: от $-1,0$ до $-20,3^{\circ}\text{C}$ и составляла в среднем $-13,3^{\circ}\text{C}$.

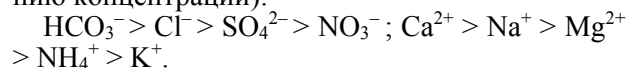
На большей части региона снежный покров залегает в течение 220–250 дней в году. Высота снежного покрова вследствие антициклонального режима погоды сравнительно невелика. Характерной особенностью снежного покрова региона является небольшая плотность. Снег выпадает очень сухой и мало уплотняется в течение зимы. В марте 2013 г. его плотность перед началом снеготаяния составила в среднем $0,150\text{ г/см}^3$.

Концентрация пылевых частиц в снежном покрове незначительна, в среднем $0,007\text{ г/л}$. В табл. 1 приведены полученные нами данные о параметрах снега, температуре воздуха и снега на поверхности почвы в этот период.

Снеговая вода за пределами селитебных зон ультрапресная, с диапазоном колебания величины минерализации в пределах одного порядка $6,69 - 9,24\text{ мг/л}$.

Для снежного покрова характерно следующее соотношение макрокомпонентов (по уменьше-

нию концентрации):



Распределение макрокомпонентов 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.

Преобладающее влияние на процессы формирования химического состава снежного покрова в среднетаёжных мерзлотных ландшафтах оказывают соли континентального происхождения. Об этом свидетельствует высокое содержание гидрокарбонатов кальция ($46-70\%$ экв.). Соли морского происхождения составляют всего около 18% от общего количества солей.

Относительное содержание сульфат-иона в снежном покрове не превышает 10% экв. ($0,29-0,82\text{ мг/л}$), что отражает низкий уровень техногенного давления в регионе.

Величина pH в снежном покрове присуща для фоновых атмосферных осадков и колеблется в пределах $5,14-6,29$. В загрязнённых техногенных районах Якутии для снега характерны щелочные значения pH [1].

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 [2]. Очевидно, что в снежном покрове вилуйских районов Якутии в конце XX века техногенные источники изотопа полностью отсутствовали и поступление трития в окружающую среду происходило путем его естественной миграции в результате регионального атмосферного переноса и частично за счет 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 ^3H . На рис. 2 показано изменение концентрации трития в снежном покрове по маршруту исследований.

Почти во всех пробах снеговой воды в 2013 г. содержание трития превышало уровень планетарного глобального фона. На территории исследований в последние пятнадцать лет (с 1998 г.) не появилось существенных источников радиоактивного загрязнения окружающей среды и резкое возрастание концентрации трития в снежном покрове нельзя

Т а б л и ц а 1

Параметры снежного покрова среднетаёжных криогенных ландшафтов (абс. отм. 97–363 м)

Параметры	t, °C		Высота снега, см	Плотность снега, г/см³	T, TE
	воздух	снег на почве			
1998 г. (март 19–22), n=45					
Минимум	–5,0	–1,0	36,0	0,157	2,0±0,1
Максимум	–16,0	–15,0	63,0	0,266	17,4±2,5
Среднее	–11,2	–5,5	47,0	0,204	11,2±2,1
2013 г. (март 13–16), n=24					
Минимум	–11,6	–4,7	22,0	0,112	8,0±1,5
Максимум	–42,2	–20,3	44,0	0,175	70,0± 5,8
Среднее	–22,5	–13,3	32,0	0,150	32,0± 4,0

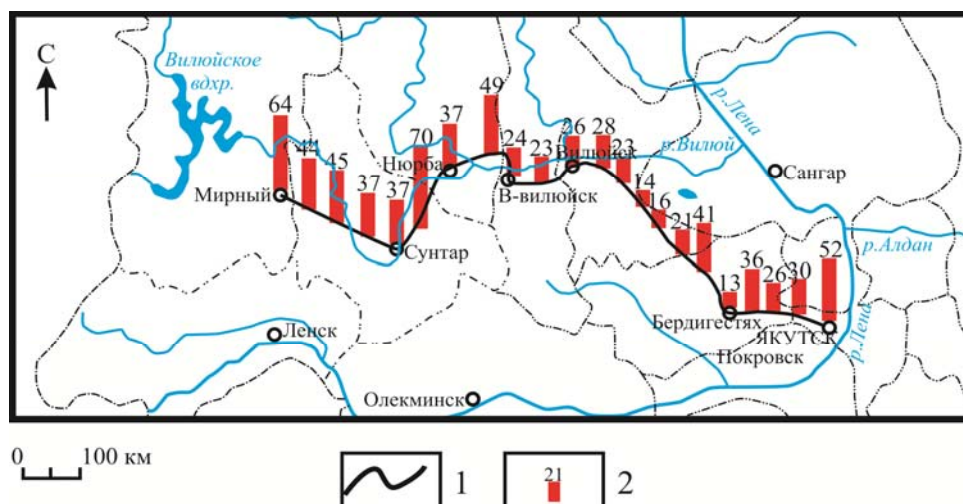


Рис. 2. Содержание трития в снежном покрове (2013 г.): 1 – маршрут; 2 – содержание ^3H , ТЕ

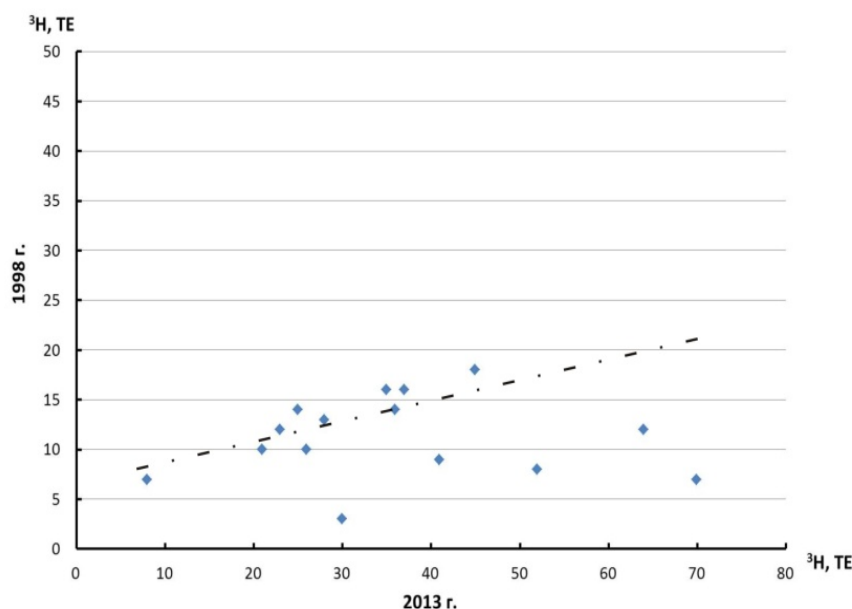


Рис. 3. Соотношение концентрации трития в снежном покрове в 1998 и 2013 гг.

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 в вилуйских районах Якутии возросло почти в три раза по сравнению с 1998 г. и составило в среднем 32 ТЕ при вариации в пределах 8–70 ТЕ (рис. 3).

Содержание трития в снежном покрове региона, по-видимому, обусловлено региональным атмосферным переносом и уровень средней концентрации ^3H в среднетаёжных ландшафтах (32 ТЕ, 2013 г.) аналогичен концентрации трития (27–34 ТЕ) в снежном покрове ландшафтов

горных пустынь хребта Сунтар-Хаята на высотах 2,5–2,7 км.

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. В то же 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 водоёмах, 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 (табл. 2).

Распределение трития и сульфат-иона в снежном покрове существенно различается. Основным источником сульфатов в атмосфере региона являются техногенные выбросы [1], в то время как для трития преобладает региональный атмосферный перенос.

Распределение трития и сульфат-иона в снежном покрове существенно различается.

Основным источником сульфатов в атмосфере региона являются техногенные выбросы [1], в то время как для трития преобладает региональный атмосферный перенос.

Таблица 2

Распределение трития и сульфат-иона в снежном покрове на различном субстрате

Слой снега	Высота, см	Почвы (склоновый тип местности)		Лед (р.Вилуй)	
		^3H , ТЕ	SO_4^{2-} , мг/л	^3H , ТЕ	SO_4^{2-} , мг/л
Верхний	20–30	17	1,118	14	0,884
Средний	10–20	10	0,681	17	0,892
Нижний	0–10	36	0,576	12	0,969

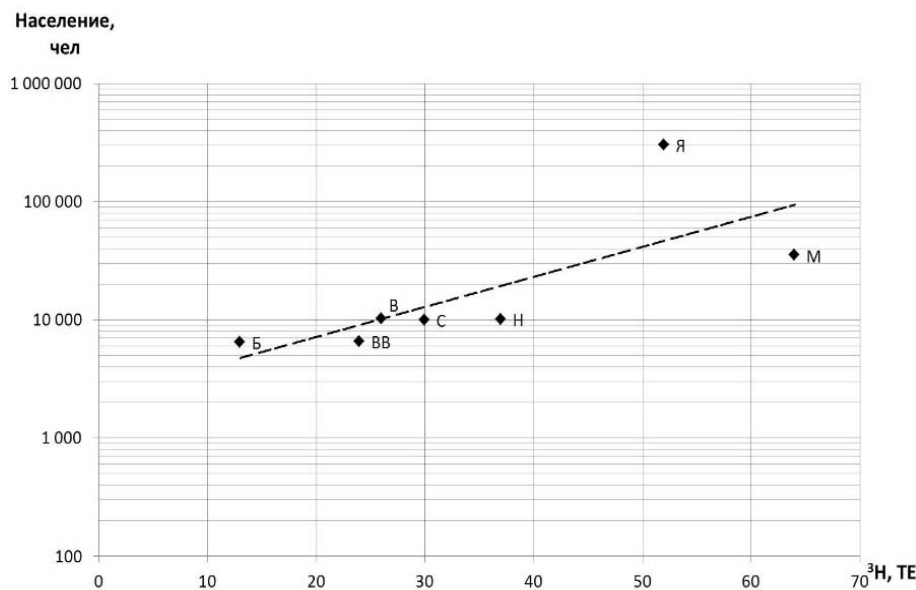
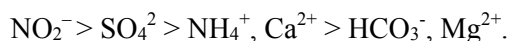


Рис. 4. Зависимость между численностью жителей селитебных зон Якутии и концентрацией ^3H в снежном покрове.

Города и села: Б – Бердигестях, В – Вилуйск, ВВ – Верхневилуйск, М – Мирный, Н – Нюрба, С – Сунтар, Я – Якутск

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^+), т.е. с компонентами, определяющими химический состав снега. Значимые корреляционные связи трития с макрокомпонентами химического состава снега отсутствуют. Очевидно, структура поступления изотопа из атмосферы в снежный покров региона иная, чем у главных ионов, и мало зависит от локальных источников.

В техногенных (селитебных) ландшафтах региона 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:



Концентрация трития в снежном покрове селитебных зон изменяется в пределах 13–64 ТЕ. Среднее содержание трития равно 35 ТЕ, примерно на 10% выше, чем в природных ландшафтах Якутии. Редкие селитебные зоны в регионе исследований представлены двумя крупными для Якутии городами (Якутск и Мирный) и небольшими городами и селами с численностью жителей от 6 до 10 тыс. человек. Наблюда-

ется определенная зависимость между численностью населения (увеличением количества источников изотопа) и концентрацией трития в снежном покрове селитебных зон (рис. 4).

В селитебных зонах Центральной Якутии 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 хозяйственных 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 объем люминесцентных ламп в отходах производства предприятия «Мирнинский ГОК АЛРОСА» только за один год составляет 2,027 т (2001 г.). В г. Якутске ежегодно предприятиями сдается на утилизацию 50–60 тыс. люминесцентных ламп.

Источники трития, существующие в селитебных зонах Якутии, 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.

За последние 15 лет, с конца XX века, средняя концентрация трития в снежном покрове региона увеличилась почти в три раза, с 11 ТЕ (1998 г.) до 32 ТЕ (2013 г.). После аварии на японской АЭС «Фукусима-1» наблюдалось повышение объемной активности техногенных радионуклидов в марте и апреле 2011 г. в приземной атмосфере и на территории России [3]. По данным [4], объемная активность трития в атмосферных осадках на территории Якутии в 2011 г. составляла 26 ТЕ, примерно на $\frac{1}{4}$ выше уровня 2010 г. (21 ТЕ). Считается, что искусственные радиоактивные вещества, попавшие в биосферу Якутии в результате трансграничного переноса продуктов аварии на японской АЭС «Фукусима-1», оказали кратковременное неблагоприятное

гоприятное воздействие на окружающую среду [3].

Увеличение концентрации трития в снежном покрове вилуйских районов Якутии в 2013 г. по сравнению с данными конца XX века можно объяснить воздействием выбросов в атмосферу радионуклидов, в том числе и трития, при катастрофе на АЭС «Фукусима-1» (11.03.2011г.), влияние которого может ощущаться до начала двадцатых годов XXI века.

Литература

1. Макаров В.Н., Федосеев Н.Ф., Федосеева В.И. Геохимия снежного покрова Якутии.

– Якутск: Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1990. – 152 с.

2. Ravoire J., Lorius C. et al. Tritium content in a firn core from Antarctica. – J. Geophys. Res. – 1970. – V. 75, № 5722. – P. 479–480.

3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011 году». – М.: МПР России, 2012. – 351 с.

4. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей природной среды Республики Саха (Якутия) в 2011 году / Правительство Республики Саха (Якутия); М-во охраны природы Республики Саха (Якутия). – Якутск: Дани-Алмас, 2012. – 216 с.

Поступила в редакцию 07.10.2014

УДК 569.614

Шерстистый мамонт (*Mammuthus primigenius*) из местонахождения «Селлях»

В.В. Плотников, Е.Н. Мащенко*, Г.Г. Боескоров**, А.В. Протопопов, А.И. Климовский, С.Д. Колесов, И.И. Колодезников, ван дер Плихт Й.***

Академия наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск

* Палеонтологический институт РАН, г. Москва

** Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, г. Якутск

*** Факультет математики и естественных наук Университета Гронинген, г. Гронинген

Представлены данные о мамонтовой фауне местонахождения «Селлях» Усть-Янского района Республики Саха (Якутия). Место находки было обнаружено в 2012 г. местными недропользователями–сборщиками бивней на правом берегу р. Селлях, впадающей в Селляхскую губу. Местонахождение характеризуется, в основном, скоплением костных остатков *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799). Остатки других крупных млекопитающих мамонтовой фауны представлены единичными находками трех видов – *Equus lenensis* (Russanov, 1968), *Bison* sp., *Coelodonta antiquitatis* (Blumenbach, 1799). На местонахождении собрано 62 экземпляра костей от разных частей скелетов двадцати разновозрастных особей. Собранный на Селляхе палеонтологический материал обрабатывался по стандартной методике, используемой для морфометрических исследований крупных млекопитающих. Измерения проводились рулеткой и электронным штангенциркулем. Для определения размерно-возрастных групп был использован материал Е.Н. Мащенко (1992). Предварительные данные о возрастном и половом составе особей, погибших в Селляхе, сходны с возрастным и половым составом семейной группы современных африканских слонов *Loxodonta africana* (Blumenbach, 1797). Результаты радиоуглеродных датировок, проведенных в г. Гронинген (Нидерланды), коррелируются со временем конца позднего плейстоцена.

Ключевые слова: шерстистый мамонт *Mammuthus primigenius*, поздний плейстоцен, р. Селлях, структура группы.

ПЛОТНИКОВ Валерий Валерьевич – к.б.н., с.н.с., mammuthus@mail.ru; *МАЩЕНКО Евгений Николаевич – к.б.н., с.н.с., evmasch@mail.ru; **БОЕСКОРОВ Геннадий Гаврилович – д.б.н., в.н.с., gboeskorov@mail.ru; ПРОТОПОПОВ Альберт Васильевич – к.б.н., в.н.с., a.protopopov@mail.ru; КЛИМОВСКИЙ Айсен Иванович – м.н.с., cool.propagandist@yandex.ru; КОЛЕСОВ Станислав Дмитриевич – м.н.с., kolesov.stanislav@mail.ru; КОЛОДЕЗНИКОВ Игорь Иннокентьевич – д.г.-м.н., президент АН РС (Я), anrsya@mail.ru; ***Йоханес ван дер Плихт – проф. фак-та математики и естественных наук Университета Гронинген, j.van.der.plicht@rug.nl.