

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ТРИТИЯ В ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОДЕ ОБЪЕКТА МИРНОГО ПОДЗЕМНОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА «КРИСТАЛЛ» В 2018 Г.

*Светлана Юрьевна Артамонова*

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)373-21-61, e-mail: artam@igm.nsc.ru

Рассматривается содержание техногенного радионуклида трития в поверхностных водах района мирного подземного ядерного взрыва «Кристалл» (Западная Якутия). Выявлено, что в 2018 г. объемная активность трития в поверхностных водах площадки боевой скважины достигала всего 12 Бк/л, что в 630 раз ниже уровня вмешательства для питьевой воды (7600 Бк/л) согласно действующих норм радиационной безопасности, но при этом она почти в 5,5 раза выше регионального фоновое уровня трития в речной воде (около 2,2 Бк/л). Работа выполнена с использованием жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии по государственному заданию ИГМ СО РАН и при поддержке гранта РФФИ №18-45-140020 «Особенности ядерного техногенеза на примере объекта мирного подземного ядерного взрыва «Кристалл».

**Ключевые слова:** поверхностные воды, подземные рассолы, мирный подземный ядерный взрыв, геологическая среда, тритий.

## SPREADING OF TRITIUM IN SURFACE WATER OF THE SITE OF THE PEACEFUL UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION «CRYSTAL» IN 2018

*Svetlana Yu. Artamonova*

V. S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Senior Researcher, phone: (383)373-21-61, e-mail: artam@igm.nsc.ru

The content of technogenic radionuclide tritium in surface water of peaceful underground nuclear explosion «Crystal» site is considered. The volumic activity of tritium in surface water of the explosion well reaches 12 Bq/l in 2018. It is 630 times less than the intervention limit of drinking water (7600 Bq/kg) according to radiation safety standards. At once it is in 5,5 times higher than the regional background level of tritium activity in river water (in the order of 2,2 Bq/l). The work is done with the help of liquid-scintillation spectrometry on state assignment of IGM SB RAS and on the project No. 18-45-140020 «Features of nuclear technogenesis by the example of the object of the peaceful underground nuclear explosion «Crystal» supported by the Russian foundation for basic research (RFBR).

**Key words:** surface water, underground brines, peaceful underground nuclear explosion, geological environment, tritium.

### *Введение*

Воздействие ядерных технологий на окружающую среду, разное по типу и масштабам, объединено под термином ядерный техногенез. Мирные подзем-

ные ядерные взрывы (ПЯВ) относятся к такому виду техногенеза. Высокая экологическая значимость ядерного техногенеза не вызывает сомнений, поскольку с ним связаны риски распространения радионуклидов и специфической группы химических элементов в среде обитания человека [1]. В ходе выполнения Государственной программы СССР №7 «Ядерные взрывы для народного хозяйства» с 15.01.1965 г. по 06.09.1988 г. было произведено 124 ПЯВ [2] общей мощностью 1783,69 кт в тротиловом эквиваленте (ТЭ).

ПЯВ «Кристалл» мощностью 1,7 кт в тротиловом эквиваленте был произведен 2 октября 1974 г. в 4,5 км к северо-востоку от кимберлитовой трубки «Удачная» на глубине 98 м в мерзлых породах (рис. 1). В 2006 г. для улучшения радиационной обстановки над боевой скважиной ПЯВ «Кристалл» была создана насыпь диаметром до 300 м и высотой до 20 м из обломков пустых пород из карьера кимберлитовой трубки «Удачная», расположенного поблизости (рис. 1, в).

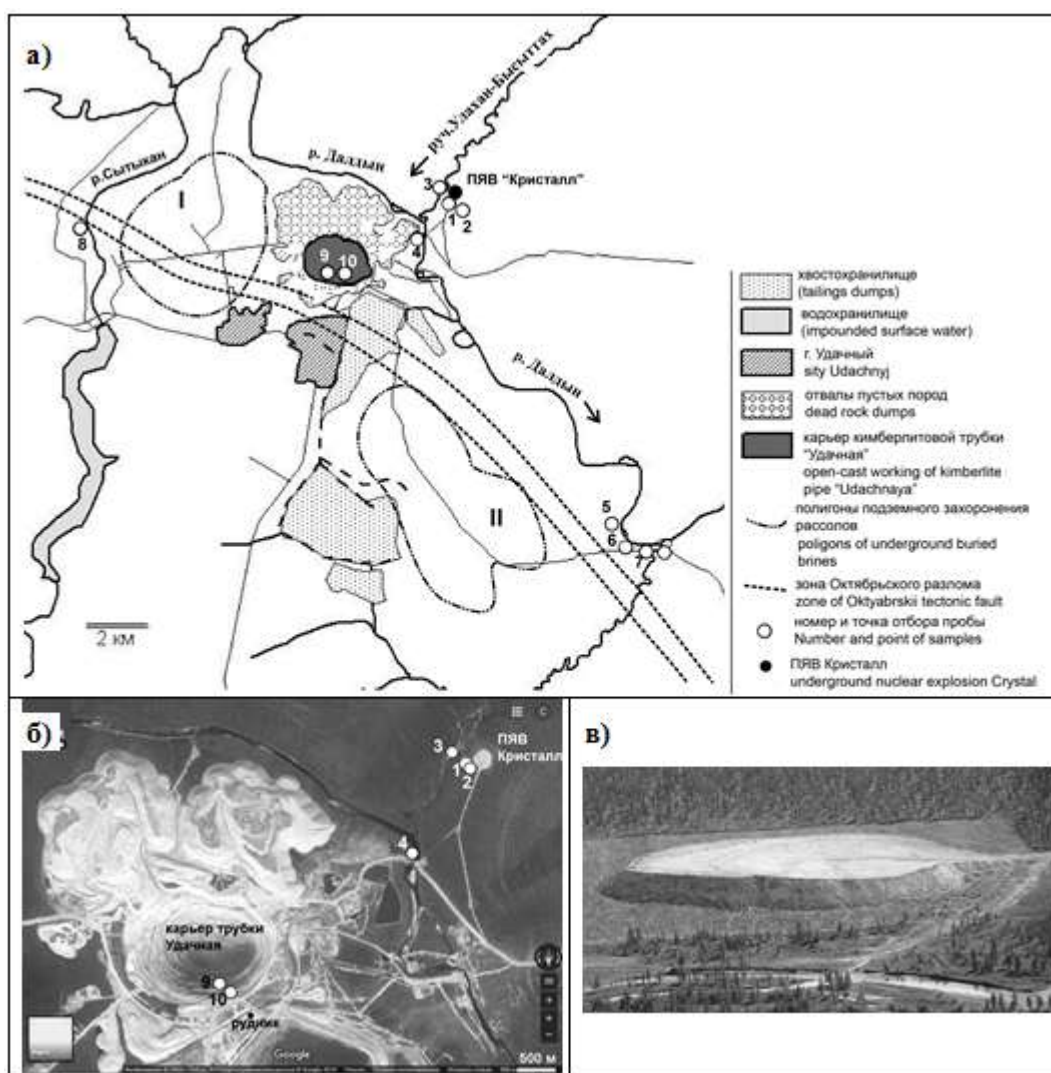


Рис.1. Схема отбора проб в районе ПЯВ «Кристалл» в 2018 г. (а), карьер кимберлитовой трубки «Удачная» в 4,5 км к юго-западу от ПЯВ «Кристалл» (на космоснимке виден «саркофаг») (б), насыпь из карбонатных горных пород – «саркофаг» над боевой скважиной ПЯВ «Кристалл» (фото П.И. Собакина) (в)

Объект ПЯВ «Кристалл» располагается в непосредственной близости от г. Удачный и промышленных объектов алмазодобычи на кимберлитовых трубках «Удачная» и «Зарница». В связи с этим крайне важно изучить геоэкологическое состояние района и выявить надежные изотопно-геохимические индикаторы выхода радионуклидов на поверхность земли. Оценка современного состояния геотехногенной системы «объект ПЯВ «Кристалл» – вмещающая геологическая среда – поверхность земли» является весьма актуальной геоэкологической проблемой, имеющей, в первую очередь, прикладное значение – обеспечение радиационной безопасности для населения и персонала добывающих компаний.

Целью настоящей работы было определить содержание трития в поверхностных водах района ПЯВ «Кристалл» с применением жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии для оценки современной радиоэкологической обстановки.

### *Методы и материалы*

В августе 2018 г. проведены экспедиционные работы на объекте ПЯВ «Кристалл». Всего отобрано 8 проб поверхностных вод, в том числе из ручья, вытекающего из-под «саркофага» ПЯВ «Кристалл», из ручья Улахан-Бысыттах и из р. Далдын по течению – по мере удаления от объекта ПЯВ «Кристалл» (рис. 1, а).

Для анализа активности трития методом жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии пробы воды предварительно подвергались дистилляции в присутствии перманганата и гидроксида калия для устранения мешающего влияния органических примесей, вызывающих гашение сцинтилляционного свечения трития. Аликвоты конденсата водяного пара, по 8 мл из каждой пробы, были помещены в пластиковые виалы, в каждую из которых было добавлено по 12 мл сцинтиллятора Optiphase Hisafe3. После смешивания виалы закрывали пробкой и встряхивали в течение 2 минут до полного смешивания пробы со сцинтилляционным коктейлем. Перед измерением смесь выдерживалась в темном и прохладном месте в течение 24 часов для стабилизации люминесценции. Время измерения одной пробы составляло 24 часа. Удельная активность трития определялась жидкостно-сцинтилляционным методом с помощью спектрометра-радиометра Quantulus-1220 фирмы Wallac (аналитик – к.т.н. В.В. Симонова, Аналитический центр изотопных исследований ИМКЭС СО РАН, г. Томск). Калибровка спектрометра-радиометра проведена по стандарту № 2200435 - 3H (активность – 204500 dpm). Минимальная детектируемая активность  $^3\text{H}$  равна 1 Бк/л, относительная погрешность не превышает 15 %.

### *Результаты*

Данные объемной активности трития в пробах поверхностных вод приведены в таблице. Расположение точек пробоотбора см. рис. 1, а.

Объемная активность трития в пробах поверхностной воды  
в районе ПЯВ «Кристалл» в 2018 г.

№ пробы	Расстояние от ПЯВ «Кристалл», км	Географические координаты		Объемная активность трития $^3\text{H}$ , Бк/л
		северная широта	восточная долгота	
1	0.18	66°27'25.06"	112°23'46.77"	12
2	0.22	66° 27'29.58"	112°23'46.46"	8.8
3	0.35	66° 27'30.57"	112°23'34.09"	6.9
4	1.6	66°26'42.72"	112°22'48.04"	6.6
5	12.4	66°22' 0.23"	112°32'37.25"	10.2
6	12.9	66°21'47.7"	112°32'27"	7.4
7	13.4	66° 21' 30.85"	112° 30' 36"	8.5
8	12.1	66° 26' 2.43"	112° 8' 8.26"	9.6

### *Обсуждение*

При ПЯВ возникают зоны механического разрушения (дробления, трещиноватости, столбы обрушения), образуется большое количество разнообразных радиоизотопов. Основные источники радиоактивности сосредоточены в полости взрыва. В течение первого года после взрыва основная масса короткоживущих изотопов распадается. Далее в течение длительного периода времени (до 150 лет после взрыва) основными носителями активности являются тритий  $^3\text{H}$  (остатки термоядерного материала, образовавшиеся при взрыве) с периодом полураспада  $T_{1/2}=12,3$  лет, осколочные радионуклиды  $^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2}=29,1$  лет),  $^{137}\text{Cs}$  ( $T_{1/2}=30,0$  лет) и изотопы Pu с более длительными периодами полураспада.

По прошествии 44 лет после взрыва  $^3\text{H}$  остается одним из основных индикаторов распространения радионуклидов в геотехногенной системе «полость ПЯВ – вмещающая геологическая среда – поверхность земли» в силу его высокой водной подвижности. Тот факт, что для получения количественных данных активности трития требуется совсем небольшой объем пробы (200-500 мл), а также относительная простота лабораторной подготовки и последующих измерений обуславливают приоритетность изучения содержания трития на начальном этапе исследований для оценки радиационной обстановки в районах ПЯВ.

Результаты жидкостно-сцинтилляционной спектрометрии в 2018 г. (таблица) показали низкую объемную активность трития в поверхностных водах: от 6,6 до 12 Бк/л. Это в 630–1150 раз меньше уровня вмешательства питьевой воды (УВ) по тритию, равного 7600 Бк/кг, согласно нормам радиационной безопасности [3]. Вместе с тем их распределение гетерогенно и отвечает существующей радиоэкологической ситуации в районе: активность трития увеличивается у выхода подземных рассолов на поверхность и снижается по мере удаления от них. Разрушение сплошности горных пород и деградация многолетней мерзлоты привели к формированию флюидопроницаемой ослабленной зоны

радиусом до 200 м вокруг боевой скважины ПЯВ «Кристалл». Зондирование методом переходных процессов показало наличие локальной гидрогеологической аномалии – подъем напорных подземных рассолов на 260-300 м под эпицентром взрыва [4]. Геофизические данные подтверждались результатами анализов. Было выявлено просачивание подземных рассолов с тритием, радиостронцием в пределах ослабленной зоны ПЯВ «Кристалл» [4]. И в 2018 г. максимальная активность трития в 12 Бк/л выявлена именно здесь – в небольшом ручье, вытекающем из-под саркофага над боевой скважиной ПЯВ «Кристалл» (т.1, таблица). А на удалении в 40-50 м от т.1. активность трития в небольшом термокарстовом водоеме снижается до 8,8 Бк/л (т.2, таблица), еще дальше, в 170-180 м в ручье Улахан-Бысыттах активность трития – всего 6,9 Бк/л (т.3, таблица).

В поверхностных водах ослабленной зоны вокруг боевой скважины ПЯВ «Кристалл» активность трития в 2002 г. составила 26,4–221 Бк/л [5], в 2008 г. – 6,0–27 Бк/л [4], в 2015 г. – 5-18 Бк/л, 2018 г. – 8,8–12 Бк/л (рис. 2). Резкое снижение активности трития в ручье площадки боевой скважины ПЯВ «Кристалл» на один порядок установлено в 2008 г. Резкое снижение активности в промежуток 6 лет не может быть обусловлено распадом трития. Основным фактором снижения выхода техногенных радионуклидов на площадке ПЯВ видится в сооружении «саркофага» – насыпи из пустых карбонатных пород карьера кимберлитовой трубки «Удачная» над устьем боевой скважины в 2006 г. диаметром примерно 300 м и высотой до 20 м (рис.1в). По-видимому, «саркофаг» стал не только простым физическим барьером на пути миграции техногенных радионуклидов, но и привел к наращиванию и восстановлению мерзлоты над центром взрыва согласно ранее сделанным Киселевым В.В. математическим расчетам [6]. Расчеты проекта «саркофага» [6] и его действия, по-видимому, оправдали себя и в насыпи действительно появилась мерзлота, которая должна была нарастать и стабилизироваться с каждым зимним сезоном.

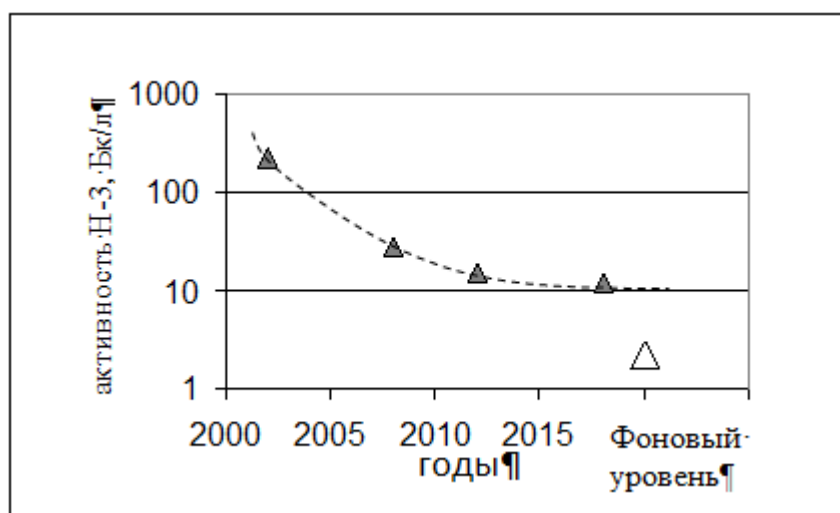


Рис. 2. Динамика снижения объемной активности трития (Бк/л) в ручье площадки боевой скважины «Кристалл» (по горизонтали показаны годы)

Таким образом, «саркофаг» стал эффективным барьером против выхода радионуклидов из центра взрыва по ослабленной зоне вокруг боевой скважины и выполнил свое предназначение, значительно улучшив радиоэкологическую обстановку в окрестностях объекта ПЯВ «Кристалл».

Далее с годами активность трития в поверхностных водах площадки боевой скважины ПЯВ «Кристалл» снижалась плавно, близко к скорости распада трития. Сделано заключение, что с 2008 по 2018 гг. последующее плавное снижение активности трития в 1,8 раз происходило большей частью за счет радиоактивного распада.

В пробах поверхностных вод, отобранных в 2018 г. из водотоков района, активность трития существенно ниже, чем в пробах площадки боевой скважины ПЯВ «Кристалл»: всего от 6,6 до 10,2 Бк/л (таблица). Относительное повышение активности трития в речной воде в т.5 и т.8 (таблица, рис. 1) до 9,6 и 10,2 Бк/л предположительно указывает на места выхода на поверхность подземных рассолов, мигрирующих из расположенных поблизости полигонов подземного захоронения, но этот вопрос будет рассмотрен в отдельной статье.

Нужно подчеркнуть, что средняя активность трития в речной воде Республики Саха (Якутия) в 2014 г. составила 2,18 Бк/л, которая принята за региональный уровень [7]. На фоновом участке в 30 км к югу от г. Якутска в поверхностных водах нами установлена объемная активность 2,04 Бк/л, соответствующая региональному уровню. При сравнении с региональным уровнем активность трития в водотоках района ПЯВ «Кристалл» оказалась выше от 3 до 5 раз. Данный факт указывает на более обширное влияние объекта ПЯВ «Кристалл» на природную среду района и требует дальнейшего детального изучения.

### *Заключение*

1. В поверхностной воде площадки боевой скважины ПЯВ «Кристалл» активность трития примерно в 10 раз снизилась после сооружения из горных пород искусственной насыпи над устьем боевой скважины диаметром примерно 300 м и высотой до 20 м – «саркофага», который стал эффективным барьером против выхода техногенных радионуклидов из недр на поверхность земли. Предполагается, что именно восстановление мерзлоты в насыпи и под ней усилило эффективность барьера и улучшило радиоэкологическую обстановку на местности.

2. С 2008 г. идет постепенное снижение активности трития в поверхностных водах, по-видимому, в основном вследствие его радиоактивного распада. В настоящее время максимальная объемная активность трития в поверхностных водах площадки боевой скважины ПЯВ «Кристалл» составляет всего 12 Бк/л.

3. Выявленная в 2018 г. активность трития в водотоках района ПЯВ «Кристалл» превышает региональный фоновый уровень от 3 до 5 раз, но при этом в 760-1150 раз ниже уровня вмешательства (7600 Бк/кг) для питьевой воды согласно действующих норм радиационной безопасности и не представляют опасности для населения и работников горнодобывающих компаний.

*Автор благодарит ГОК «Удачный» АК «АЛРОСА» и главного гидрогеолога С.С. Павлова за поддержку и за помощь в экспедиционных работах.*

*Работа выполнена по государственному заданию ИГМ СО РАН и при поддержке гранта РФФИ №18-45-140020 «Особенности ядерного техногенеза на примере объекта мирного подземного ядерного взрыва «Кристалл».*

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Яблоков А.В. Миф о безопасности и эффективности мирных подземных ядерных взрывов. – М.: ЦЭПР, 2003. – 176 с.
2. Мирные ядерные взрывы: обеспечение общей и радиационной безопасности при их проведении / Рук. Логачев В.А. – М: ИздАТ, 2001. – 512 с.
3. СанПиН 2.6.1.2523–09. Нормы радиационной безопасности (НРБ 99/ 2009). – М., 2009. – 116 с.
4. Геоэкологическая модель района мирного подземного ядерного взрыва Кристалл (Якутия) / С.Ю. Артамонова, Л.Г. Бондарева, Е.Ю. Антонов, Н.О. Кожевников // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2012. – № 2. – С. 143-158.
5. Голубов Б.Н., Сапожников Ю.А., Горальчук А.В. Миграция радионуклидов из полости подземного термоядерного взрыва «Кристалл» в алмазодобывающий карьер «Удачный»// Радиационная безопасность Республики Саха (Якутия): Материалы II Республиканской научн.-практич. конф. (Якутск, 16-18 декабря 2003 г.). – Якутск: ЯФ ГУ «Изд-во СО РАН», 2004. – С. 182-192.
6. Киселев В.В., Хохолов Ю.А., Каймонов М.В. Возведение защитных саркофагов полуглубленных могильников твердых радиоактивных отходов в криолитозоне // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2010. – № 3. – С. 255-260.
7. Государственный доклад Министерства охраны природы РС(Я), 2014. [электронный ресурс]: <http://old.sakha.gov.ru/sites/default/files/5/files/%D0%B3%D0%BE%D1%81%D0%B4%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4%202014.pdf>.

© С. Ю. Артамонова, 2019