

## РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (U, Th) В СНЕГОВОМ ПОКРОВЕ В РАЙОНАХ РАСПОЛОЖЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ ЗАВОДОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д. А. Володина, А. В. Таловская, Е. Г. Язиков

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Томск, Россия, volodina.da2014@yandex.ru*

## RADIOACTIVE ELEMENTS (U, Th) IN THE SNOW COVER IN THE AREAS OF LOCATION OF CEMENT PLANTS IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

D. A. Volodina, A. V. Talovskaya, E. G. Yazikov

*Tomsk Polytechnic University  
Tomsk, Russia, volodina.da2014@yandex.ru*

The article deals with the content of radioactive elements (U, Th) in the solid and liquid phases of the snow cover collected from the vicinity of cement production plants. The authors studied the elemental composition of the samples of the solid phase of the snow cover and snowmelt water using inductively coupled plasma mass spectrometry and instrumental neutron activation analysis. Based on the analysis results, the authors calculated such ecological and geochemical indicators as distribution coefficient, balance ratios, and concentration coefficient.

### Введение

Предприятия по производству цемента являются одним из источников выбросов пыли в атмосферный воздух. Химический состав пылевых выбросов разнообразен. В работах [8–9] показано наличие в цементной пыли содержание различных микроэлементов, включая уран и торий. Целью данной работы является оценка содержаний радиоактивных элементов в пробах твердой и жидкой фаз снежного покрова, отобранных в районах расположения цементных производств.

### Материалы и методы

В 2016 и 2019 гг. на территории Кемеровской (цементный завод 1) и Новосибирской (цементный завод 2) областей был осуществлен отбор проб снежного покрова в окрестностях цементных заводов. Пробы отбирались по векторной системе с учетом главенствующего (южное, юго-западное) направления ветра. Отбор проб производился в зонах влияния цементных заводов, районах расположения карьеров по добыче сырьевых материалов для производства цемента, а также жилых частях исследуемых территорий. Всего было отобрано 15 проб снежного покрова в районе расположения цементного завода 1 и 16 проб – цементного завода 2.

Для отбора проб необходимы полиэтиленовые пакеты (объем 30 литров), пластмассовая лопатка, рулетка, бирки с номерами проб, блокнот и карандаш. Пробы отбирались методом шурфа на всю мощность снежного покрова, кроме пятисантиметрового слоя над почвой для исключения попадания и загрязнения проб литогенной составляющей. С помощью рулетки фиксируется площадь шурфа и глубина. Отбор проб снежного покрова производят в пери-

од наибольшего влагозапаса в снеге и записывают время (в сутках) от начала снегостава до дня отбора проб. Вес каждой пробы составляет не менее 15 кг для получения оптимального веса твердой фазы снега для дальнейшего изучения.

Пробоподготовка проб снежного покрова осуществлялась согласно работам [1, 3, 5, 7]. После отбора пробы снежного покрова доставляются в лабораторию и в пластмассовых тарах таят при комнатной температуре в течение суток. Часть отстоявшейся снеготалой воды сливается, оставшаяся часть фильтруется через беззольный фильтр типа «синяя лента», который потом просушивается. Полученная твердая фаза снега просеивается через сито с диаметром ячеек 1 мм для освобождения от посторонних примесей и взвешивается.

Изучение элементного состава проб твердой и жидкой фаз снежного покрова производилось методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (определение до 68 химических элементов) в ХАЦ «Плазма» и методом инструментального нейтронно-активационного анализа в ядерно-геохимической лаборатории на базе ядерного реактора ТПУ. В качестве фона использовались данные из работы [8] и полученными нами уровни накопления химических элементов в жидкой фазе снега на Обсерватории «Фоновая» ИОА СО РАН.

В соответствии с работой [1] обработка полученных результатов заключалась в расчете коэффициента распределения (Краспред) химических элементов, который определяется как логарифм отношения содержаний химических элементов в составе твердой фазы снежного покрова к жидкой фазе. Для определения баланса между нахождением химических элементов в составе твердой и жидкой фаз снежного покрова были рассчитаны процентные доли содер-

жаний химических элементов в твердой и жидкой фазе проб снегового покрова. Процентная доля содержания химического элемента в твердой фазе снегового покрова определяется отношением произведения массы химического элемента в твердой фазе снегового покрова и 100 к массе химического элемента в составе всей пробы снегового покрова. Процентная доля содержания химического элемента в жидкой фазе снегового покрова определялась как разность между 100 и процентной долей содержания химического элемента, приходящейся на твердую фазу снега. В соответствии с рекомендациями в работах [3, 5] по полученным результатам анализа твердой фазы снегового покрова были рассчитаны  $K_c = C/C_\phi$ , где  $K_c$  – коэффициент концентрации;  $C$  – содержание элемента в пробе, мг/кг;  $C_\phi$  – фоновое содержание элемента в твердой фазе снега, мг/кг.

### Результаты и их обсуждение

Содержание радиоактивных элементов в пробах твердой и жидкой фаз варьируют в широких пределах (рис. 1). Содержания урана и тория выше в твердой фазе снегового покрова по сравнению с жидкой, что отражается на балансовом соотношении этих элементов в снеговом покрове (рис. 2).

Степень техногенной трансформации окружающей среды можно оценить с помощью расчета Th/U отношения [4]. Расчет отношения содержаний тория к урану показали, что в пробах твердых фаз снегового покрова значения Th/U отношений выше, чем в жидкой и варьируются от 1,6 до 3,1 (табл. 1). В целом, результаты расчета Th/U отношений в твердой фазе снегового покрова соответствуют смешенной природе радиоактивности.

Расчет балансовых соотношений твердой и жидкой фаз радиоактивных элементов показал, что Th содержится преимущественно в твердофазных формах на исследуемых территориях, U в пробах из

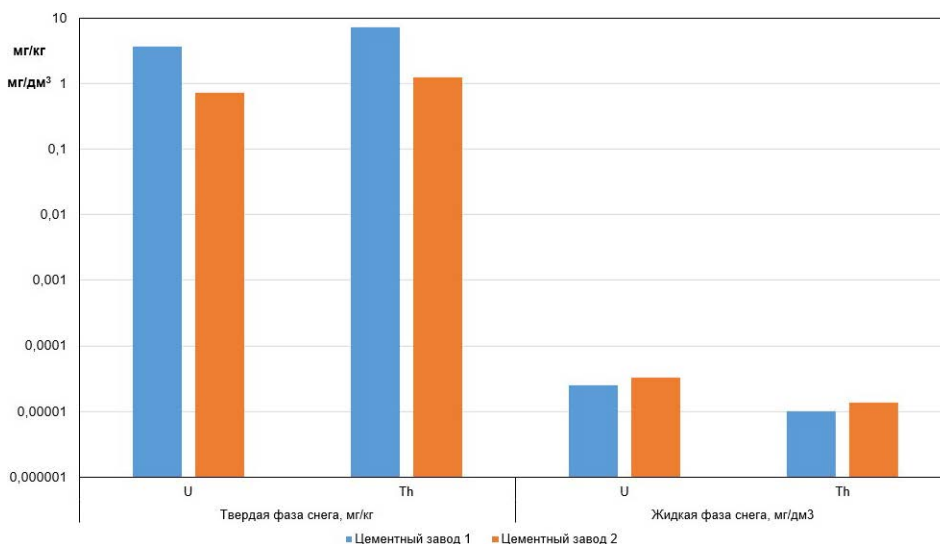


Рис. 1. Средние содержания радиоактивных элементов (U, Th) в пробах твердой (мг/кг) и жидкой (мг/дм³) фазах снегового покрова из окрестностей цементных заводов

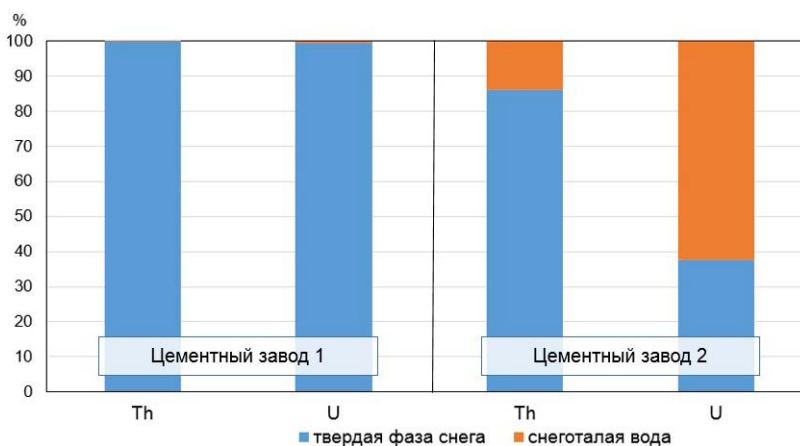
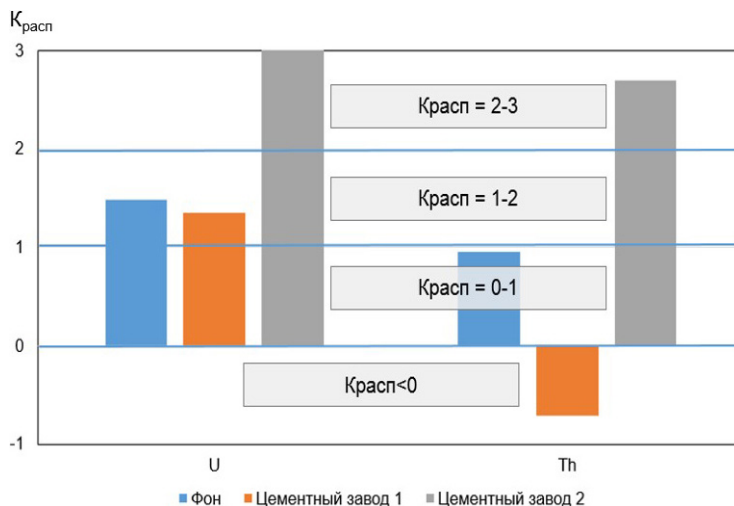


Рис. 2. Балансовые соотношения радиоактивных элементов в пробах снегового покрова из окрестностей цементных заводов, %

окрестностей цементного завода 1 на 99 % содержится в твердой фазе снегового покрова, а содержания U в пробах цементного завода 2 до 60 % приходятся на снеготалую воду и только 40 % – на твердую фазу снегового покрова (рис. 2). Такое распределение химических элементов может быть связано с источниками поступления U в окружающую среду, природными факторами.

Значения коэффициентов распределения химических элементов показывают преобладание рассматриваемого химического элемента в жидкой или твердой фазе снегового покрова. Химические элементы с коэффициентом распределения меньше 0 содержатся преимущественно в жидкой фазе снегового покрова. Коэффициенты распределения со значениями от 0 до 1 формируют группу химических элементов с преобладанием содержания элементов в твердой фазе в 10 раз выше, чем в жидкой. При преобладании химических элементов в твердой фазе снега над жидкой от 10 до 20 раз значения коэффициентов распределения варьируются от 1 до 2. Химические элементы с содержаниями в 20–30 раз больше в твердой фазе снега, чем в жидкой соответствуют значениям коэффициентов распределения от 2 до 3.

Рассматриваемые радиоактивные элементы ведут себя по-разному. Торий в пробах исследуемых



**Рис. 3.** Коэффициенты распределения радиоактивных элементов в системе «твердая фаза снега – жидкая фаза снега» в пробах снегового покрова из районов расположения цементных заводов (фон\* – Обсерватория «Фоновая» ИОА СО РАН)

территорий превышает фоновые показатели от 10 до 20 раз и попадает в группу со значениями коэффициентов распределения от 1 до 2. В пробах из окрестностей цементного завода 1 U имеет значение коэффициента распределения в пределах от 2 до 3, что говорит о превышении фоновых содержаний в 20–30 раз, в то время как в пробах из района расположения цементного завода 2 U входит в группу со значениями коэффициента распределения < 0 и преобладает в снеготалой воде (рис. 3).

**Таблица 1.** Отношения содержаний тория к урану в пробах твердой и жидкой фазах снегового покрова из окрестностей цементных заводов

Район	Цементный завод 1		Цементный завод 2	
	Твердая фаза снега	Жидкая фаза снега	Твердая фаза снега	Жидкая фаза снега
Зона влияния цементного завода	2,2	0,5	1,6	0,6
Жилая зона	3,1	н/д	1,6	н/д
Карьер	2,0	0,04	2,1	0,2
Среднее	2,5	0,4	1,7	0,4

**Таблица 2.** Коэффициенты концентрации радиоактивных элементов в пробах снегового покрова из окрестностей цементных заводов

Район	Твердая фаза снега		Жидкая фаза снега	
	Цементный завод 1	Цементный завод 2	Цементный завод 1	Цементный завод 2
Зона влияния цементного завода	$U_{6,6} - Th_{0,9}$	$U_{2,3} - Th_{0,6}$	$Th_{2,4} - U_{1,3}$	$Th_{6,1} - U_{2,4}$
Жилая	$U_{17,6} - Th_{2,5}$	$Th_{0,8} - U_{0,6}$	н/д	н/д
Карьер	$U_{0,6} - Th_{0,5}$	$U_{1,1} - Th_{0,5}$	$U_{6,4} - Th_{1,0}$	$U_{8,7} - Th_{5,6}$
Усредненные значения	$U_{9,9} - Th_{0,8}$	$U_{0,7} - Th_{0,6}$	$Th_{4,0} - U_{2,6}$	$Th_{5,5} - U_{3,4}$

Расчет коэффициентов концентрации показал, что радиоактивные элементы находятся в разных содержаниях в пробах твердой и жидкой фаз снегового покрова рассматриваемых территорий (табл. 2). В пробах из района расположения цементного завода 1 содержания U превышают содержания Th по сравнению с содержаниями данных радиоактивных элементов в пробах твердой фазы снегового покрова из окрестностей цементного завода 2. Наибольшие содержания U и Th выявлены в пробах из окрестностей цементного завода 1, отобранных в жилой части рассматриваемой территории. Такое распределение радиоактивных элементов может быть связано с поступлением выбросов в период активного отопительного сезона углем. В пробах из района расположения цементного завода 2 наибольшие значения U и Th найдены в пробах из зоны влияния цементного завода 2. В пробах жидкой фазы снегового покрова наблюдается преобладание содержания Th над U и превышение фона от 0,4 до 6,4 раз. В тоже время, в районе расположения цементного завода 2 радиоактивные элементы имеют большую подвижность, в результате чего они могут в процессе снеготаяния мигрировать в другие компоненты природной среды.

По данным [8] элементный состав цементной пыли железобетонного завода представлен U (25) и Th (4,3). Результаты инструментального нейтронно-активационного анализа показали, что содержания Th и U в цементе и пыли с пылегазоочистной установки (далее ПГУ) варьируются в пределах от 0,5 до 3 мг/кг, что может указывать на источники их поступления (табл. 3). Кроме того, концентрирование ради-

**Таблица 3.** Содержание радиоактивных элементов в цементе и пыли с ПГУ цементного завода

Материал	U, мг/кг	Th, мг/кг
Цемент	1,4	3,0
Пыль с ПГУ	0,6	2,3

оактивных элементов в цементной пыли показано в работе [9]. В составе сырьевых компонентов одного из изучаемых заводов нами также определены содержания урана и тория, что может сказываться на их накоплении в выбрасываемой пыли в результате технологических процессов.

### Заключение

Таким образом, в результате анализа было определено содержание радиоактивных элементов (U, Th) в пробах твердой и жидкой фаз снегового покрова. По Th/U отношению радиоактивные элементы имеют смешенную природу. Расчеты коэффициентов распределения ( $K_{расп}$ ) и балансовых соотношений показали, что Th и U исследуемых территорий преобладают преимущественно в твердой фазе над жидкой, за исключением содержания U в пробах из района расположения цементного завода 2. Коэффициенты концентрации показали, что содержания U в пробах снегового покрова больше, чем содержания Th. Наибольшие содержания U и Th выявлены в пробах из окрестностей цементного завода 1, отобранных в жилой части рассматриваемой территории. Наибольшие уровни концентрации U и Th найдены в пробах из зоны влияния цементного завода 2.

### Литература

1. Бортникова С. Б. Методы анализа данных загрязнения снегового покрова в зонах влияния промышленных предприятий (на примере г. Новосибирск) / С. Б. Бортникова, В. Ф. Рапута, А. Ю. Девятова и др. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология, 2009. – № 6. – С. 515–525.
2. Вартамян М. А. Производство цемента, известия и оксида магния: справочный документ по наилучшим доступным технологиям / М. А. Вартамян, А. И. Захаров, Т. В. Гусева и др., 2009. – 437 с.
3. Касимов Н. С. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы / Н. С. Касимов, Н. В. Кошелева, Д. В. Власов, Е. В. Терская // Вестник Московского ун-та. Сер. 5: «География», 2012. – № 4. – С. 14–24.
4. Рихванов Л. П. Радиоактивные элементы в окружающей среде / Л. П. Рихванов, С. И. Арбузов, Н. В. Барановская и др. // Известия Томского политехнического университета, 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 128–136.
5. Саэт Ю. Е. Геохимия окружающей среды / Ю. Е. Саэт, Б. А. Ревич, Е. П. Янин и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
6. Юркевич Н. В. Химический состав снегового покрова в зоне влияния промышленных предприятий: источники загрязнения и формы переноса элементов / Н. В. Юркевич, О. П. Саева, Е. П. Бессонова, С. Б. Бортникова, Н. А. Абросимова, А. Ю. Девятова // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ, 2014. – Т.2. – № 3. – С. 169–174.
7. Язиков Е. Г. Разработка методологии комплексной эколого-геохимической оценки состояния природной среды (на примере объектов юга Западной Сибири) / Е. Г. Язиков // Известия Томского политехнического университета, 2011. – Т. 304. – Вып. 1. – С. 325–336.
8. Язиков Е. Г. Экогеохимия урбанизированных территорий юга Западной Сибири: дис. ... д-ра геол.-мин. наук. – Томск, 2006. – 423 с.
9. Язиков Е. Г. Радиоактивные элементы в атмосферных выпадениях снегового покрова урбанизированных территорий / Е. Г. Язиков, А. В. Таловская, Е. А. Филимоненко, В. В. Литая,

Т. Е. Адильбаева, Т. С. Шахова / Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания

человека. Материалы V Международной конференции, г. Томск, 13–16 сентября 2016 г. – Томск: STT, 2016. – С. 747–751.

## ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАСОМАТИТОВ ВУЛКАНА КУДРЯВЫЙ (КУРИЛЬСКИЕ ОСТРОВА) В РАДИОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Т. В. Володькова

*Институт Тектоники и Геофизики имени Ю.А. Косыгина  
Хабаровск, Россия, tat-volodkova@yandex.ru*

## THE CHARACTERISTICS OF THE METASOMATITES OF KUDRYAVY VOLCANO (KURIL ISLANDS) IN THE RADIOGEOCHEMICAL FIELDS

T. V. Volod'kova

*Kosygin Institute of Tectonics and Geophysics  
Khabarovsk, Russia, tat-volodkova@yandex.ru*

The maps of magnetic field and fields of the natural radioactive elements (NRE) ratios compiled using data of aerogeophysical survey on a scale of 1 : 50000, allow us to refine the geological structure of active volcanoes and to reveal the areas of metasomatism. As an example, the materials obtained on the Medvezhya caldera (Iturup Island) are used. The inferred materials are evidence of metasomatic nature of the distinguished areas and support their concentric-ring structure. The data obtained are insufficient to reliably determine the type of metasomatism.

В работе [3] графоаналитическим методом впервые получено решение дифференциальных уравнений, описывающих процессы регионального инфильтрационного метасоматоза. В Дальневосточном регионе подобные процессы описывают гидротермально-метасоматические системы рудных узлов и полей, диаметром порядка 10–20 км, связанные с относительно небольшими магматическими телами. Графическое решение уравнений инфильтрационного метасоматоза с точностью доверительного интервала дано на рис.1; оно подтверждено экспериментальными данными.

Доверительный интервал составляет (2–3)  $\Delta$ , где  $\Delta$  – среднеквадратическая погрешность, поэтому графоаналитическое решение уравнений не обладает высокой точностью, но является весьма вероятным. Вероятно, оси эллипсов, их наклон, эталонные характеристики различных типов метасоматитов (рис. 1), могут существенно варьировать. Для проверки этого, попробуем привлечь характеристики метасоматитов генетически аномальных регионов (Курил), а также экспериментальные данные с действующих вулканов, где большую роль играет газовая составляющая (активность фумарол). В статье [2] описывались тренды характеристик отношений ЕРЭ вулканитов и магматических комплексов Курил; на форму этих трендов влиял тип щелочности вулканитов, а также интенсивность газовой активности. Могут ли в принципе использоваться данные рис. 1 и табл. 1 для описания процессов метасоматоза на активных вулканах?

Рассмотрим это на примере кальдеры Медвежьей (остров Итуруп), внутри которой находится один из активных Курильских вулканов Кудрявый. При картировании гидротермально-метасоматически измененных пород по характеристикам отношений ЕРЭ, большое значение имеет определение точных значений фона. На континенте такие построения не представляют труда. В ареале действующих вулканов нарушается правило постоянства отношений, так как формирование комплексов происходит под воздействием разноглубинных открытых магматических очагов [2]. Действующие вулканы Курил, в т. ч. кальдера Медвежья, относятся к Везувианскому типу; здесь выделяются остатки двух древних сомм, формирующих гребень кальдеры, центральный стратовулкан с кратером и группа из нескольких конусов вулканов. Вулкан Кудрявый представляет собой основной, крупнейший стратовулкан в центре кальдеры Медвежьей. Считается, что вулканы Везувианского типа формируются как минимум в два этапа. В течение первого цикла извергаются вулканиты различной основности, близкие по типу щелочности; по характеристикам отношений ЕРЭ они образуют четкий тренд. В конце цикла формируется кальдера и гидротермально-метасоматическая система вулкана; инфильтрационные региональные метасоматиты могут отмечаться в пределах всей кальдеры. Стратовулкан формируется в начале следующего цикла, под влиянием активных глубинных магматических очагов и процессов дегазации. В течение второго цикла старая гидротермально-метасоматическая система