

УДК 550.4:546.79(571.53)

УРАН И ТОРИЙ В ПОЧВЕННОМ ПОКРОВЕ ИРКУТСКО-АНГАРСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОЙ ЗОНЫ (ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Гребенщикова Валентина Ивановна¹,
vgreb@igc.irk.ru

Грицко Полина Павловна¹,
rysya-87@mail.ru

Кузнецов Петр Викторович²,
petr-kp@mail.ru

Дорошков Артемий Андреевич¹,
rendrom@gmail.com

¹ ФГБУН Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а

² ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН,
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная д. 84/32, с. 14

Актуальность работы обусловлена возрастающей потребностью исследования особенностей распределения радиоактивных элементов в почвенном покрове промышленных городов с интенсивной техногенной нагрузкой.

Цель работы: качественная и количественная оценка уровня загрязнения почвенного покрова городов и их окружения по данным изучения валовых содержаний радионуклидов (U, Th).

Методы исследования: неинвазивный рентгенофлуоресцентный анализ на рентгеновском спектрометре S4 Pioneer фирмы Bruker AXS (Германия), статистические и картографические методы.

Результаты. Проведен сравнительный химический анализ почв двух городов Байкальского региона – Иркутска и Ангарска – по содержанию в них радионуклидов – U и Th и значений мощности экспозиционной дозы. Анализ почвенных проб на территории Иркутска в условно выделенных нами ранее «аномальных» участках города подтвердил наличие повышенных значений содержаний тория и урана в нескольких местах города: авиазавод (U); военный склад (Th); некоторые автозаправки в центральной части города (U); остров Юность (U). Интересно, что повышенные содержания урана и тория отмечаются не в одних и тех же местах города, а всегда в разных. В почвенном покрове г. Ангарска, включая его жилую, промышленную зоны и ближайшее окружение, содержания урана находятся в пределах 0,5–10,6 мг/кг, тория – 1,8–30,8 мг/кг и повышены только на локальных участках вблизи объектов теплоэнергетики. В пробах шлама из гидрозолоотвала также отмечено повышенное содержание урана – 10,1 и 17 мг/кг и тория – 29 и 44 мг/кг.

Выводы. Определение валовых содержаний Th и U в аккумулятивном горизонте почв территорий промышленных городов Прибайкалья – Иркутска и Ангарска – и их окружения показали широкую вариабельность значений их содержаний, которые зачастую превышают региональный фон Байкальского региона, но имеют близкие между собой средние содержания. Локальные аномалии на территории г. Иркутска характеризуются более высоким содержанием урана в почвах по сравнению с таковыми на территории г. Ангарска, что обусловлено тем, что промышленные зоны г. Ангарска находятся за пределами жилой застройки города. Повышенные содержания тория, урана, а также уровень мощности экспозиционной дозы фиксируются в почвенном покрове городов небольшими, локальными «пятнами» вокруг промышленных объектов или на некотором удалении от них, что свидетельствует об их преимущественно аэротехногенном поступлении. Установлено, что буферная емкость экосистем рассматриваемых городов относительно радионуклидов не достигла критического уровня и соответствует региональным фоновым параметрам.

Ключевые слова:

Почвенный покров, уран, торий, промышленные и жилые зоны, МЭД, источники радионуклидов.

Введение

Почвенный покров является депонирующим компонентом и фактически аккумулирует в себе все загрязнители, поступающие в окружающую среду, поэтому является существенным информативным источником геохимического состояния окружающей среды, в том числе на территории крупных городов. Причины миграции и накопления радионуклидов в почвах могут быть обусловлены различными факторами: типом и составом почв, физико-химическим состоянием элемента, формами его нахождения, сорбционными и миграционными особенностями, pH жидкой фазы почвы

и др. [1, 2]. Одновременно отмечается способность почвенного покрова к самоочищению при определенных физико-химических параметрах (pH, биохимическая активность, сорбционная способность, тип почв и др.) [3], несмотря на техногенное воздействие.

Городские почвы (почвы, почвогрунты, урбанизированные, техноземы и т. д.) – это почвы, сформированные в результате хозяйственной деятельности человека. На городских территориях, по сравнению с природными, антропогенный фактор в почвообразовании считается ведущим, поэтому для них часто характерно отсутствие четко выражен-

ных почвенных горизонтов, и они представляют собой сложную природно-антропогенную систему. Участки с относительно ненарушенными почвами приурочены к парковым и лесопарковым территориям городов.

Южная часть Прибайкалья, где территориально находятся рассматриваемые города Иркутск и Ангарск, в геологическом отношении представляет собой юрский угленосный бассейн с известными месторождениями угля (Иркутский угольный бассейн), используемыми в энергетике Байкальского региона.

Почвенный покров содержит широкую гамму радиоактивных химических элементов естественного и техногенного происхождения, так как является самой благоприятной средой поглощения радионуклидов. Почва выступает как природный сорбент, длительно сохраняющий в себе последствия экологических катаклизмов. Опыт изучения радионуклидов в Горном Алтае показал [4], что их повышенные содержания в компонентах окружающей среды могут иметь разные источники: последствия мирных ядерных испытаний, аномалии природных месторождений, влияние промышленных предприятий и др.

Почвы Прибайкалья изучались в разное время на содержание радиоактивных элементов (U, Th, Rn, ^{137}Cs , ^{90}Sr) в связи с глобальным переносом и выпадением радиоактивных осадков после ядерных испытаний на Семипалатинском и Новоземельском полигонах. Исследования в этом направлении проводились с конца 70-х годов прошлого столетия и по настоящее время [5–7]. Однако сведений о валовых содержаниях тория и урана в компонентах окружающей среды конкретно на городских территориях Байкальского региона явно недостаточно, или они отсутствуют.

Основная цель работы – определить содержания, выявить источники привноса радионуклидов (урана и тория) в почвенный покров и показать особенности их распределения на территориях наиболее крупных городов Прибайкалья – Иркутска и Ангарска. Определив возможный генезис участков повышенных содержаний этих поллютантов (природный или техногенный) можно использовать полученные данные для дальнейшего прогнозирования экологически неблагоприятных участков на территории городов, их правильного и рационального использования.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования служили почвенные покровы городов Иркутска и Ангарска и их пригородов (рис. 1).

Город Иркутск является областным центром Иркутской области и расположен на берегах реки Ангары.

Город Ангарск – промышленный город, расположен в 70 км на С-З от областного центра города Иркутска, в междуречье Ангары и Китоа. В настоящее время г. Иркутск и г. Ангарск включены в

приоритетный список городов России с относительно повышенным уровнем атмосферного загрязнения [8]. Основными загрязнителями окружающей среды в рассматриваемых городах служат предприятия химической, нефтехимической и атомной промышленности, а также теплоэнергетики, металлургии, авиастроения, автотранспорта и др.

В геологическом строении городов принимают участие породы юрского угленосного бассейна, сложенные песчаниками, алевролитами и аргиллитами, переслаивающимися с горизонтами углей разной мощности, карбонатных осадков и глин.

В рассматриваемых городах отмечаются низкие среднегодовые температуры воздуха, воды и почвы, длительный период промерзания компонентов окружающей среды (5 месяцев), что может обуславливать пониженную возможность их к самоочищению от антропогенного воздействия.

Почвенный покров территорий Ангарска и Иркутска и их окрестностей достаточно разнообразен. На целинных участках в городах и их окрестности преимущественно распространены серые лесные почвы и дерновые лесные, на окраинах в долинах рек встречаются лугово-болотные. В городах и за пределами городов территории заняты хвойными (сосна) и смешанными лесами; в долинах рек встречаются участки, свободные от леса под луговым разнотравьем.

Объектами исследования являлись городские почвы, расположенные в различных функциональных зонах (промышленных, селитебных, природно-рекреационных) и почвы в ближайшем окружении городов.

Опробование почвенного покрова городов Иркутска и Ангарска проводилось в 2010–2013 гг. по сети 1:100 000 (1×1 км) со сгущением (500×500 м) при необходимости на наиболее интересных или проблемных участках. Пробы почв отбирались методом конверта из поверхностного гумусово-аккумулятивного слоя (0–10 см), предварительно очищенного от верхнего дернового слоя. В общей сложности в г. Иркутске и его окружении было отобрано и проанализировано 223 почвенные пробы (почвы, почвогрунты, урбаноземы и др.). В г. Ангарске и его окружении – 130 проб. В южной части Ангарска в гидрозолоотвале-шламохранилище ТЭЦ отобрано 2 пробы шлама, в обводном и дренажном каналах вокруг него отобрано 5 проб донных отложений.

Одновременно с опробованием почв и донных осадков проводилось сопряженное измерение мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД). Измерение МЭД выполнялось на высоте 1 м от поверхности почвы дозиметром ДКГ-07Д «ДРОЗД».

Для определения валового содержания U и Th в почвах использовался неструктивный рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) на рентгеновском спектрометре S4 Pioneer фирмы Bruker AXS (Германия) в аналитической лаборатории ИГХ СО РАН

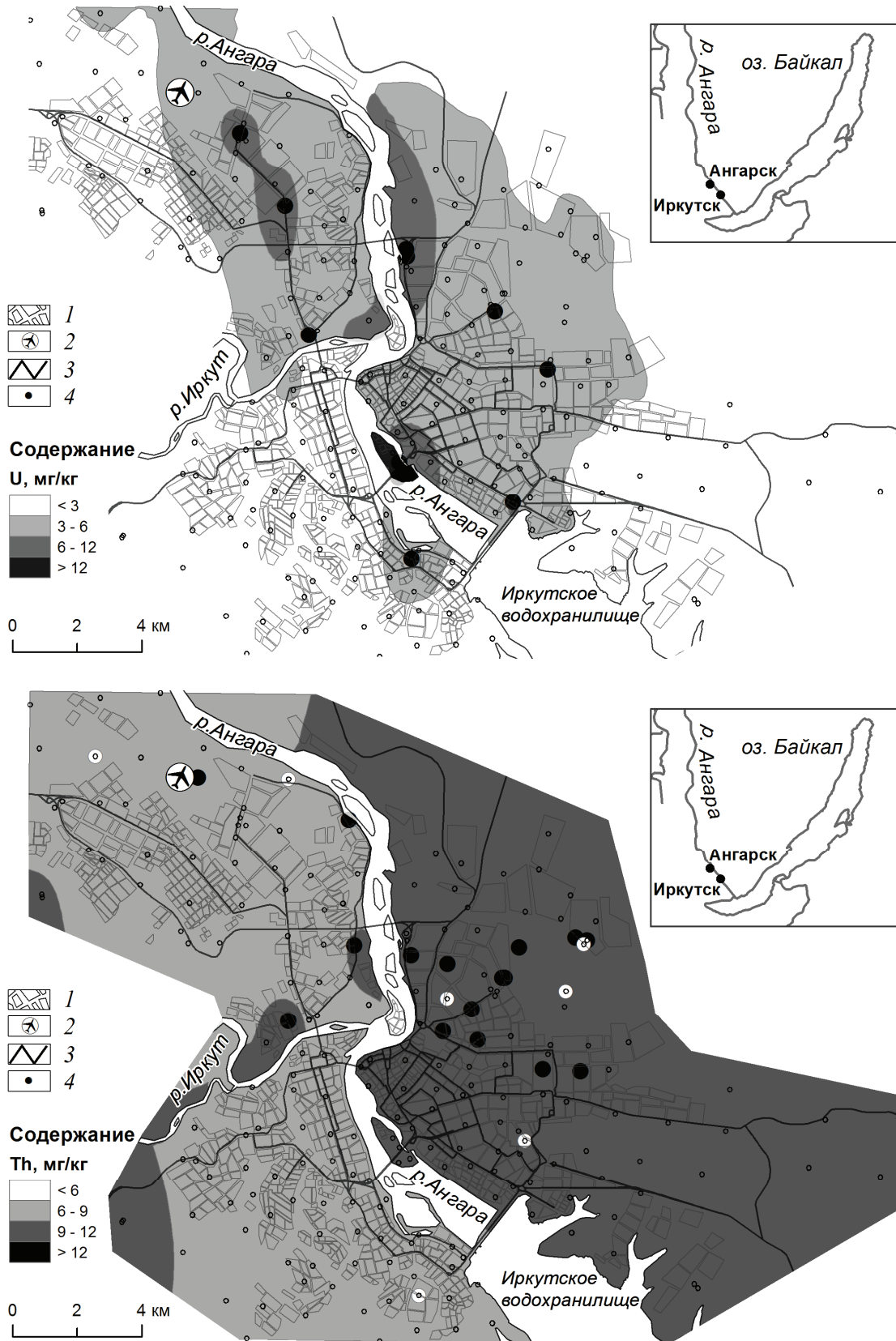


Рис. 1. Распределение содержаний урана и тория в почвенном покрове города Иркутска и его пригорода. Примечание: 1 – жилой сектор; 2 – авиазавод; 3 – дороги; 4 – места отбора проб почв

Fig. 1. Distribution of uranium and thorium contents in soil cover in Irkutsk and its surroundings. Note: 1 is the residential sector; 2 is the aircraft factory; 3 are the roads; 4 are the sampling sites of soils

(аналитик Т.С. Айсуева). Предел обнаружения элементов составляет 1 мг/кг. Правильность методики определения U и Th в почвах оценивали с помощью стандартных образцов.

Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП «изотопно-геохимических исследований ИГХ СО РАН».

Результаты исследований и их обсуждение

Геохимические особенности сопряженных компонентов окружающей среды Прибайкалья (порода, почва, вода, снег) рассматривались ранее [9–14] по различным элементам-токсикантам. В данной статье проведен сравнительный химический анализ почв двух конкретных городов – Иркутска и Ангарска – по валовому содержанию в них радионуклидов – U и Th – и значений мощности экспозиционной дозы (МЭД).

Иркутск

По полученным нами ранее данным [7] и подтвержденным позднее в почвах города Иркутска разброс содержаний как урана (от <1 до 44,9 мг/кг), так и тория (от 5 до 27,4 мг/кг) довольно значителен, что свидетельствует о неоднородном характере распределения радионуклидов в почвенном покрове города.

Анализ полученных эмпирических данных проводился в сравнении с региональными фоновыми содержаниями исследуемых радионуклидов в верхнем горизонте почв по Байкальскому региону, которые для U составляет 2,01 мг/кг, для Th – 6,26 мг/кг [9–11]. По литературным данным, среднее содержание в гумусовых горизонтах почв [15] для U составляет 1 мг/кг, для Th – 6 мг/кг; для почв мира [16] – 1 и 5 мг/кг соответственно (таблица).

Почвы в пригороде Иркутска незначительно отличаются от городских по содержаниям радионуклидов. В почвах городской территории среднее содержание Th – 9,4 мг/кг, U – 3,5 мг/кг (повышено за счет нескольких «аномальных» точек), при этом медианное значение составляет для Th – 9,1 мг/кг, для U – 2,1 мг/кг. В почвах пригорода содержания Th 5–19,2 мг/кг, среднее – 9 мг/кг; U 1,2–3,6 мг/кг, среднее – 2 мг/кг.

В почвенном покрове Иркутска локальные «аномалии» содержаний радионуклидов приурочены главным образом к территориям промышленных предприятий, что связано со спецификой их деятельности. Максимальные концентрации урана отмечались в виде четырех небольших по площади участков: 1) возле ТЭЦ, работающей на угле, – 15,8 мг/кг; 2) вблизи взлетной полосы Иркутского авиазавода – 23,3 мг/кг; 3) на острове Юность возле детской железной дороги – 44,9 мг/кг; 4) в промышленном центральном районе города – 15,4 мг/кг [7].

Максимальные содержания тория были сконцентрированы вблизи военной базы – 27,44 мг/кг, а также на одном из дачных участков – 11,04 мг/кг.

Диапазон наиболее часто встречаемых концентраций тория в почвах Иркутска варьирует от 6 до 12 мг/кг, урана – от 1 до 5 мг/кг.

Повторное опробование и анализ почвенных проб на территории Иркутска в условно выделенных «аномальных» участках города подтвердил наличие относительно повышенных значений содержаний тория и урана в нескольких местах: авиазавод (U); военный склад (Th); некоторые автозаправки в центральной части города (U); остров Юность (U). Интересно, что повышенные содержания урана и тория отмечаются не в одних и тех же местах города, а всегда в разных: например, в районе авиазавода повышен только уран, а в районе военного склада – торий, что, вероятно, связано со спецификой источников радионуклидов.

Стоит отметить повышенные содержания урана и тория в почвогрунтах вблизи некоторых автозаправок в центральной части города (рис. 1), где всегда отмечается нарушение почвенного покрова и наличие привозного грунта. Ранее эта закономерность отмечалась нами по содержаниям радионуклидов в снеговой воде города в районе автозаправок [12].

Построенные площадные моноэлементные карты-схемы распределения радионуклидов в почвенном покрове Иркутска отчетливо отражают перечисленные участки относительно повышенных содержаний тория и урана.

Известно, что уран обладает достаточно высокой миграционной способностью, и загрязнение им почвенного покрова может создавать предпосылку для его дальнейшей миграции на более глубокие горизонты и в сопредельные среды и загрязнение их. Уран в почвах находится в форме UO_2^{2+} , который образует с органическим веществом почвы хорошо растворимые комплексы. Как было установлено [17], присутствие нитратов влияет на повышение подвижности урана в грунтовых водах.

Th в почвах менее подвижен, чем U, и он почти полностью сорбируется при взаимодействии почв с растворами. Th образует нерастворимые комплексные соединения с органическими компонентами почвы. Закрепление антропогенного урана на геохимических барьерах в почве может быть обусловлено металл-редуцирующими бактериями и железом низкой окисленности [2].

Исследования показали, что максимальное количество радионуклидов аккумулируется в гумусовом горизонте почвенного покрова на глубине 0–5 см в городах и их ближайшем окружении, включая верхний дерновый слой. Стоит отметить, что концентрации урана и тория практически во всех рассмотренных почвенных разрезах Иркутска [7], а также по имеющимся литературным данным [18], закономерно убывают с глубиной, что указывает на аэротехногенную природу повышенных содержаний исследуемых поллютантов на территории города Иркутска.

Величина торий-уранового отношения (Th/U) – важный оценочный показатель состояния почв.

В почвах, не подверженных интенсивному техногенному воздействию, этот показатель для большинства генетических типов почв различных природно-климатических зон Сибири находится на уровне 3–5 [19, 20].

Результаты проведенного исследования показали, что соотношение Th/U в почвенном покрове города Иркутска находится на уровне регионального значения – 3,5–5. В основном это урбанизированные территории, зоны массовой жилой застройки. В то же время в зонах влияния промышленных предприятий города установлены локальные участки, почвы которых характеризуются Th/U отношением менее 3, например, в районе авиазавода. Пониженные значения торий-уранового отношения характерны для почвенного покрова городских территорий, который чаще всего представляет собой техногенно-измененный почвогрунт, состоящий из смеси почв и каких-либо строительных материалов (шлак, зола, глина, торф и др.). Наиболее повышенные значения Th/U отношения (8–11,7) выявлены на окраинах города Иркутска в местах новых строящихся микрорайонов, где почвенный покров существенно нарушен. Соответственно содержание урана в западной и южной частях города меньше 3 мг/кг (рис. 1).

Повышенные содержания естественных радиоактивных элементов в почвах можно охарактеризовать таким показателем, как мощность эквивалентной дозы излучения (МЭД). Средний гаммафон для Иркутской области, по данным наблюдений Иркутского межрегионального территориального управления федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, составляет 0,11–0,20 мкЗв/ч [8]. По полученным нами данным, повышенные значения МЭД гамма-излучения в Иркутске главным образом проявились в местах повышения содержания радионуклидов: 0,26 мкЗв/ч – напротив взлетной полосы Иркутского авиазавода и на острове Юность возле детской железной дороги, где использовался привозной (гранитогнейсовый) щебень. В среднем по Иркутску, по нашим данным, МЭД составляет 0,15–0,20 мкЗв/ч. Допустимые нормативы – 0,27–0,57 мкЗв/ч (СП 2.6.1.2612–10 и СанПиН 2.6.1.2800–10).

В целом, по результатам исследования в Иркутске, можно сделать вывод, что радиационная обстановка на территории г. Иркутска и его окрестностей остается благополучной. Проявляется условно «урановая» и «ториевая» специализация некоторых почвогрунтов в городе, обусловленная различными источниками загрязнения; установлены лишь локальные очаги превышения значений радионуклидов и, соответственно, уровня МЭД гамма-излучения, сопряженные с техногенными преобразованиями почвенного покрова.

Ангарск

Город Ангарск, по сравнению с Иркутском, относительно более молодой город, в градостроитель-

ном плане которого изначально было предусмотрено разделение на промышленную и жилую зоны. Между ними была сохранена широкая природная лесозащитная полоса (сосновый лес).

Количество в городе Ангарске промышленных предприятий, в том числе и с вредным производством, существенно больше, чем в Иркутске. Здесь находятся электролизный химический комбинат по обогащению урана, многочисленные заводы: нефтеперерабатывающий, газовый, гипсовый, керамический, трубный, металлоконструкций и другие, а также несколько ТЭЦ, которые вносят свой вклад в загрязнение города.

Самым крупным промышленным предприятием и одним из крупнейших в Сибири является нефтехимическая компания по переработке нефти и выпуску нефтепродуктов, которая оказывает влияние на атмосферное состояние в городе. Вторым по величине и вкладу в экономику города предприятием является электролизный химический комбинат (АЭХК) – одно из ведущих производств атомной промышленности России. Теплоэнергетика представлена крупными ТЭЦ (ТЭЦ-1, 9, 10), которые строились одновременно с комбинатами для их тепло- и энергообеспечения.

По ранее полученным нами данным по распределению элементов-токсикантов в почвах, следует отметить, что почвенный покров городов Иркутска и Ангарска, несмотря на современный техногенный пресс, относится к категории «допустимого» по уровню загрязнения тяжелыми металлами. Причины относительно благополучного состояния почв городов по содержанию тяжелых металлов связаны с наличием большого количества на территории городов зеленых насаждений, широких лесозащитных полос, являющихся естественными фильтрами и имеющимся потенциалом к восстановлению природных свойств почв городов Иркутской области.

В почвенном покрове г. Ангарска, включая его промышленную зону и ближайшее окружение, содержания урана находятся в пределах 0,5–10,6 мг/кг, тория – 1,8–30,8 мг/кг. Региональный фон Прибайкалья, как уже было сказано, для U – 2,01 мг/кг, для Th – 6,26 мг/кг, и превышение значений фона отмечается лишь на некоторых условно «аномальных» участках г. Ангарска (таблица).

Моноэлементные карты-схемы распределения радионуклидов в почвенном покрове на территории Ангарска выявили слабо выраженные ореолы в связи с небольшим разбросом содержаний элементов и соответственно слабой контрастностью (рис. 2). В большинстве случаев почвы на территории города содержат урана от 1,5 до 3,0 мг/кг, то есть на уровне регионального фона или незначительно превышают его. Почвы с повышенным содержанием урана (3–6 мг/кг) в виде нескольких пятен занимают незначительные участки жилой зоны города и приурочены к автотрассе Иркутск-Красноярск к западу от промышленной зоны,

Таблица. Содержания урана, тория, Th/U в почвах, донных отложениях, угле, золе и МЭД в городах Иркутске и Ангарске (Прибайкалье) [9–11, 15, 16, 21, 22]

Table. Contents of uranium, thorium, Th/U in soils, bottom sediments, coal, ash and ED (exposure dose) in Irkutsk and Angarsk (Baikal region) [9–11, 15, 16, 21, 22]

| Территория, объект Territory, object | U, мг/кг mg/kg | Th, мг/кг mg/kg | Th/U | МЭД, мкЗв/ч μsv/h | Кол-во проб Number of samples |
|---|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------|--|
| | min-max | min-max | | | |
| | m | m | | | |
| Почвы/Soils | | | | | |
| Иркутск (городская территория) Irkutsk (city area) | 0,5–45 3,5 | 5–27,4 9,4 | 0,24–11,7 4,3 | 0,15–0,24 | 223 |
| Пригород Иркутска Suburbs of Irkutsk | 1,2–3,6 2,0 | 5–19,2 8,3 | 6–11 5,0 | 0,11–0,16 | 32 |
| Ангарск (жилая территория) Angarsk (Residential area) | 1,5–7 1,9 | 6–14,2 8,5 | 2–8,5 4,9 | 0,11–0,14 | 61 |
| Ангарск (южная и восточная промышленные территории) Angarsk (Southern and Eastern industrial areas) | 7–10,6 3,0 | 10–30,8 9,8 | 1,8–3,5 3,6 | 0,23–0,34 | 44 |
| Пригород Ангарска/Suburbs of Angarsk | 1,0–1,4 | 5,8–8 | 2,6–3,1 | 0,11–0,18 | 15 |
| Кларк для почв [15]/Clark for soils [15] | 1 | 6 | 6 | – | – |
| Почвы мира [16]/Soils of the world [16] | 1 | 5 | 5 | – | – |
| Региональный фон в почвах Байкальского региона [9–11] Regional background in the soils of the Baikal region [9–11] | 2,01 | 6,26 | 3,1 | 0,11–0,20 | 696 |
| Донные отложения/Bottom sediments | | | | | |
| Шламоотстойник, Ангарск/Slime-ump, Angarsk | 10,1–17 | 29–44 | 2,6–2,9 | – | 2 |
| Обводной канал вокруг шламоотстойника, Ангарск Channel around the slime-ump, Angarsk | 13,4 | 26,2 | 2,0 | – | 3 |
| Дренажная канава (возле шламоотстойника) Drainage ditch (near the slime-ump) | 10,6 | 29 | 2,7 | – | 1 |
| Дренажная канава (возле р. Ангары)/Drainage ditch (near the Angara River) | 2 | 8,2 | 4,1 | – | 1 |
| Региональный фон в донных отложениях Байкальского региона [9–11] Regional background in bottom sediments of the Baikal region [9–11] | 1,3 | 6,84 | 5,3 | – | 449 |
| Уголь, зола углей/Coal, ash coal | | | | | |
| Уголь (Иркутский угольный бассейн) [22]/Coal (Irkutsk coal basin) [22–25] | 2,7 | 4,1 | 1,5 | – | 129 |
| Уголь (Иркутский угольный бассейн, авторские данные) Coal (Irkutsk coal basin, the data of the authors) | 1–10 | 5–30 | – | – | 8 |
| Зола угля (Иркутский угольный бассейн, авторские данные) Coal ash (Irkutsk coal basin, the data of the authors) | 9–22 | 18–65 | 2,0–2,9 | 0,18 | 8 |
| Кларк для углей [21]/Clark for coal [21] | 2,4 | 3,3 | 1,4 | – | 8400 |
| Кларк для золы [21]/Clark ash [21] | 16 | 21 | 1,4 | – | 8400 |

включая предприятия ТЭЦ-1 и ТЭЦ-9, а также за пределами города в южной части, в районе шламоотстойника гидрозолоотвала ТЭЦ-9.

Максимальное содержание урана отмечается в почвах в южной части города вокруг гидрозолоотвала ТЭЦ-9, а также в его донных отложениях: в отложениях обводного канала вокруг отстойника и дренажной канавы, спускающейся в р. Ангары (рис. 2, таблица). Это связано с частичным привнесением шлама в воду каналов из гидрозолоотвала. Прослойки золы отмечаются также в профилях окружающих почв и содержат повышенное количество U и Th. Так, в двух пробах шлама, взятых с различной глубины из шламоотстойника, содержание урана составило 10,1 и 17 мг/кг, а тория – 29 и 44 мг/кг, что соответствует отношению Th/U соответственно 2,6 и 2,9.

Основной вклад в повышение содержаний урана в почвах вносит его выщелачивание из шламоотстойника и дальнейшая миграция в раствори-

мой форме и в виде взвесей по обводному и дренажному каналам в сторону р. Ангары. Большая часть техногенных взвесей осаждаются еще до разгрузки в р. Ангару (таблица). Миграция урана в растворенной форме способствует также загрязнению и других водных объектов, прямо не связанных с золоотвалом ТЭЦ, о чем свидетельствуют его повышенные содержания в воде прилегающего озера.

Повышенное содержание урана в почвенном покрове на локальных участках в черте города (вдоль трассы Иркутск–Красноярск) обусловлено, по всей вероятности, атмосферным переносом выбросов угольных ТЭЦ. В частности, исследования, проведенные нами на территории г. Черемхово Иркутской области, показали, что основным источником урана в почвах является сжигание местного каменного угля. В работе [14] отмечено, что содержание U в золе таких углей составляет 9–22 мг/кг, а Th – 18–65 мг/кг, а кларк радиоактивных элементов в золе углей [21] для U составля-

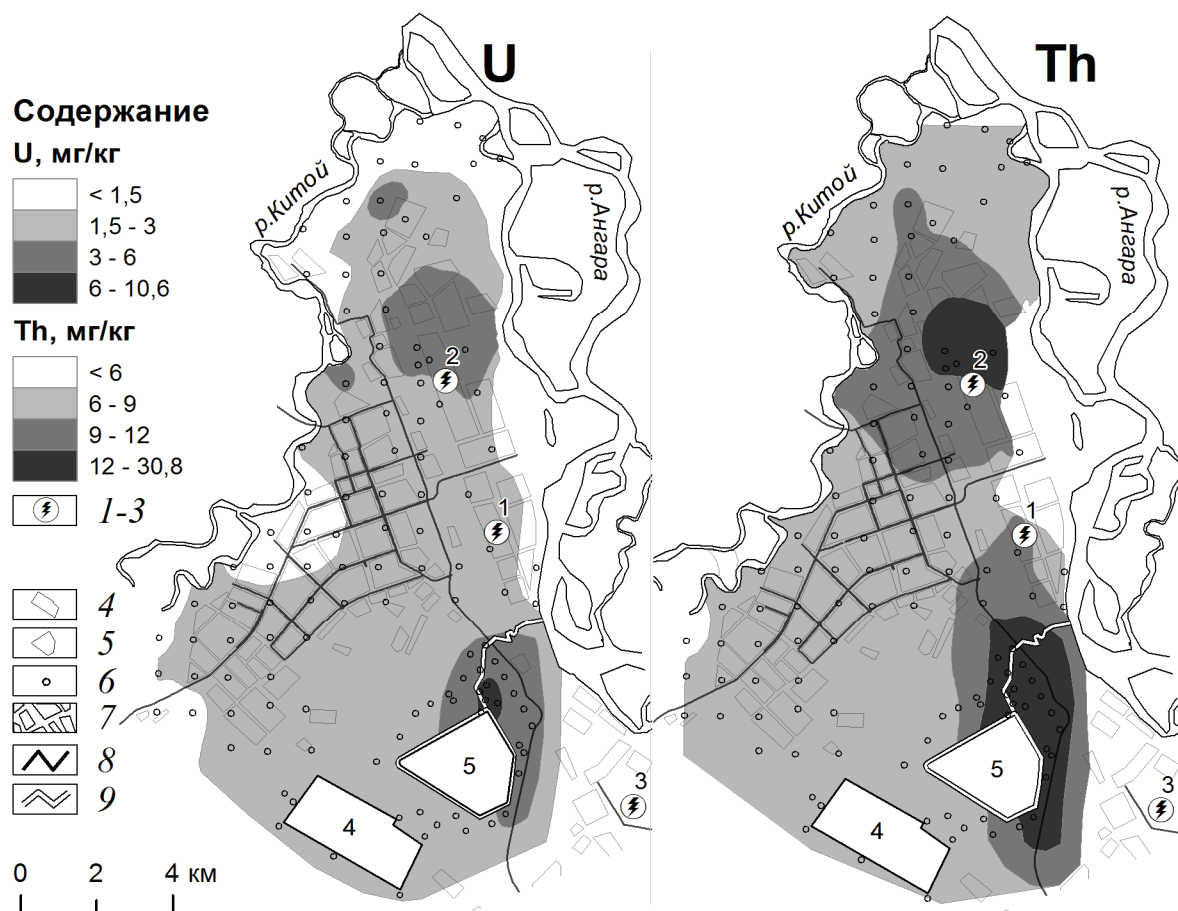


Рис. 2. Распределение содержаний урана и тория в почвенном покрове г. Ангарска и его пригороде. Примечание: 1–3 – теплоэлектростанции; 4 – электролизный химический комбинат; 5 – шламоотстойник; 6 – места отбора проб почв; 7 – жилой сектор; 8 – дороги; 9 – обводной и дренажные каналы

Fig. 2. Distribution of uranium and thorium contents in soil cover of Angarsk and its surroundings. Note: 1–3 are the thermal power stations; 4 is the electrolysis chemical plant; 5 is the sludge-pond; 6 are the sampling sites of soils; 7 is the residential sector; 8 are the roads; 9 are the bypass and drainage channels

ет 15 ± 1 мг/кг, а для Th – 23 ± 1 мг/кг. Сами угли Иркутского угольного бассейна (таблица) характеризуются содержанием радионуклидов на уровне кларка [19, 22–25], а их зольность в среднем составляет 15,8 и 21,2 %, что ниже допустимого предела (45–50 %).

В западной и восточной окраинах Ангарска, приуроченных соответственно к поймам рек Китой и Ангара, в почвенном покрове отмечаются низкие содержания урана – менее 1,5 мг/кг. Даже в восточной промышленной части города, несмотря на имеющиеся здесь предприятия, содержания урана в почве не превышают 2 мг/кг.

Несколько иная картина распределения урана и тория отмечается по снеговому покрову. Снег является индикатором состава атмосферных выбросов. Исследования снегового покрова, выполненные на территории г. Ангарска, показали, что повышение содержания урана в снеговой воде отмечается только в восточной части города вблизи нахождения предприятий нефтехимической компании (рис. 3), при этом почвенный покров в этом районе в отношении урана остается фоновым (рис. 2,

нефтегазоперерабатывающее предприятие находится вблизи района ТЭЦ). Обогащение снеговой воды и почвы U и Th вокруг нефтегазоперерабатывающих предприятий, нефтяных и угольных тепловых станций отмечалось и ранее, как российскими [26, 27], так и многими зарубежными исследователями [28–32], что свидетельствует о аэротехногенном поступлении радионуклидов при использовании и переработке нефти и газа и увеличении подвижности радионуклидов в таких районах. Отмечается также и повышенное содержание радиоактивных элементов в твердом осадке снега на территории г. Черемхово (Прибайкалье), где находится месторождение угля [13], что, естественно, подразумевает их поступление в почвенный покров. Полученные данные свидетельствуют о том, что угольные ТЭЦ влияют в первую очередь на почвенный покров, а нефтегазоперерабатывающие предприятия – на состав аэрозольных выпадений.

Распределение тория в почвах на территории г. Ангарска фактически повторяет характер распределения урана, но повышенные его содержания занимают более протяженные участки города

(рис. 2). На окраинах города содержание тория меньше 6 мг/кг (меньше регионального фона). Ореолы с повышенным содержанием отмечаются вдоль автотрассы (Иркутск–Красноярск) к западу от промышленных предприятий, а максимальные концентрации (до 30,8 мг/кг) приурочены к почвам южной части города за пределами жилой зоны в районе гидрозоолоотвала ТЭЦ-9.

Отношение Th/U в почвенном покрове Ангарска преимущественно находится на уровне 3–5. Пониженное Th/U отношение (≤ 3) в почвах характерно для южной части города – район АЭХК и гидрозоолоотвала ТЭЦ-9, а повышенное (> 7) – в северной (разрабатываемые карьеры) и в некоторых краевых частях города.

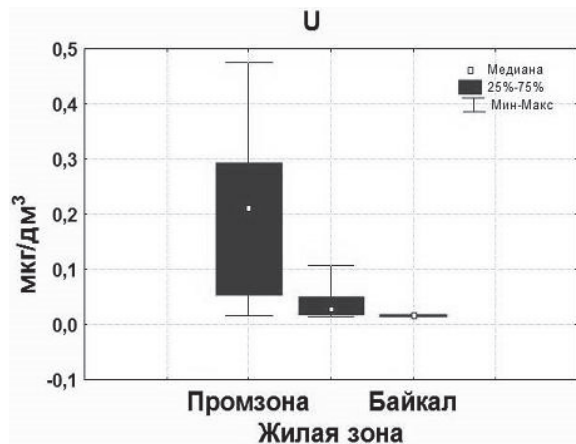


Рис. 3. Содержание урана в снеговой воде в восточной промышленной и жилой зонах г. Ангарска и западного побережья озера Байкал (природный район)

Fig. 3. Content of uranium in snow water in the eastern industrial and residential areas of Angarsk and the western coast of Lake Baikal (natural area)

В промышленной зоне и между промышленной и жилой зонами города Ангарска (автотрасса) величина МЭД возрастает – 0,23–0,34 мкЗв/ч, при этом максимальное значение МЭД отмечается вблизи территорий ТЭЦ-1 и ТЭЦ-9. В жилой части города и его окрестностях величина МЭД низкая и составляет 0,14–0,18 мкЗв/ч. Напомним, что в качестве допустимого естественного радиационного фона уровень МЭД внешнего гамма-излучения принято 0,33 мкЗв/ч (0,27–0,57).

Если в Иркутске корреляция между содержаниями U и Th в почвенном покрове нами не установлена [7], то в Ангарске она отчетливо намечается, но преимущественно только для нарушенных почв промышленных зон (рис. 4), что, вероятно, связано с дополнительным техногенным поступлением одновременно урана и тория в восточной части города. Минимальные содержания обоих элементов и низкое Th/U отношение отмечены в почвах между АЭХК и шламоотстойником, которые наиболее подвержены дренажу поверхностными и грунтовыми водами (рис. 2, 4).

Результаты исследований почв г. Ангарска позволяют считать, что радиоактивная обстановка в жилой зоне города является благоприятной для проживания и по концентрациям радионуклидов в почвах соответствует уровню регионального фона. Установлены лишь локальные участки почвенного покрова с превышением содержания радионуклидов по сравнению с региональным фоном и, соответственно, повышением уровня МЭД гамма-излучения, обусловленные техногенными преобразованиями почвенного покрова.

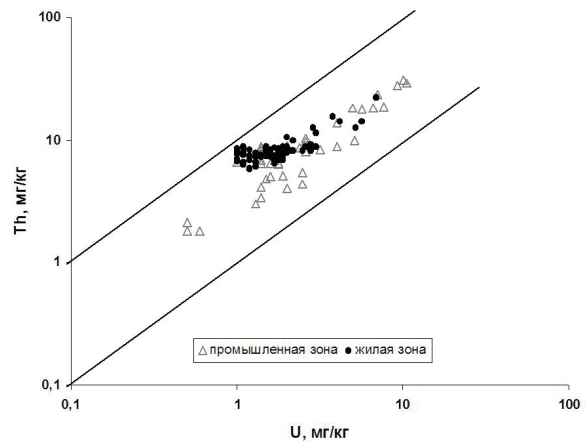


Рис. 4. Зависимость содержания урана и тория в почвенном покрове г. Ангарска

Fig. 4. Dependence of uranium and thorium contents in soil cover of Angarsk

Повышенные содержания радиоактивных элементов в почвах крупных промышленных городов Прибайкалья – Иркутска и Ангарска – имеют различное происхождение, связанное со спецификой деятельности промышленных предприятий и градостроительными особенностями. Предусматривается дальнейшее изучение изотопного состава радионуклидов в почвах промышленных городов с целью достоверного определения источников их поступления.

Несмотря на локальный характер и малые площади загрязнения почв рассмотренными радионуклидами, в городах Прибайкалья проводится регулярный контроль радиационной обстановки.

Эколого-геохимической оценке почвенного покрова городских территорий и картированию загрязненных участков в последнее время уделяется серьезное внимание во многих странах мира в связи с безопасностью жизнедеятельности населения и рациональным использованием городских территорий [26–32]. В последние годы появилось и такое понятие, как кларк элементов городских почв [33], однако для урана и тория кларки в городских почвах не определены. Существуют лишь различные оценочные уровни загрязнения почв селитебных территорий с учетом различных показателей: мировых кларков, предельно допустимых концентраций, относительно допустимых уровней, предельно допустимых уровней, региональных фоновых содержаний и др.

Выводы

Полученные результаты определения валовых содержаний Th и U в аккумулятивном горизонте почв территорий промышленных городов Прибайкалья – Иркутска и Ангарска – и их пригородов показали широкую вариабельность значений их содержаний, которые иногда превышают региональный фон Байкальского региона, но имеют близкие между собой средние содержания.

Локальные аномалии на территории г. Иркутска характеризуются более высоким содержанием урана в почвах по сравнению с таковыми на территории г. Ангарска, что обусловлено тем, что промышленные зоны г. Ангарска находятся за пределами жилой застройки города. Влияние электролизного химического комбината по обогащению урана в г. Ангарске на содержание радионуклидов в почвенном покрове города достоверно не установлено.

Повышенные содержания тория, урана, а также уровень МЭД фиксируются в почвенном покрове рассмотренных городов небольшими локальными «пятнами» вокруг промышленных объектов или на некотором удалении от них, что свидетель-

ствует об их аэротехногенном поступлении. Величина МЭД не достигает предельно допустимого значения.

Жилые территории рассмотренных городов испытывают слабое влияние промышленных зон за счет обилия зеленых насаждений, ограничивающих жилые и промышленные участки.

Установлено, что приоритетными источниками повышенных содержаний тория и урана являются преобразование почвенного покрова, а также аэротехногенное поступление их от промышленных предприятий, преимущественно ТЭЦ и котельных, использующих уголь местного угольного бассейна.

Th/U отношение в местах жилой застройки территорий городов Иркутска и Ангарска в основном изменяется от 3 до 5. Снижение или повышение этого отношения характерно для почв промышленных участков городов и их окраин (местной жилой застройки).

Благодарности

Авторы благодарны сотрудникам ИГХ СО РАН, принимавшим участие в исследованиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шапошникова Л.М., Шуктомова И.И. Особенности распределения урана, тория и радия в профиле техноподзолистой почвы // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 6. – С. 48–52.
2. Vodyanitskii Y.N. Chemical aspects of uranium behavior in soils: a review // Eurasian Soils Science. – 2011. – V. 44. – № 8. – P. – С. 862–873.
3. Напрасникова Е.В. Биохимические особенности почв индустриального города в условиях Восточной Сибири // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 5. – С. 483–488.
4. Гусева О.И., Гусев А.И. Радионуклиды в некоторых экосистемах Горного Алтая // Бюллетень «Природные ресурсы Горного Алтая». Геоэкология, гидрология и водные ресурсы. – 2011 (1). – № 14. – С. 142–153.
5. Геохимия окружающей среды Прибайкалья / П.В. Коваль, В.И. Гребенщикова, Н.А. Китаев и др. // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41. – № 4. – С. 571–577.
6. Chernyago V.P., Nepomnyashchikh A.I., Medvedev V.I. Current radiation environment in the Central Ecological Zone of the Baikal Natural Territory // Russian Geology and Geophysics. – 2012. – V. 53. – № 9. – P. 926–935.
7. Грицко П.П., Гребенщикова В.И. Содержание урана и тория в почвенном покрове территорий г. Иркутска и его пригорода // Инженерная экология. – 2014. – № 1. – С. 26–38.
8. Государственный доклад «О состоянии окружающей среды Иркутской области в 2014 году». – Иркутск: Форвард, 2015. – 328 с.
9. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В.И. Гребенщикова, Э.Е. Лустенберг, Н.А. Китаев, И.С. Ломоносов / науч. ред. акад. М.И. Кузьмин. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. – 234 с.
10. Radioactive elements distribution in the Environment of Pribaikale. Communication 1. Uranium / V.I. Grebenshchikova, N.A. Kitaev, E.E. Lustenberg, I.S. Lomonosov, V.I. Medvedev, A.N. Karchevskii // Contemporary Problems of Ecology. – 2009. – V. 2. – № 1. – P. 12–21.
11. Radioactive elements distribution in the Environment of Pribaikale. Communication 2. Thorium and cesium-137 / V.I. Grebenshchikova, N.A. Kitaev, E.E. Lustenberg, I.S. Lomonosov, V.I. Medvedev, A.N. Karchevskii // Contemporary Problems of Ecology. – 2010. – V. 3. – № 3. – P. 346–355.
12. Гребенщикова В.И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области // Вода: химия и экология. – 2013. – № 2. – С. 19–25.
13. Кузнецов П.В., Гребенщикова В.И., Айсуева Т.С. Оценка содержания урана и тория в почвах г. Черемхово (Иркутская область) и его окрестностей в связи с добычей и сжиганием каменного угля // Биосфера. – 2013. – V. 5. – № 2. – С. 175–181.
14. Халбаев В.Л., Гребенщикова В.И. Эколого-геохимическая характеристика почв г. Иркутска и его окрестностей // Инженерная экология. – 2013. – № 1. – С. 33–45.
15. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 237 с.
16. Bowen H.J.M. Environmental chemistry of the elements. – London: Academic Press, 1979. – 333 p.
17. Богуславский А.Е., Гаськова О.Л., Шемелина О.В. Миграция урана в грунтовых водах района шламохранилищ Ангарского электролизного химического комбината // Химия в интересах устойчивого развития. – 2012. – № 20. – С. 515–529.
18. Ahmed H., Young S.D., Shaw G. Factors affecting uranium and thorium fractionation and profile distribution in contrasting arable and woodland soils // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – V. 145. – P. 98–105.
19. Рихванов Л.П. Радиоактивные элементы в почвах Сибири // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Международной конференции. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – С. 448–451.
20. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Журняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.
21. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of Cakes for carbonaceous biolith: World averages for trace elements contents in black

- shales and coals // International Journal of Coal Geology. – 2009. – V. 78, No. 2. – P. 135–148.
22. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. – Томск: ИД «Д-Принт», 2007. – 468 с.
23. Арбузов С.И., Машенькин В.С. Радиоактивные элементы в каустобиолитах Северной Азии // Радиактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы V Международной конференции. – Томск, 2016. – С. 67–74.
24. Geochemistry of radioactive elements (U, Th) in coal and peat of northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia) / S.I. Arbuzov, A.V. Volostnov, L.P. Rikhvanov, A.M. Mezhibor, S.S. Ilenok // Int. J. Coal Geol. – 2011. – V. 86. – P. 318–328.
25. Nature of Tonsteins in the Azeisk Deposit of the Ikutsk Coal Basin (Siberia, Russia) / S.I. Arbuzov, A.M. Mezhibor, D.A. Spears, S.S. Ilenok, M.V. Shal'dybin, E.V. Belaya // Int. J. of Coal Geology. – 2016. – V. 153. – P. 99–111. DOI: 10.1016/j.coal.2015.12.001.
26. Artamonova S.Yu. Technogenic fallout of Uranium and Thorium in the Vicinity of Novosibirsk (Russia, West Siberia) // Physics Procedia 84. – 2016. – V. 84. – P. 280–287.
27. Оценка аэротехногенного загрязнения в окрестностях угольных и нефтяных котельных по состоянию снегового покрова (на примере Томской области) / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, Т.С. Шахова, Е.А. Филимоненко // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 10. – С. 116–130.
28. Voutsas D., Samara C. Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas // Atmospheric Environment. – 2002. – V. 36. – № 22. – P. 3583–3590.
29. Charro E., Pardo R., Pena V. Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain // Journal of Environmental Radioactivity. – 2013. – V. 124. – P. 84–92.
30. Insights into PM10 sources in Houston, Texas: Role of petroleum refineries in enriching lanthanoid metals during episodic emission events / A. Bozlaker, B. Buzcu-Güven, M.P. Fraser et al. // Atmospheric Environment. – 2013. – V. 69. – P. 109–117.
31. Mapping uranium concentration in soil: Belgian experience towards a European map / G. Cinelli, F. Tondeur, B. Dehandschutter, P. Bossew, T. Tollefsen, M. de Cort // Journal of Environmental Radioactivity. – 2017. – V. 166–2. – P. 220–234.
32. Assessment of metals contamination of soils of Ulaanbaatar, Mongolia / T. Batjargal, E. Otgonjargal, K. Baek, J.-S. Yang // Journal of Hazardous Materials. – 2010. – V. 184. – P. 872–876.
33. Alekseenko V., Alekseenko A. The abundances of chemical elements in urban soils // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – V. 147 (B). – P. 245–249.

Поступила 31.05.2017 г.

Информация об авторах

Гребенщикова В.И., доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск.

Грицко П.П., младший научный сотрудник Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск.

Кузнецов П.В., кандидат биологических наук, научный сотрудник Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва.

Дорошков А.А., кандидат геолого-минералогических наук, младший научный сотрудник Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Иркутск.

UDC 550.4:546.79(571.53)

URANIUM AND THORIUM IN SOIL COVER OF THE IRKUTSK-ANGARSK INDUSTRIAL ZONE (BAIKAL REGION)

Valentina I. Grebenshchikova¹,

vgreb@igc.irk.ru

Polina P. Gritsko¹,

rysy-a-87@mail.ru

Petr V. Kuznetsov²,

petr-kp@mail.ru

Artemy A. Doroshkov¹,

rendrom@gmail.com

¹ A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS,
1a, Favorsky street, Irkutsk, 664033, Russia.

² Center for ecological problems and productivity of forests RAS,
bld. 14, 84/32, Profsoyuznaya street, Moscow, 117997, Russia.

The problem is important due to increasing demand in research of radioactive elements distribution in soil cover of industrial cities with high man-caused load.

Objective: soil cover pollution level analysis in cities and suburban area according to the study of total contents of radionuclides (U, Th).

Methods of research: non-destructive X-ray fluorescence analysis using X-ray spectrometer S4 Pioneer made by Bruker AXS (Germany), statistical and mapping methods.

Results. Comparative chemical analysis of soil in the content of radionuclides U and Th and exposure dose rate survey has been held in two cities of Baikal region – Irkutsk and Angarsk. Soil samples analysis in the territory of Irkutsk city within specified earlier anomalous city zones confirmed the presence of relatively high Th and U concentration: Aircraft factory (U), Military warehouse (Th), several gasoline stands in city area, «Yunost» island (U). It is an interesting fact that the higher content of uranium and thorium is always detected in different places of the city. The content of uranium within 0,5–10,6 mg/kg and thorium within 1,8–30,8 mg/kg in soil cover of Angarsk city including residential, industrial zones and suburbs exceed regional level only in some local areas related to heat power objects. The higher content of uranium – 10,1–17 mg/kg and thorium – 29–44 mg/kg was detected in sludge samples from ash-disposal area.

Conclusions. Th and U gross contents survey in soil cover of industrial cities of Baikal region – Irkutsk and Angarsk, and their suburbs showed wide variability in values often exceeding average figures of Baikal region, but average content levels are very close. Irkutsk city local anomalies are characterized by a higher content of uranium in soils compared with those in Angarsk city which is due to the fact that industrial objects are outside the residential area in Angarsk. The increased content of thorium and uranium as well as exposure dose rate are registered in cover soils locally and in small areas around industrial facilities or at some distance from them indicating that content has aerotechnogenic origin. It was found that buffer capacity of ecosystems in the considered cities has not reached a critical level of radionuclides content and corresponds to the regional parameters.

Key words:

Soil cover, uranium, thorium, industrial and residential area, the EDR, sources of radionuclides.

REFERENCES

- Shaposhnikova L.M. Shuktomova I.I. Features of distribution of uranium, thorium and radium in the profile tehnopodzolistoy soil. *Successes of modern science*, 2016, no. 6, pp. 48–52. In Rus.
- Vodyanitskii Y.N. Chemical aspects of uranium behavior in soils: a review. *Eurasian Soils Science*, 2011, vol. 44, no. 8, pp. 862–873.
- Naprasnikova E.V. Biochemical characteristics of soils industrial city in Eastern Siberia. *Chemistry for sustainable development*, 2014, vol. 22, no. 5, pp. 483–488. In Rus.
- Guseva O.I., Gusev A.I. Radionuclides in some ecosystems of Mountain Altai. *Bulletin «Natural resources of Gorny Altai». Geoecology, hydrology and water resources*, 2011 (1), no. 14, pp. 142–153. In Rus.
- Koval P.V., Grebenshchikova V.I., Kitaev N.A. Geochemistry of the environment of the Baikal region. *Russian Geology and Geophysics*, 2000, vol. 41, no. 4, pp. 571–577.
- Chernyago B.P., Nepomnyashchikh A.I., Medvedev V.I. Modern radiation situation in the Central ecological zone of the Baikal natural territory. *Russian Geology and Geophysics*, 2012, vol. 53, no. 9, pp. 926–935.
- Gritsko P.P., Grebenshchikova V.I. The Content of uranium and thorium in the soil cover of territories of Irkutsk and its suburbs. *Environmental Engineering*, 2014, no. 1, pp. 26–38. In Rus.
- Gosudarstvenny doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Irkutskoy oblasti v 2014 godu [State report «On the state of the environment in Irkutsk region in 2014»]. Irkutsk, Forward Publ., 2015. 328 p.
- Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S. *Geokhimiya okruzhayushchey sredy Pribaykalya (Baykalsky geoeologichesky poligon)* monografiya [Geochemistry of the environment of Baikal region (the Baikal geoeological polygon). Monograph]. Ed. by M.I. Kuzmin. Novosibirsk, Geo Academic publ. house, 2008. 234 p.
- Grebenshchikova V.I., Kitaev N.A., Lustenberg E.E., Medvedev V.I., Lomonosov I.S., Karchevsky A.N. The of Radioactive elements distribution in the environment of Pribaikale. Communication 1. Uranium. *Contemporary Problems of Ecology*, 2009, vol. 2, no. 1, pp. 12–21.

11. Grebenshchikova V.I., Kitaev N.A., Lustenberg E.E., Medvedev V.I., Lomonosov I.S., Karchevsky A.N. Radioactive elements distribution in the environment of Pribaikale. Communication 2. Thorium and cesium-137. *Contemporary Problems of Ecology*, 2010, vol. 3, no. 3, pp. 346–355.
12. Grebenshchikova V.I. Geochemical specificity of the composition of the snow water of some cities of Irkutsk region. *Water: chemistry and ecology*, 2013, no. 2, pp. 19–25. In Rus.
13. Kuznetsov P.V., Grebenshchikova V.I., Aisueva T.S. Evaluation of the contents of uranium and thorium in soils of the city Chermkhovo (Irkutsk region) and its surroundings in connection with the extraction and combustion of coal. *Biosphere*, 2013, vol. 5, no. 2, pp. 51–57. In Rus.
14. Khalbaev V.L., Grebenshchikova V.I. Ecological and geochemical characteristic of soils of Irkutsk and its surroundings. *Inzhenernaya Ekologiya*, 2013, no. 1, pp. 33–45. In Rus.
15. Vinogradov A.P. *Geokhimiya redkikh i rasseyanykh khimicheskikh elementov v pochvakh* [Geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils]. Moscow, Publ. house of the USSR Academy of Sciences, 1957. 237 p.
16. Bowen H.J.M. *Environmental chemistry of the elements*. London, Academic Press, 1979. 333 p.
17. Boguslavskiy A.E., Gaskova O.L., Shemelina O.V. Migration of uranium in groundwater of district sludge Angarsk electrolysis chemical complex. *Chemistry for sustainable development*, 2012, no. 20, pp. 515–529. In Rus.
18. Ahmed H., Young S.D., Shaw G. Factors affecting uranium and thorium fractionation and profile distribution in contrasting arable and woodland soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, vol. 145, pp. 98–105.
19. Rikhvanov L.P. radioaktivnye element v pochvakh Sibiri [Radioactive elements in soils of Siberia]. *Radioaktivnost i radioaktivnye element v srede obitaniya cheloveka. Materialy IV mezhdunarodnoy konferentsii* [Radioactivity and radioactive elements in human environment. Proceedings of the IV International conference]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2013, pp. 448–451.
20. Yazikov E.G., Talovskaya A.V., Zhorniyak L.V. *Otsenka geologo-geokhimicheskogo sostoyaniya territorii g. Tomsk po dannym izucheniya pyleaerozoley i z pochv* [Assessment of ecological-geochemical state of the territory of Tomsk according to the study of pleurosira and soil]. Tomsk, Tomsk Polytechnic University Publ. house, 2010. 264 p.
21. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of Cakes for carbonaceous biolith: World averages for trace elements contents in black shales and coals. *International Journal Coal Geology*, 2009, vol. 78, no. 2, pp. 135–148.
22. Arbuzov S.I., Ershov V.V. *Geokhimiya redkikh elementov v uglyakh Sibiri* [Geochemistry of rare elements in coals of Siberia]. Tomsk, D-Print Publ. house, 2007. 468 p.
23. Arbuzov S.I., V.S. Maschenkin. Radioaktivnye element v kaus-tobilitakh Severnoy Azii [Radioactive elements in caustobiolith of Northern Asia]. *Radioaktivnost i radioaktivnye element v srede obitaniya cheloveka: Materialy V Mezhdunarodnoy konferentsii* [Radioactivity and radioactive elements in human environment. Materials of V International conference]. Tomsk, 2016, pp. 67–74.
24. Arbuzov S.I., Volostnov A.V., Rikhvanov L.P., Mezhibor A.M., Ilenok S.S. Geochemistry of radioactive elements (U, Th) in coal and peat of northern Asia (Siberia, Russian Far East, Kazakhstan, and Mongolia). *Int. J. Coal Geol.*, 2011, vol. 86, pp. 318–328.
25. Arbuzov S.I., Mezhibor A.M., Spears D.A., Ilenok, S.S., Shal'dybin M.V., Belaya E.V. Nature of Tonsteins in the Azeisk Deposit of the Irkutsk Coal Basin (Siberia, Russia). *Int. J. of Coal Geology*, 2016, vol. 153, pp. 99–111. DOI: 10.1016/j.coal.2015.12.001.
26. Artamonova S.Yu. Technogenic fallout of Uranium and Thorium in the Vicinity of Novosibirsk (Russia, West Siberia). *Physics Procedia* 84, 2016, vol. 84, pp.280–287.
27. Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Shakhova T.S., Filimonenko E.A. Evaluation of coal and oil boiler of environmental contamination in the vicinity as the snow cover (for example, the Tomsk region). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 10, pp. 116–130.
28. Voutsas D., Samara S. Labile and bioaccessible fractions of heavy metals in the airborne particulate matter from urban and industrial areas. *Atmospheric Environment*, 2002, vol. 36, no. 22, pp. 3583–3590.
29. Charro E., Pardo R., Pena V. Statistical analysis of the spatial distribution of radionuclides in soils around a coal-fired power plant in Spain. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2013, vol. 124, pp. 84–92.
30. Bozlaker A., Buzcu-Güven B., Fraser M.P. Insights into PM10 sources in Houston, Texas: Role of petroleum refineries in enriching lanthanoid metals during episodic emission events. *Atmospheric Environment*, 2013, vol. 69, pp. 109–117.
31. Cinelli G., Tondeur F., Dehandschutter B., Bossew P., Tollefsen T., De Cort M. Mapping uranium concentration in soil: Belgian experience towards a European map. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, vol. 166–2, pp. 220–234.
32. Batjargal T., Otgonjargal E., Baek K., Yang J.-S. Assessment of metals contamination of soils of Ulaanbaatar, Mongolia. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, vol. 184, pp. 872–876.
33. Alekseenko V., Alekseenko A. The abundances of chemical elements in urban soils. *Journal of Geochemical Exploration*, 2014, vol. 147 (B), pp. 245–249.

Received: 31 May 2017.

Information about the authors

Valentina I. Grebenshchikova, Dr.Sc., A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS.

Polina P. Gritsko, assistant, A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS.

Petr V. Kuznetsov, Cand. Sc., Center for ecological problems and productivity of forests RAS.

Artemy A. Doroshkov, Cand. Sc., A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS.