

ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЙ УРАНА И ТОРИЯ В ПОЧВАХ Г. ЧЕРЕМХОВО (ИРКУТСКАЯ ОБЛАСТЬ) И ЕГО ОКРЕСТНОСТЕЙ В СВЯЗИ С ДОБЫЧЕЙ И СЖИГАНИЕМ КАМЕННОГО УГЛЯ

П.В. Кузнецов^{1*}, В.И. Гребенщикова², Т.С. Айсуева²

¹ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Москва, Россия;

² Институт геохимии имени А.П. Виноградова СО РАН, г. Иркутск, Россия

* Эл. почта: petr-kp@mail.ru

Статья получена редакцией 12.12.2012; принята к печати 24.05.2013

Проведена оценка содержания урана и тория в гумусово-аккумулятивных горизонтах почв г. Черемхово и его окрестностях. Дана оценка их эмиссии в атмосферу в результате непромышленного сжигания каменного угля, а также поступления в составе атмосферных осадков в зимний период. Подтверждено, что основными источниками поступления урана и тория в окружающую среду служат каменный уголь и продукты его сжигания.

Ключевые слова: уран, торий, каменный уголь, почва, снег.

ESTIMATES OF URANIUM AND THORIUM LEVELS IN SOILS OF THE CITY OF CHEREMKHOVO AND ITS ENVIRONS (IRKUTSKAYA OBLAST) AND THEIR RELATIONSHIPS WITH COAL MINING AND BURNING

P.V. Kuznetsov^{1*}, V.I. Grebenschikova², T.S. Aisueva²

¹ Silvan Ecology and Productivity Center of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia;

² A.P. Vinogradov Institute of Geochemistry of the Siberia Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russia

E-mail: petr-kp@mail.ru

Estimates of uranium and thorium levels in the humus-accumulating layers of soils in the city of Chermkhovo and its environs, of uranium and thorium emissions into the air resulting from non-industrial domestic coal burning, and of uranium and thorium inflow to soils from snow during winter confirm that the main source of the entry of these two elements into the environment is coal and the products of its burning

Keywords: uranium, thorium, coal, soil, snow.

Среди источников поступления радиоактивных элементов в окружающую среду, например, месторождений и рудопоявлений урана, которыми богата территория Восточной Сибири, а также предприятий атомной энергетики, существенное влияние на радиозоологическую обстановку может оказывать их поступление, связанное с добычей, переработкой и сжиганием углей. Это подтверждают результаты многолетних исследований, проведенных на территории г. Томска [20, 25]. В частности установлено, что ореолы аномальных концентраций урана (в 25–30 раз выше фона) и тория (в 3 раза выше фона) в пылеаэрозолях приурочены к районам рекреационной зоны и частного сектора города, где расположены котельные, использующие уголь в своем топливном балансе. По современным представлениям [10, 22] промышленное сжигание углей с околосларковыми содержаниями урана не представляет радиационной опасности, но все же создается потенциальная возможность его эмиссии с наиболее тонкой фракцией уноса, а наибольшая опасность его поступления связана с непромышленным сжиганием ураноносных углей. Твердофазная эмиссия тория с зольным уносом также существует, однако те же авторы считают, что торий в углях не представляет серьезной эколо-

гической опасности, так как современные способы сжигания угля, приемы золоулавливания и очистки дымовых газов должны доводить твердофазную эмиссию тория до безопасного уровня. Сведения об эмиссии тория в результате непромышленного сжигания угля в указанных работах отсутствуют.

В связи с этим проблема загрязнения радиоактивными элементами территорий некоторых городов, например в Иркутской области, где промышленное и непромышленное сжигание углей является основным источником получения тепла, остается актуальной.

Целью данной работы была оценка содержания урана и тория в почвах г. Черемхово и его окрестностей, а также оценка их поступления из атмосферы в результате сжигания каменного угля.

Эколого-геохимические исследования на территории Иркутской области проводятся с конца 1970-х гг. по настоящее время [2–4, 6, 11, 17, 19, 24]. Однако сведения о содержаниях тория и урана в компонентах окружающей среды при этом явно недостаточны или отсутствуют. Материалы эколого-геохимических изысканий на территории Иркутской области, содержащих сведения о радиоактивных элементах в породах, почвах, природных водах и донных отложениях, обобщены В.И. Гребенщиконой и соавт.

в 2008 г. [6]. Опубликовано также данные мониторинга снежного покрова, проводимого сотрудниками Лимнологического института СО РАН на территории Прибайкалья [16], свидетельствующие о возрастании техногенной нагрузки химическими элементами на природные среды в холодный период года, что связано с увеличением потребления топлива. Результаты изучения радиоактивных элементов в почвах городов Иркутской области, проводимых сотрудниками Института геохимии СО РАН с 2008 г., выявили геохимические аномалии, связанные преимущественно с предприятиями угольной энергетики [7, 12]. Однако до сих пор отсутствуют сведения о загрязнении почв радиоактивными элементами в результате комплексного воздействия предприятий угольной промышленности, железнодорожного транспорта и сжигания угля непромышленным способом на территории Иркутской области.

Объекты исследований

Объектом исследования служили почвы г. Черемхово и его окрестностей. Город Черемхово расположен на юге Восточной Сибири и в геологическом плане приурочен к крупному угленосному бассейну, угли которого составляют сырьевую базу химической и энергетической промышленности Иркутской области. Близкое залегание угольного пласта к поверхности позволяет вести добычу угля открытым способом [1]. В результате этого на протяжении длительного времени (с конца IX века) добыча и сжигание угля здесь является основным источником получения тепла. Кроме выбросов ТЭЦ-12 – основного промышленного стационарного источника поступления радиоактивных элементов, здесь заметную долю составляет и непромышленное его сжигание – в частном секторе города, занимающего большую его площадь. Из других источников выбросов, связанных со сжиганием угля, а также с его транспортировкой, следует отметить железнодорожный транспорт. Город Черемхово является крупным железнодорожным узлом – здесь проходит Восточно-Сибирская железная дорога.

Климатические условия территории Иркутско-Черемховской равнины характеризуются следующими параметрами: среднегодовая температура воздуха по данным метеостанции Черемхово равна $-1,4$ °С, температура января и июля соответственно $-21,1$ и $17,9$ °С, продолжительность безморозного периода 105 дней, годовая сумма осадков здесь более 400 мм, высота снежного покрова составляет 20–40 см в пределах Иркутско-Черемховской равнины [1]. Анализ показателей атмосферного переноса, проведенный И.С. Ломоносовым с соавторами в 1993 г. [24], позволяет охарактеризовать Иркутско-Черемховскую равнину как неблагоприятную по условиям рассеяния аэральных выбросов. Здесь на ореолы промышленных выбросов накладываются загрязнения от других типов источников (сельскохозяйственных, транспортных), и степень загрязнения возрастает. По имеющимся данным [15], территория города приурочена к зоне высокого загрязнения атмосферы.

Естественный почвенный покров, представленный преимущественно темно-серыми лесными почвами, на большей части исследованной территории нарушен хозяйственной деятельностью. В ближайшем окружении города это связано, например, с выемкой

грунта и последующей рекультивацией земель, что приводит к тому, что на поверхность выходят коренные породы, представленные песчаниками и алевролитами юрского возраста. Это влияет на почвенный профиль (мощность генетических горизонтов) и химический состав вновь формирующихся на этих породах почв [13].

Методы исследований

Исследование почвенного покрова проводилось в 2010 г. Для картографирования распределения урана и тория в почвах территории города Черемхово и его окружения была заложена сеть опробования 1×1 км. С целью оценки атмосферного поступления загрязнителей в почвы для анализа методом конверта (10×10 м) отбирались усредненные пробы верхних гумусово-аккумулятивных горизонтов с глубины 5–10 см, а также изучался снеговой покров. Пробы снега отбирались в марте 2010 г. в период его максимального накопления (две усредненные пробы).

Анализ проб проводился в аналитическом центре Института геохимии СО РАН. Определение урана и тория в почвах и твердой фазе снега проводилось методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) аналитиком Т.С. Айсуевой на спектрометре S4 Pioneer (Bruker AXS, Германия) [12, 26, 28]. Прибор имеет рентгенооптическую схему по Соллеру, оснащен рентгеновской трубкой мощностью 4 кВт с Rh-анодом. Условия измерения: ускоряющее напряжение на трубке 50 кВ, ток 40 мА, Al-фильтр 800 мкм, кристалл-анализатор LiF200, коллиматор с угловым разрешением $0,23^\circ$, сцинтилляционный детектор. Аналитическими линиями служили $L\alpha$ -линии U, Th. Излучатели для РФА готовили с применением связующих веществ: химически чистого синтетического воска и порошковой целлюлозы. Для определения U, Th в почвах излучатели прессовали в виде двухслойных таблеток из смеси пробы с воском (10 : 1) на подложке из борной кислоты. При анализе твердых осадков снега из-за ограниченной массы материала был применен способ горячего прессования: 300 мг пробы перемешивали с целлюлозой, полученную смесь помещали в нагретую до 60–80 °С пресс-форму и прессовали при давлении 10 т.

Построение градуировочных графиков и оценку правильности методики выполняли с привлечением отечественных стандартных образцов (СО) руд, горных пород, почв, донных осадков [21] и СО горных пород серии GSJ (Япония) [27]. Концентрации U, Th рассчитывали по интенсивностям аналитических линий с помощью процедуры коррекции, заложенной в программном обеспечении спектрометра SPECTRAplus. При определении U, Th учитывали наложение линии $RbK\alpha$ - и близость линий $SrK\alpha$ -, $PbL\alpha$ -. Диапазоны содержаний определяемых элементов составили (мг/кг) U 1–500, Th 1–150, мешающих элементов – Rb 6–1100, Pb 5–250, Sr 5–2300. Повторяемость определения U, Th характеризуется относительным стандартным отклонением для U – 7%, для Th – 2%. Предел определения элементов составляет 1 мг/кг.

В поверхностной воде и снеговой воде уран и торий определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (аналитики: В.И. Ложкин, Е.В. Смирнова, Н.Н. Пахомова).

Результаты исследований

Содержание урана в изученных почвах варьируют в достаточно широком диапазоне значений (табл. 1). Большая часть почв территории города (72%) характеризуется содержаниями урана, незначительно превышающими фоновые оценки, и составляют менее 3 мг/кг (рис. 1). Почвы с повышенными содержаниями урана (3–5 мг/кг) занимают 27% территории и вытянуты полосой вдоль участка Восточно-Сибирской железной дороги и центральной автотрассы (в направлении розы ветров от ТЭЦ-12), а также занимают пространство частного сектора города. Максимальные содержания урана (более 5 мг/кг) отмечены в почвах, приуроченных к частному сектору города. Характер распределения урана в почвах г. Черемхово отражает разнообразные пути его поступления, связанные со сжиганием каменного угля: на железнодорожном транспорте, ТЭЦ-12 и на территории частного сектора города. Техногенное происхождение повышенных содержаний урана в почвах было отмечено и ранее В.И. Гребенщikovой с соавторами, 2008 [6].

Коренные породы, в которых на содержание элементов оказывает влияние близкое залегание угольного пласта – песчаники и алевролиты, – в некоторых случаях также могут служить источниками урана и тория в почвах. Содержания урана варьируют в них от 1,5 до 5,1 мг/кг, а тория – от 7,5 до 15,8 мг/кг. Однако картограмма распределения элементов в почвенном покрове показывает, что в окрестностях города, где в результате рекультивации коренные породы оказались на дневной поверхности, содержания урана, как правило, характеризуются как близкие к фоновым (< 3 мг/кг).

Следует отметить также, что влияние угольного пласта (и техногенной нагрузки) проявляется и в хи-

мическом составе природных вод. Например, в воде р. Черемшанка (в районе моста через центральную улицу города), исток которой расположен на территории г. Черемхово, выявлены повышенные содержания (мкг/дм³): U – 4,98, а также других элементов, связанных с углем: В – 153; Ge – 0,15; Mn – 422. Для сравнения приведем данные химического состава воды р. Белая (условно фоновая проба отобрана в Черемховском районе, с. Узкий луг), мкг/дм³: U – 0,40; В – 4,48; Ge – 0,0064; Mn – 14,7. Совершенно очевидно, что в воде р. Черемшанка содержания элементов, связанных с углем, – бора и германия повышены на два порядка, а урана и марганца – на один порядок.

Повышенные содержания урана в почвах в определенных условиях могут создавать предпосылку его дальнейшей миграции и в сопредельные среды. Уран относится к подвижным мигрантам в кислородной обстановке, коэффициент водной миграции которого варьирует от 0,1 до 1 [18]. В обзоре [9] приводятся данные К. Харсмена и де Хана, которые отмечают растворимость U в почвах в широком диапазоне pH в связи с образованием хорошо растворимого устойчивого UO_2^{2+} , а также органических комплексов. Барьерами же для урана служат наличие фосфора и других осадителей, а также глинистого и органического вещества. Авторами отмечается, что сорбция является ключевым процессом в цикле U, в результате которого часто отмечается значительное его накопление в органических отложениях. Осаждение урана на восстановительном барьере происходит с участием биоты, а в окислительной обстановке уран особенно сильно сорбируется гидроксидами железа [5]. По нашим собственным данным [13], почвы г. Черемхово характеризуются близкой к нейтральной реакцией среды (pH варьирует в пределах 6,3–7,7) и большой

Табл. 1

Содержание тория, урана и их отношение в почвах г. Черемхово и его окрестностей, мг/кг

Параметр	U (мг/кг)	Th (мг/кг)	Th/U
Пределы варьирования	< 1–7,3	6,6–27,1	2,6–>10
Среднее содержание	2,6	11,3	4,7
Медиана	2,3	10,6	4,5
Стандартная ошибка	0,1	0,4	0,2
Региональный фон [6]	1,9–2,01	6,06–6,26	3,2–4,3

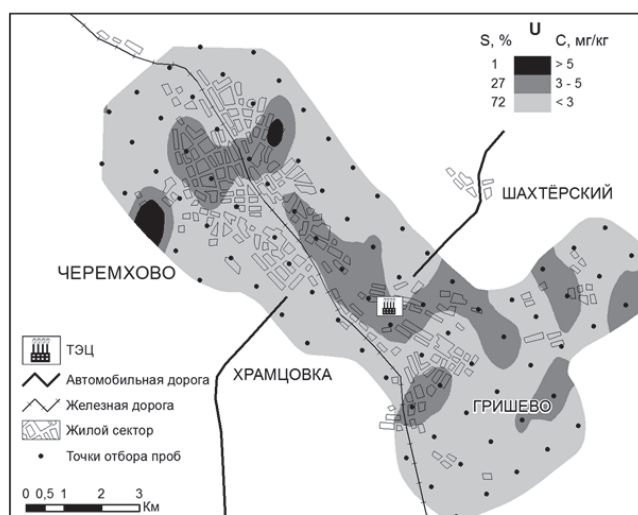


Рис. 1. Распределение урана в почвах г. Черемхово и его окрестности

вариацией содержаний органического углерода (0,66–34,4%). При этом наименьшие его содержания приурочены к вновь сформированным почвам рекультивированных территорий, а наибольшие – связаны с антропогенным привносом. В условиях периодически промывного режима почв в Черемховском районе и, как правило, с высоким содержанием гумуса предполагаем преимущественное осаждение соединений урана и их закрепление органическим веществом почв, что, вероятно, подтверждается коэффициентом корреляции урана с органическим углеродом почв ($r^2 = 0,7$).

Так же как и содержания урана, содержания тория в почвах (табл. 1) изменяются в широком диапазоне значений. В целом торий имеет более высокие содержания в почвах по сравнению с фоном для почв Прибайкалья. Несмотря на достаточно высокую корреляцию тория с ураном ($r^2 = 0,74$), торий имеет несколько иной характер распределения на изучаемой площади. По сравнению с ураном, повышенные содержания тория (10–15 мг/кг) имеют более широкий ареал распространения (рис. 2), занимающий 69% площади. Низкими содержаниями тория (менее 10 мг/кг) характеризуется незначительная часть территории города (24%).

По величине отношения Th/U (рис. 3) большая часть почв на изученной территории характеризуется отношением $Th/U > 3$, зависящим от естественного

Th/U-отношения, связанного с почвообразующими породами, а также от количества и химического состава поступающей в почву техногенной пыли. Величина Th/U-отношения является важным показателем состояния почв. В зоне влияния предприятий, в том числе угольной энергетики, наблюдается снижение природного их отношения до уровня 2–3 [20].

Аналогичные исследования почв на содержания в них урана и тория проводились в 2010 г. на территории г. Иркутска [7]. Согласно результатам авторов, содержания урана и тория в почвах также свидетельствуют о высокой изменчивости содержаний данных элементов: содержания урана варьируют в пределах 0,5–23,3 мг/кг (медиана 2,1), а тория – 5,3–27,44 мг/кг (медиана 8,9). Из этих данных следует, что по содержанию урана почвы г. Черемхово незначительно, но достоверно отличаются от почв г. Иркутска, а содержания в них тория достоверно выше. Различия, вероятно, обусловлены более сильной техногенной нагрузкой в отношении естественных радиоактивных элементов, связанной с угольной промышленностью, а также с локальными геохимическими особенностями. Для сравнения, в регионе Западной Сибири в почвах г. Томска содержания урана варьируют от $< 0,8$ до 6 мг/кг (среднее $2,4 \pm 0,08$), а тория – от 2,5 до 16,1 мг/кг (среднее 7,5) [25]. Таким образом, по содержанию урана почвы г. Томска и Черемхово достоверно не различаются, но характеризуются большим разбросом их значений и достоверно большими содержаниями тория, что, вероятно, связано с различиями в геохимической специфике регионов. Данное различие подтверждается также обобщением значительного массива данных для территории юга Западной Сибири и республики Алтай [14]: в этих регионах среднее содержание урана в почвах варьирует (мг/кг) от 2,0 до 2,2, а тория – от 6,9 до 7,3.

Уместно отметить и результаты собственных исследований, проведенных в периоды с 2008 по 2010 г. в окрестностях г. Ангарска (Иркутская область) в зоне влияния золоотвалов ТЭЦ-9 [12]. Фоновые значения содержаний (мг/кг) урана ($2,5 \pm 0,5$) и тория ($8,1 \pm 1,4$) достоверно не отличаются от данных, полученных для почв г. Иркутска. Однако также была выявлена неоднородность распределений урана и тория в почвенном покрове. Выделены участки с повышенными содержаниями урана (до 10,6 мг/кг) и тория (до 30,4 мг/кг), связанные с наличием золошлаковых отходов ТЭЦ в почвах.

Рассмотрим наиболее существенный источник загрязнения почв ураном и торием – каменные угли и продукты его сжигания. Ниже представлен химический состав золы каменных углей (табл. 2) одного из месторождений Иркутской области, используемых в настоящее время для промышленного сжигания на иркутских ТЭЦ.

Табл. 2

Содержание урана и тория в золе каменных углей, мг/кг

Параметр	Уран	Торий
Пределы колебаний	9–22	18–65
Среднее содержание	13	37
Медиана	12	33
Стандартное отклонение	5	18
Кларк [22]	15 ± 1	23 ± 1

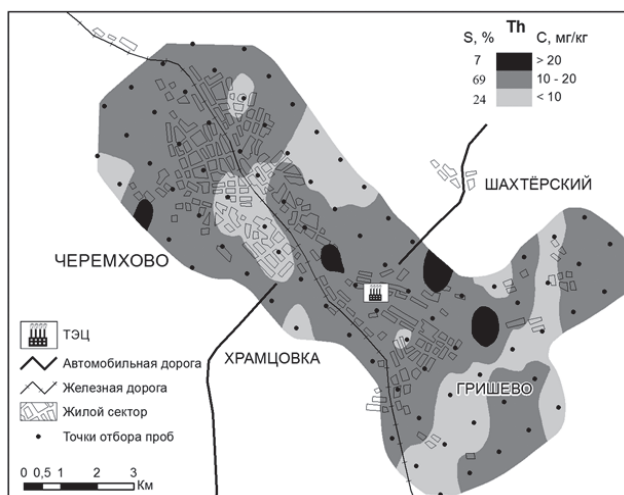


Рис. 2. Распределение тория в почвах г. Черемхово и его окружения

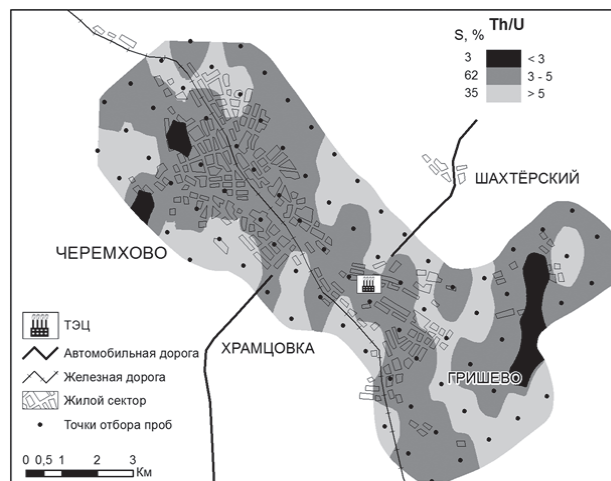


Рис. 3. Th/U-отношение в почвах г. Черемхово и его окружения

Из представленных в табл. 2 данных следует, что в золах углей данного месторождения содержания урана ниже кларка, а содержания тория выше кларка. Изучение содержаний радиоактивных элементов в самих углях показало, что они, в зависимости от глубины залегания пласта, содержат уран в количестве от 1 до 10 мг/кг и торий – от 5 до 30 мг/кг, то есть в ряде случаев содержания тория и урана заметно превышают их кларки, которые составляют 3,2 и 1,9 мг/кг соответственно [22].

На основании этих данных, а также зольности углей, варьировавшей в пределах 5–16%, сделан ориентировочный расчет эмиссии урана и тория в окружающую среду при непромышленном сжигании угля, который показал, что в результате его сжигания уносится от 11 до 85% урана и от 13 до 84% тория. Это подтверждает вывод [22] об опасности непромышленного сжигания угля с повышенными содержаниями урана. Однако в обзоре [8] сообщается о степени перехода урана в высокозольную фракцию, составляющую 32–35%. Возможной причиной данного обстоятельства могут служить природные геохимические различия углей.

Изучение химического состава атмосферных осадков (снега) показывает, что по содержаниям радиоактивных элементов его твердая фаза сопоставима с химическим составом золы углей (табл. 3). Несмотря на малое количество проб и невозможность соответствующей статистической обработки данных, они все же дают наглядное представление о химическом составе атмосферных осадков на территории г. Черемхово.

Данных о содержаниях радиоактивных металлов в снеге на фоновых участках региона имеется мало. Согласно исследованиям, проведенным ранее [4], средняя концентрация урана (мг/кг) в труднорастворимых частицах из проб снегового покрова в фоновых районах составляет для южного Байкала – 22, для Хамар-Дабана – 6. Аналогичные данные по торию – 24 и 14. В снеговой воде тех же районов уровни урана (растворимые формы) составили (мкг/л) 0,07 и 0,037, а тория – 0,005 и 0,0003 соответственно. На наш взгляд, эти данные несколько завышены, что, возможно, связано с недостатками методик определения. Например, по нашим данным, в фоновом районе Иркутской области (Катангский район) в твердом осадке снега количество урана составляет 2,9 мг/кг, а тория – 3,4 мг/кг.

Полученные нами данные позволили рассчитать техногенную нагрузку (г/км²) для данных металлов за зимний период года: со снеговой водой на поверхность поступает 0,10–0,18 тория и 0,16–0,47 урана. В количествах на два порядка больших эти металлы поступают на поверхность с твердой фазой снега (г/км²): 91–437 тория и 45–131 урана. Таким образом, становится очевидным, что основной вклад в загрязнение почв г. Черемхово данными металлами вносят твердые продукты сжигания каменного угля.

Установлен высокий (0,7) положительный коэффициент корреляции урана и тория с ртутью. Это свидетельствует об общем источнике их поступления в результате сжигания угля. Ртуть также является опасной примесью в углях [23], и повышенные содержания ртути (локальный фон – 0,034 мг/кг, среднее – 0,059 мг/кг) в почвах г. Черемхово, а также характер ее пространственного распределения [13] указывают на ее поступление в результате сжигания углей.

Заключение

В результате проведенных исследований установлен характер распределения урана и тория в почвах г. Черемхово и его окрестностей. Повышенные содержания урана приурочены к связанным со сжиганием угля зонам воздействия предприятий энергетики (ТЭЦ-12) и транспорта и к частному сектору территории города. Повышенные содержания тория имеют более широкий ареал распространения в почвах, что обусловлено не только его поступлением из антропогенных источников, но также и влиянием коренных пород (геохимическими особенностями региона).

В настоящее время загрязнение почв ураном и торием мало отражается на таком показателе, как отношение Th/U, которое нарушено лишь на отдельных локальных участках.

На основании изучения химического состава снега установлено, что существенный вклад в поступление данных элементов в почвы г. Черемхово и его окрестностей вносит твердая фаза снеговых осадков.

Подтверждено, что основным техногенным источником урана и тория является промышленное и непромышленное сжигание углей.

Сложившаяся экологическая ситуация, как она отражена в полученных нами данных, представляется относительно стабильной, но требует улучшения. Основные направления мероприятий по охране природы в Черемховском районе и г. Черемхово были изложены еще 20 лет назад [1]. В настоящее время среди них надо особо отметить такие, как обезвреживание промышленных выбросов и стоков, лесовосстановление и рекультивация нарушенных земель. Мероприятия по охране окружающей среды должны быть направлены прежде всего на снижение техногенного пресса за счет применения современных методов и технологий очистки газопылевых выбросов. Кроме того, необходим отказ от непромышленного сжигания каменного угля в частном секторе города, который надо перевести на централизованное отопление или на альтернативные источники энергии (дрова, щепы, пеллеты, брикеты). Сжигание каменного угля в непромышленных условиях особенно активно приводит к загрязнению почв на территориях частного сектора города, что опасно с точки зрения их использования под сады и огороды. Содержащиеся в почвах в повышенных концентрациях тяжелые металлы, включая радиоактивные, создают возможность их усиленного поступления

Табл. 3

Содержание урана и тория в пробах снега

Проба	Жидкая фаза, мкг/дм ³		Твердая фаза, мг/кг		Th/U в твердой фазе
	Th	U	Th	U	
С-16/10	0,0031	0,0048	16,0	8,0	2,0
С-17/10	0,005	0,13	27,4	8,2	3,3

в организм человека. Хотя медико-биологические последствия такого поступления в конкретных описанных выше условиях пока не изучены, представляется целесообразным проведение просветительной работы

с населением по вопросам опасности непромышленного сжигания угля и использования зольных отходов. На нарушенных и рекультивированных землях актуально изучение возможности их фиторемедиации.

Литература

1. Беркин Н.С., Филиппова С.А., Бояркин В.М. и др. Иркутская область (природные условия административных районов). – Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1993. – 304 с.

2. Ветров В.А., Климашевская З.А. Мониторинг загрязнения поверхности суши и озера Байкал неорганическими компонентами атмосферных выбросов Байкальского ЦБК // Совершенствование регионального мониторинга состояния озера Байкал. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – С. 136–158.

3. Ветров В.А., Пословин А.Л. Определение потока микроэлементов из атмосферы на водную поверхность с применением нейтронно-активационного анализа // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 3 / Под ред. Ю. А. Израэля. – Л. : Гидрометеоздат, 1980. – С. 51–56.

4. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1997. – 234 с.

5. Водяницкий Ю.Н. Химические аспекты поведения урана в почвах (обзор литературы) // Почвоведение. – 2011. – № 8. – С. 940–952.

6. Гребеницкова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / Ред. М.И. Кузьмин. – Новосибирск : Гео, 2008. – 234 с.

7. Грицко П.П., Гребеницкова В.И. Содержание урана и тория в верхнем горизонте городских почв Иркутска и природных почв в его окружении // Вестник ИрГТУ. – 2012. – № 1. – С. 34–40.

8. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов. Кн. 5: Редкие f-элементы / Под ред. Э.К. Буренкова. – М. : Экология, 1997. – 607 с.

9. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М. : Мир, 1989. – 439 с.

10. Кизильштейн Л.Я. Экогеохимия элементов-примесей в углях. – Ростов н/Д : СК НЦ ВШ, 2002. – 296 с.

11. Коваль П.В., Белоголова Г.А., Буренков Э.К., Пампура В.Д. Геохимическое картирование и мониторинг природной среды на Байкальском полигоне // Геология и геофизика. – 1993. – № 10–11. – С. 238–252.

12. Кузнецов П.В., Гребеницкова В.И., Бутаков Е.В., Айсуева Т.С. Площадное распределение урана и тория в почвенном покрове и их отношение в зоне влияния отстойников ТЭЦ-9 и АЭХК (г. Ангарск, Иркутская область) // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде:

Материалы VI международной научно-практической конференции. Семипалатинский гос. педагогический ин-т, 4–7 февраля 2010 г. Т. 1. – Семей, 2010. – С. 204–206.

13. Кузнецов П.В., Гребеницкова В.И. Картирование химического загрязнения почв г. Черемхово и его окрестностей // Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее: Материалы XVII научной конференции молодых географов Сибири и Дальнего Востока. Иркутск, 11–16 апреля, 2011 г. – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2011. – С. 143–145.

14. Маликова И.Н., Страховенко В.Д., Щербов Б.Л. Th/U-отношения в почвах юга Западной Сибири // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы III межд. конф., Томск, 23–27 июня 2009 г. – Томск, 2009. – С. 332–336.

15. Мусихина Е.А. Методологический аспект технологии комплексной оценки экологической емкости территорий. – М. : Академия Естествознания, 2009. – 137 с.

16. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2009 году: государственный доклад. – Иркутск : Главное управление природных ресурсов и охраны окружающей среды, 2010. – 525 с.

17. Пампура В.Д., Ломоносов И.С., Арсентьева А.Г., Гапон А.Е. Геохимические исследования и картографирование снегового покрова Прибайкалья // Общая и региональная геология, геология морей и океанов, геологическое картирование: Обзор. – М. : Геоинформмарк, 1993. – 42 с.

18. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. – М. : Географгиз, 1961. – 496 с.

19. Покатилов Ю.Г. Химия атмосферных осадков, снежного покрова и медико-демографические особенности естественных и техногенных территорий Восточной Сибири (биогеохимический аспект изучения территорий). – Иркутск : Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2006. – 147 с.

20. Рихванов Л.П., Язиков Л.Г., Сухих Ю.И. и соавт. Эколого-геохимические особенности природных сред Томского района и заболеваемость населения. – Томск : Курсив, 2006. – 216 с.

21. Стандартные образцы химического состава природных минеральных веществ : Методические рекомендации / Сост. Н.В. Арнаутов. – Новосибирск : Ин-т геологии и геофизики СО РАН, 1990. – 220 с.

22. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. – Екатеринбург : УрО РАН, 2006. – 538 с.

23. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ртуть в углях – серьезная экологическая проблема // Биосфера. – 2010. – Т. 1. – С. 237–247.

24. Экогеохимия городов Восточной Сибири / И.С. Ломоносов, В.Н. Макаров, А.П. Хаустов и др. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1993. – 108 с.

25. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв. – Томск : Изд-во ТПУ, 2010. – 264 с.

26. Aisueva T.S. Determination of U and Th in rocks and soils by means of XRF // Colloquium

Spectroscopicum Internationale XXXV : Abstract Book. – Xiamen, China, 2007. – P. 356.

27. Govindaraju K. Compilation of working values and sample description for 383 geostandards // Geostandards Newsletter. – 1994. – Vol. 18, Special Issue. – P. 1–158.

28. Sanina N.B., Aisueva T.S., Chyparina E.V., Lankin J.K. Toxic and radioactivity elements in soils and plants of natural and technogenic systems of Pre-baikalia (region lake Baikal) // 7th International Symposium on Environmental Geochemistry: Abstracts Book. – 2006. – Vol. 25. – P. 192.

