

На правах рукописи



Грицко Полина Павловна

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОРИЯ, УРАНА И ^{137}Cs
В ПОЧВАХ ГОРОДОВ
ИРКУТСК И АНГАРСК (ПРИБАЙКАЛЬЕ)**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук (ИГХ СО РАН)

Научный руководитель

Гребенщикова Валентина Ивановна, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник ИГХ СО РАН

Официальные оппоненты

Рихванов Леонид Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет», (г. Томск)

Семинский Константин Жанович, доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры СО РАН, (г. Иркутск)

Ведущая организация

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, (г. Новосибирск)

Защита состоится «10» октября 2018 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета Д 003.059.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геохимии им А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Фаворского 1а, факс: (3952) 42-70-50; сайт: <http://www.igc.irk.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на сайте (<http://www.igc.irk.ru>) Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института геохимии им. А.П. Виноградова Сибирского отделения Российской академии наук.

Автореферат разослан « » 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
к.г.-м.н.



Королева Г.П.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Почвенный покров, находясь на пересечении путей миграции химических элементов, в том числе, радиоактивных, является основным компонентом природной среды, несущим в себе суммарный эффект многолетнего техногенного воздействия. Проблема, связанная с потенциальным влиянием на природную среду радионуклидов, активно рассматривалась в работах многих российских и зарубежных исследователей [Корогодина, 1956; Фор, 1969; Журавлева, 1982; Булдаков, 1992; Романова, 2000; Ильина, Коренкова, 2001; Ивлев, Дербенцева, 2002; Израэль, 2005; Яблоков, 2009; Сычев и др., 2016; Gesell, Prichard, 1975; Murray V. McBride, 1994; Godoy, 2009; Yoshida, 2017 и др.]. Территория Байкальского региона является составной частью Восточно-Сибирской урановорудной провинции, вследствие чего слагающие его геологические формации специализированы на естественные радионуклиды – уран и торий, являющиеся для региона приоритетными эндемическими элементами. При повышенном природном радиационном фоне, на протяжении многих лет, территория Байкальского региона подвергалась воздействию радиационных выпадений, в первую очередь, за счет испытаний ядерного оружия на Семипалатинском полигоне (СИП), который находится на одной широте с Иркутской областью, проводившихся в период с 1949-го по 1963 гг. [Малевич, Турчанинов, Бузин и др., 1995; Медведев и др., 1996, 2005; Непомнящих и др., 1999; Черняго и др., 2008]. Перенос радиоактивных продуктов ядерных взрывов воздушными потоками с полигона происходил в соответствии с общей циркуляцией атмосферы преимущественно в восточном направлении через все регионы Южной Сибири, включая г. Иркутск (рис.1). Иркутскими научными сотрудниками Геоэкологического центра Байкальского филиала «Сосновгеология», Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН основные комплексные радиоэкологические мониторинговые исследования последствий ядерных взрывов проводились в период 1991-2003 гг., в результате чего получены материалы, указывающие на радиационное воздействие на

компоненты окружающей среды и здоровье населения: выявлены десятки населенных пунктов Иркутской области, испытавших загрязнение продуктами ядерных взрывов.

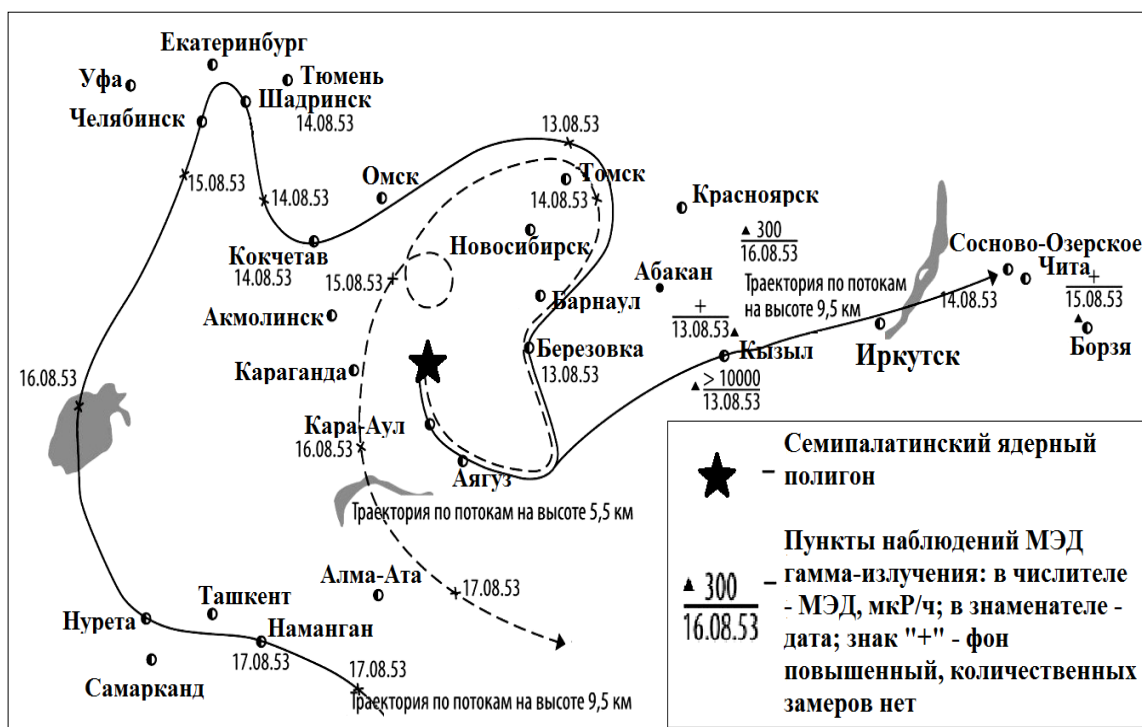


Рис. 1. Траектория воздушных потоков от термоядерного взрыва первой водородной бомбы [Медведев, Коршунов и др., 2005]

Не менее значимыми очагами радиоактивного воздействия территории двух крупных индустриальных центров Восточной Сибири – городов Иркутск и Ангарск являются предприятия теплоэнергетики, медицинские учреждения, научно-исследовательские институты, учебные заведения, территории дислокации военных объектов, широко использующие источники радиоактивного излучения, эталоны, различные приборы с радиоактивными шкалами, а также предприятия, перерабатывающие или транспортирующие радиоактивное сырье. Более того, на территории г. Ангарска располагается крупнейшее предприятие атомной промышленности – Электролизный химический комбинат (АО «АЭХК») по производству природного и обогащенного гексафторида урана. Японское землетрясение в марте 2011 г. и цунами, которые привели к трагедии на атомной электростанции Daiichi в

Фукусиме, вновь привлекли внимание мировой общественности к ядерной энергии спустя двадцать пять лет после взрыва в Чернобыле [Johnson, 2011].

Таким образом, изучение характера распределения тория, урана, изменение показателя их отношения в почвах урбанизированных территорий городов Иркутск, Ангарск и естественных ландшафтов на окраинах; анализ значений удельной активности техногенного ^{137}Cs – индикатора бывшего радиоактивного загрязнения объектов окружающей среды, позволит дать полную картину о содержании радионуклидов в почвах и урбаноземах городов и установить приоритетные источники привноса радиоэлементов. И, в целом, определить современный статус радиоэкологической обстановки в исследуемых промышленных центрах Восточной Сибири.

Объектом исследования является почвенный покров территорий городов Иркутск, Ангарск и сопредельных площадей.

Цель работы – радиоэкологическая оценка современного состояния территорий городов Иркутск, Ангарск и пригородных зон по данным изучения распределения радиоактивных элементов в почвах. Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Произвести пробоотбор почвенного материала и определение в нем валовых содержаний U, Th; значений удельной активности ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , а также ^{137}Cs ;
2. Изучить особенности и характер распределения исследуемых радиоэлементов в почвенном покрове городов и пригородных территорий;
3. Произвести измерение уровня мощности экспозиционной дозы (МЭД) гамма-излучения на местности;
4. Установить генезис источников участков повышенных концентраций исследуемых элементов;
5. Составить обобщающие карты-схемы, отражающие мощность уровня эквивалентной дозы гамма-излучения радиационного фона; площадное распределение радиоэлементов в почвенном покрове городов Иркутск, Ангарск и пригородных территорий;

6. Оценить современный статус радиоактивности исследуемой территории с точки зрения экологической позиции.

Научная новизна работы. На представительном материале впервые проведено радиоэкологическое исследование современного состояния почвенного покрова городов Иркутск, Ангарск и окружающих площадей. Выявлены закономерности распределения радионуклидов, определены источники повышенных содержаний радиоактивных элементов в почвенном покрове территорий исследуемых городов. Установлены уровни удельной активности и рассмотрены особенности площадного распределения техногенного ^{137}Cs в почвах г. Иркутска и пригорода. Равномерно по всей исследуемой территории для оценки гамма-фона произведена дозиметрическая съемка. Построены карты – схемы площадного распределения радиоэлементов, а также значений уровня МЭД гамма-излучения, отражающие современную радиоэкологическую обстановку в исследуемых городах. На территории г. Иркутска и окрестностей изучена минеральная составляющая почвенных образцов и распределение в ней в виде отдельных фаз тория и урана благодаря данным рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа (РСМА).

Защищаемые положения:

1. Почвенный покров промышленных городов Прибайкалья – Иркутска и Ангарска характеризуется повышенными содержаниями тория и урана относительно почв их окружения. В зонах техногенеза выявлены наибольшие содержания тория и урана, формирующие локальные, различные по своей специфике низкоконтрастные ореолы источников привноса радиоэлементов в окружающую среду.

2. Индикатором техногенного проявления урана и тория в почвах является отклонение торий-уранового отношения от нормального (3,5-5), также, как и отношения $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra} < 1$. Городским почвам зон техногенеза свойственна «урановая природа». «Ториевая природа» характерна для антропогенно измененных почв сельскохозяйственного назначения.

3. Основная техногенная радиационная нагрузка на городские агломерации Иркутска обусловлена местными источниками. Существенной аэрогенной эмиссии урана по преобладающим северо-западным ветрам от г. Ангарск через г. Иркутск не выявлено.

Практическая значимость работы. Результаты проведенных исследований могут использоваться при решении задач радиационного мониторинга; для прогнозирования экологической оценки городской территории с учетом радиационных нагрузок; с целью разработки практических рекомендаций для улучшения экологической ситуации и выработки нормативных радиологических показателей для зонирования и нормирования территории. Материалы могут быть полезны для служб органов здравоохранения, охраны природы и служб мониторинга за состоянием природной среды. Результаты научного исследования могут быть применены в дальнейшем для разработки комплексной оценки антропогенного воздействия на природную среду с целью стабилизации ее состояния.

Фактический материал и методы исследования. Почвенно-радиоэкологические исследования проводились автором в полевые сезоны 2010-2013 гг., прежде всего, на территории г. Иркутска и пригорода. Материал для сравнения отбирался в г. Ангарске и поселке Белая Зима Тулунского района. В основу работы положены результаты современных высокочувствительных методов анализа. Определение валового содержания тория и урана было проведено недеструктивным рентгенофлуоресцентным методом анализа (РФА) на рентгеновском спектрометре S4 Pioneer фирмы Bruker AXS, (Германия) с применением отечественных стандартных образцов ГСО БИЛ-1, ГСО СГД-1А. Измерение почвенного материала для определения значений удельной активности ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs проводились на низкофоновой гамма-спектрометрической установке – финском анализаторе импульсов NOKIA. Рентгеноспектральным электронно-зондовым микроанализом (РСМА) был изучен фазовый и

химический состав минеральной составляющей почв. Исследование порошков почв выполнено на микроанализаторе Superprobe JXA-8200 (JEOL Ltd, Япония).

Аналитические исследования и межлабораторный контроль проводились в современных аккредитованных аналитических лабораториях г. Иркутска: Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, Институт Земной коры СО РАН, аналитическая лаборатория Байкальского филиала «Сосновгеология» ФГУП «Урангеологоразведка», лаборатория радиационного контроля Иркутского отделения филиала «Сибирский территориальный округ» ФГУП «РосРАО». При выполнении полевых исследований приоритетными были выбраны следующие нормативные документы – ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, а также методические рекомендации [Методические..., 1982]. Определение естественных радионуклидов и искусственного радиоцезия осуществлялось согласно Методическим указаниям [Методические..., 1994]. Основные пробы почв на исследование валового содержания радиоактивных элементов отбирались из поверхностного гумусово-аккумулятивного слоя (0-10 см), предварительно очищенного от верхнего дернового слоя методом конверта (участок 10x10 м). Почвенный материал в целях спектрометрического исследования содержания радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , и техногенного ^{137}Cs отбирался в аналогичных точках пробоотбора специальным «методом кольца».

Для измерения мощности доз гамма-излучения в сопряженных точках пробоотбора был использован дозиметр ДКГ-07Д «ДРОЗД». Измерения проводились согласно ГОСТа 26307-84 на уровне 1 м от поверхности земли. Количество измерений в одной точке составляло не менее 5, по которым вычислялось среднее значение, и производилась оценка погрешности измерения. Общая коллекция, составляющая основу работы, представляет 400 проб почвенных образцов.

Апробация работы и публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 20 публикациях (3 статьи в российских рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК; статья базы научного цитирования Scopus и 16 тезисов докладов в материалах всероссийских и

международных конференций, проводимых в 2010-2018 гг.). Результаты исследований по теме диссертации докладывались на конференциях, совещаниях, симпозиумах в России: г. Иркутск – научные конференции студентов и преподавателей ИГУ (2010, 2011); XVII научная конференция молодых географов Сибири и Дальнего Востока «Природа и общество: взгляд из прошлого в будущее» (2011); XXIV Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (2011); конференции молодых ученых «Современные проблемы геохимии» (2010, 2011, 2013, 2018); Всероссийское совещание (с участием иностранных ученых) «Современные проблемы геохимии» (2012); научно-практическая конференция «Состояние и проблемы минерально-сырьевой базы урана России» (2015); г. Томск: XIV, XVI Международные симпозиумы им. академика М.А. Усова студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (2010, 2012); г. Улан-Удэ: Всероссийская молодежная научная конференция «Геология Западного Забайкалья» (2011); г. Ангарск: межрегиональная научно-практическая конференция молодых ученых «Экологические и медицинские проблемы Сибири» (2012); г. Красноярск: Международная научно-практическая конференция «Радиоэкология XXI века» (2012); г. Апатиты: IV Всероссийская научная конференция с международным участием «Экологические проблемы северных регионов и пути их решения» (2012).

Достоверность результатов работы обеспечена большим объемом фактического материала; применением современных высокоточных аттестованных аналитических методов с использованием стандартных образцов и проведением межлабораторного контроля; глубиной проработки материала; апробацией результатов исследований на российских и зарубежных конференциях.

Структура и объем работы. Диссертация объемом 160 страниц состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 254 источника. Работа содержит 52 рисунка и 34 таблицы.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является самостоятельно выполненным научным исследованием. Основу работы составляют материалы, полученные непосредственно автором, участником полевых экспедиционных исследований почвенного материала, проводимых в 2010-2013 гг. Выполнен большой объем геоэкологических исследований по теме работы с применением современных аналитических методов, проведена обработка и интерпретация материала. Освоены и лично проведены отбор почвенных образцов специальным «методом кольца», пробоподготовка и количественный гамма-спектрометрический анализ на определение содержания естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) и искусственного ^{137}Cs .

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, д.г.-м.н. В. И. Гребенщиковой за внимание и ценные советы, рекомендации и практическую помощь на всех этапах подготовки работы; профессору, д.ф.-м.н. А. И. Непомнящих за практическое содействие и важные замечания, оказываемые в процессе выполнения работы. Особо признателен автор профессору, д.г.-м.н. В.А. Макрыгиной за поддержку и помощь при написании и оформлении работы; к.б.н. М. В. Пастухову за полезные консультации по тематике исследования, снабжение необходимой в ходе выполнения работы литературой. Искреннюю благодарность автор выражает к.г.-м.н. Г. А. Белоголовой за конструктивную критику, ценные замечания, высказанные по работе, и советы; к.х.н. О. Ю. Белозеровой за бесценный материал и содействие. Автор признателен исполнителю аналитических исследований – к.э.н. Т. С. Айсуевой, группе специалистов по ГИС-технологиям, особенно А. А. Дорошкову и всем сотрудникам ИГХ СО РАН, принимавшим участие в исследованиях.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выбранной темы диссертационной работы и проведенных исследований. Определены основные цели и задачи, объекты и методы, сформулированы защищаемые положения, обозначен вклад автора в исследование по данной теме, отражена научная новизна работы и

практическая значимость полученных результатов, а также приведены сведения об апробации работы, ее структуре и объеме. **Первая глава**, составленная на основе литературных данных, отражает обобщенную характеристику степени изученности и современного состояния радиоэкологических исследований. Особое внимание уделено важности изучения радиоактивных элементов в различных компонентах окружающей среды (преимущественно, в аккумулярующем объекте – почвенном покрове). Отмечено, что распределение в почвах городских территорий долгоживущих радионуклидов изучено недостаточно для современного состояния проблемы исследования. Во **второй главе** приведена характеристика опорного участка работ. Приводится описание комплекса различных методик пробоотбора почвенного материала; экспедиционные и аналитические лабораторные методы анализа; дозиметрический контроль. В **третьей главе** приведены основные сведения о природно-климатических характеристиках, преимущественно территории г. Иркутска. Существенное внимание уделено радиоэкологическому состоянию городов Иркутск и Ангарск. **Четвертая глава** содержит результаты изучения содержаний радиоактивных элементов в почвах г. Иркутска и пригорода в следующих аспектах: описана специфика распределения валовых содержаний тория и урана в гумусоаккумулятивном горизонте почвенного покрова; установлен генезис повышенных содержаний радиоэлементов; показаны особенности распределения торий-уранового отношения и уровня МЭД гамма-излучения. Материал, на котором базируется работа, представлен 248 почвенными пробами функциональных зон территории г. Иркутска, из которых 31 образец почвенного материала отобран в окружении на различном расстоянии от города. По г. Ангарску отобрано 120 почвенных проб, из которых 61 проба составляет жилую территорию города; 44 – промышленные участки; 15 почвенных образцов отобрано с пригородных зон. 24 почвенных пробы отобрано на территории по направлению северо-западных ветров от АО «АЭХК» до г. Иркутска. Стоит отметить, что опробованию подлежали также донные отложения вокруг АО «АЭХК» и шлам ТЭЦ-9 (несколько проб). 8

образцов почвенного материала отобрано на территории тантал-ниобиевого месторождения поселка Белая Зима Тулунского района.

Почвы г. Иркутска характеризуются вариациями Th от 5 до 27,4 мг/кг при среднем значении 9,4 мг/кг; почвы в окружении города содержат пониженные относительно городских концентрации Th от 5 до 9,9 мг/кг при среднем значении 8,4 мг/кг. По содержанию U городские почвы характеризуются вариациями от <1 до 44,9 мг/кг при среднем значении 3,5 мг/кг; почвы в окружении города – от 1,2 до 2,7 мг/кг при среднем 2,0 мг/кг. Максимальные содержания Th сконцентрированы в северо-восточной части г. Иркутска в промышленной зоне Правобережного округа, а именно: вблизи расположения территории военной базы микрорайона Зеленый – 27,44 мг/кг, вблизи предместья Радищево – 16,94 мг/кг (рис. 2).

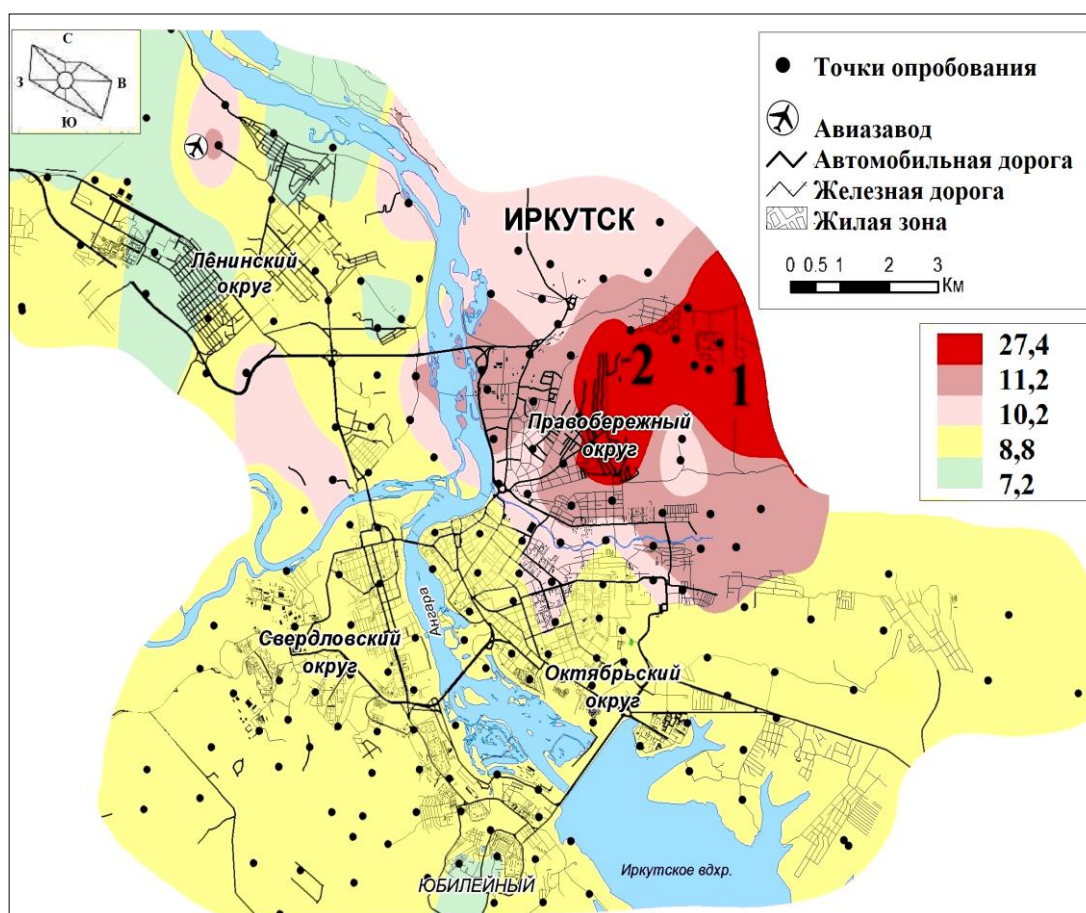


Рис. 2. Схема пространственного распределения валового содержания Th (мг/кг) в почвенном покрове г. Иркутска и окрестностей; 1 – микрорайон Зеленый, 2 – предместье Радищево

На территории исследуемой военной базы опробованию в нескольких точках подвергся и верхний почвогрунт, содержащий, в основном, насыпной мелкозернистый обломочный материал, валовые значения Th в котором оказались аналогично высокими (23 – 27 мг/кг).

Максимальные концентрации U проявились в виде четырех небольших по площади локальных участков, хаотично расположенных по городу Иркутску (рис. 3) – в Ленинском округе в районе Иркутска-II: вблизи взлетной полосы Иркутского авиазавода (23,3 мг/кг) и возле ТЭЦ (15,8 мг/кг); в Правобережном округе на территории промзоны предместья Марата (15,4 мг/кг); в центре города на о. Юность возле детской железной дороги – (44,9 мг/кг).

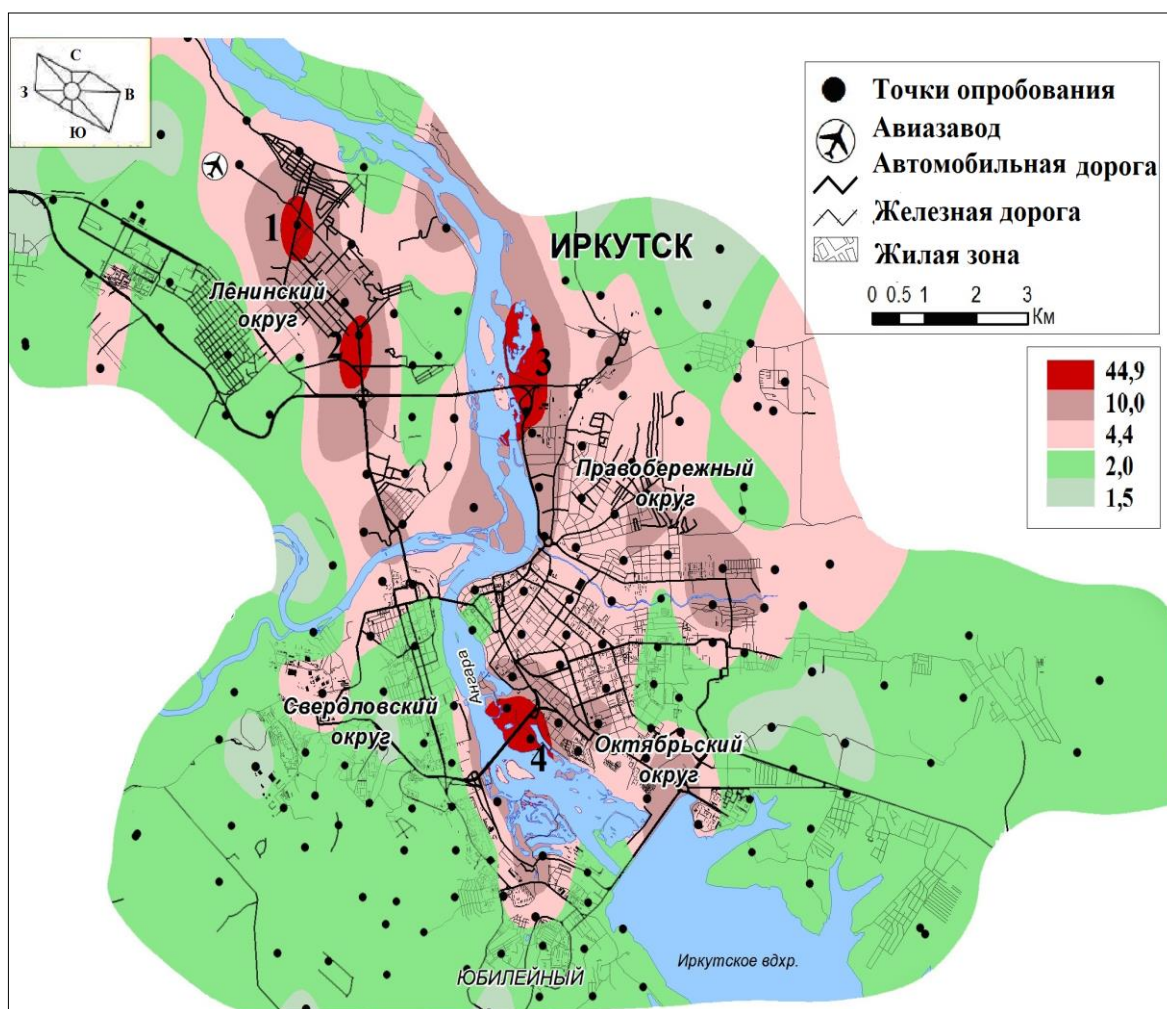


Рис. 3. Схема пространственного распределения валового содержания U (мг/кг) в почвенном покрове г. Иркутска и окрестностей; 1 – территория Иркутского авиазавода, 2 – ТЭЦ, 3 – предместье Марата, 4 – о. Юность

Еще в 1989-1990 гг. при радиометрическом обследовании городов Прибайкалья Иркутский авиационный завод был признан значимым радиоактивным загрязнителем города вследствие расположения на его территории многочисленных предметов – источников ионизирующего излучения – в основном, детали самолетов с радиоактивной краской, радиоизотопные датчики типа РИО-3, которыми оборудованы практически все воздушные суда [Отчет..., 1991]. Мелкие котельные промышленных предприятий и частного сектора, работающие на углях, безусловно, вносят вклад в радиоэкологическую обстановку в г. Иркутске, негативное влияние которой возрастает в зимний отопительный сезон. Концентрирование естественных радионуклидов происходит в золошлаковых отходах и газовой аэрозольных выбросах теплоэлектростанций. При всей неравномерности распределения естественных радионуклидов отчетливо проявлены более высокие удельные активности в иркутских углях [Обухова, 1989]. Повышенными относительно фоновых содержаниями U (9,8 мг/кг) и Th (10,1 мг/кг) примечательна также территория возле Ново-Иркутской ТЭЦ (Н-И ТЭЦ) ОАО «Иркутскэнерго». Причем на Н-И ТЭЦ приходится почти 44 % от валового количества выбросов всех источников теплоэнергетики [Аргучинцева, Годвинская, Ахтиманкина, 2011]. В таблице 1 представлен химический состав золы каменных углей, используемых в настоящее время для промышленного сжигания на иркутских ТЭЦ [Кузнецов, Гребенщикова, Айсуева, 2013].

Таблица 1. Содержание урана и тория в золе каменных углей, мг/кг

Параметр	U	Th
Пределы колебаний	9 – 22	18 – 65
Среднее содержание	13	37
Медиана	12	33
Стандартное отклонение	5	18
Кларк [Юдович, Кетрис, 2006]	15±1	23±1

Повышенные содержания урана в почвенных образцах территории промзоны предместья Марата обусловлены местным привносом загрязняющих

веществ. Проба взята непосредственно на газоне автозаправочной станции возле рынка строительных материалов; территория замусорена промышленными и бытовыми отходами, испытывает негативное влияние автотранспорта. Загрязнение участка территории Детской железной дороги (о. Юность) произошло, вероятно, в результате отсыпки дороги щебнем, производимым на Ангасольском щебеночном заводе в поселке Ангасолка Иркутской области. Анализу подвергся также и сам насыпной материал (щебень), в котором содержания урана оказались аналогично высокими (20-27 мг/кг).

Величина торий-уранового отношения (Th/U) является важным оценочным показателем состояния почв. В почвах, не подверженных интенсивному техногенному воздействию, этот показатель для большинства генетических типов почв различных природно-климатических зон в отдельных странах и континентах находится на уровне 3-5 единиц [Рихванов, 2009]. Результаты проведенного исследования показали, что соотношение Th/U в почвенном покрове исследуемой территории преимущественно находится на уровне регионального значения – 3,5 – 5. Тем не менее, в зонах влияния промышленных предприятий установлены локальные участки, почвы которых характеризуются «отрицательным» Th/U отношением (менее 3 единиц) – урановая природа, главным образом проявившиеся около территории Иркутского авиазавода, промзоны предместья Марата, а также на о. Юность – территория детской железной дороги. Выявленные «отрицательные аномалии» фиксируются как на расстоянии от источников, так и в непосредственной близости в пределах их расположения. Окраины города, дачные участки, сельскохозяйственные угодья, расположенные на значительном расстоянии от крупных промышленных источников, характеризуются «положительным» Th/U отношением более 5 единиц – ториевая природа. Наиболее повышенные (5 – 11) значения Th/U отношения выявлены на окраинах Ленинского, Октябрьского и Свердловского округов, территории которых представляют собой пахотные угодья, садоводческие участки, луговые равнины и леса.

Значения уровня МЭД радиационного гамма-фона по г. Иркутску и периферии составляет от 0,11 до 0,24 мкЗв/ч. В целом, региональным фоновым значением уровня МЭД в Прибайкалье можно считать 0,10 – 0,15 мкЗв/ч [Черняго, Непомнящих, 2008]. Повышенные значения МЭД гамма-излучения, главным образом, проявились в местах превышения содержаний тория и урана: 0,26 мкЗв/ч – напротив взлетной полосы ОАО НПК «Иркут» Иркутского авиазавода, на о. Юность возле детской железной дороги и на территории предместья Марата, представленной в основном частным сектором и мелкой промышленностью.

Пятая подглава посвящена особенностям площадного распределения радионуклидов (^{232}Th , ^{226}Ra , ^{40}K) и техногенного радиоцезия в почвенном покрове урбанизированной территории г. Иркутска и окружения. По литературным данным К.Н. Wedepohl [1970], пределы содержаний ^{137}Cs в почвах 0,3 – 26 мг/кг; интервал для почв Канады – 0,3 – 51 мг/кг [Koons R. D., Helmke P. A., 1978]; в почвах Болгарии – 2,2 – 16,7 мг/кг [Naidenov M., Travesi A., 1977]. В данной работе автор руководствовался сравнением значений регионального фона почв Байкальского региона с содержанием радиоцезия – 6–10 Бк/кг [Малевич, 1997]. В результате проведенных исследований значения максимальной удельной активности радиоцезия в почвенном покрове выявлены в отдельных точках, хаотически расположенных по районам г. Иркутска, преимущественно, на участках с повышенным содержанием урана (коэффициент корреляции $U-^{137}\text{Cs}$ – 0,7). В Ленинском округе – 31, 2 Бк/кг в Иркутске-II возле взлетной полосы ИАЗ; в Правобережном – 21,2 Бк/кг в поселке Зеленый вблизи дислокации действующей военной базы; в Октябрьском округе – 24,7 Бк/кг в центре города на о. Юность возле территории Детской Железной Дороги; в Свердловском округе в 2 км от г. Иркутска на территории расположения коттеджного поселка Николов Посад – 25,2 Бк/кг и 27, 7 Бк/кг. Таким образом, современный уровень радиационного загрязнения ^{137}Cs почвенного покрова г. Иркутска и окружающих площадей не представляет потенциальной опасности. Согласно [Непомнящих и др., 1999;

Медведев и др., 2005], плотность содержания ^{137}Cs в почвах г. Иркутска и его окружения не превышает 0,6 кБк/м², что в 2,5 раза меньше значения глобального фонового уровня для территории Южной Сибири (1,5 кБк/м²).

Количественное состояние радиоактивного равновесия характеризуется коэффициентом радиоактивного равновесия $K_{p.p.}$, представляющим собой отношение активности данного радионуклида к активности родоначального, или предшествующего ему по радиоактивному ряду радионуклида [Пруткина, Шашкин, 1984]. Если радиоактивное равновесие не нарушено, то $K_{p.p.} = 1$. Таким образом, по радионуклидному составу техногенные почвы отличаются от природных отношением $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra} < 1$ [Петрова, 2011]. Проведенные математические манипуляции выявили несколько точек почвенного покрова территории г. Иркутска, характеризующихся $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra} < 1$ и принадлежащих участкам с повышенным содержанием урана и тория, что еще раз подтверждает версию о техногенном источнике привноса исследуемых радиоэлементов в почвенный покров города. В то время как почвы естественных месторождений, например, тантал-ниобиевого месторождения поселка Белая Зима Тулунского района характеризуются $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra} > 1$ (табл. 2).

Таблица 2. Значения удельной активности (А, Бк/кг) ^{232}Th и ^{226}Ra и их соотношение в почвенном покрове территории Та-Nb месторождения поселка Белая Зима

^{232}Th	^{226}Ra	$^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra}$
230,1	90	2,6
301,4	110,1	2,7
218,7	72,8	3
147,1	38,3	3,8
110,4	24,6	4,5
141,9	33,4	4,2
37,6	19,1	2
147	56,1	2,6

Таким образом, отношение значений активности $^{232}\text{Th}/^{226}\text{Ra} < 1$ в почвах может служить индикатором техногенного вмешательства.

В шестой подглаве рассмотрены уникальные данные рентгеноспектрального электронно-зондового микроанализа по исследованию минеральной составляющей почвенного покрова г. Иркутска и окрестностей с целью изучения распределения тория и урана в виде включений и отдельных фаз. Размер частиц по образцам изменяется от 1 до 300 микрон и более. Визуально в фоновых районах наблюдаются частицы природного происхождения правильной ограненной формы в виде прямоугольников, квадратов, треугольников, параллелепипедов, трапеций (рис. 4).

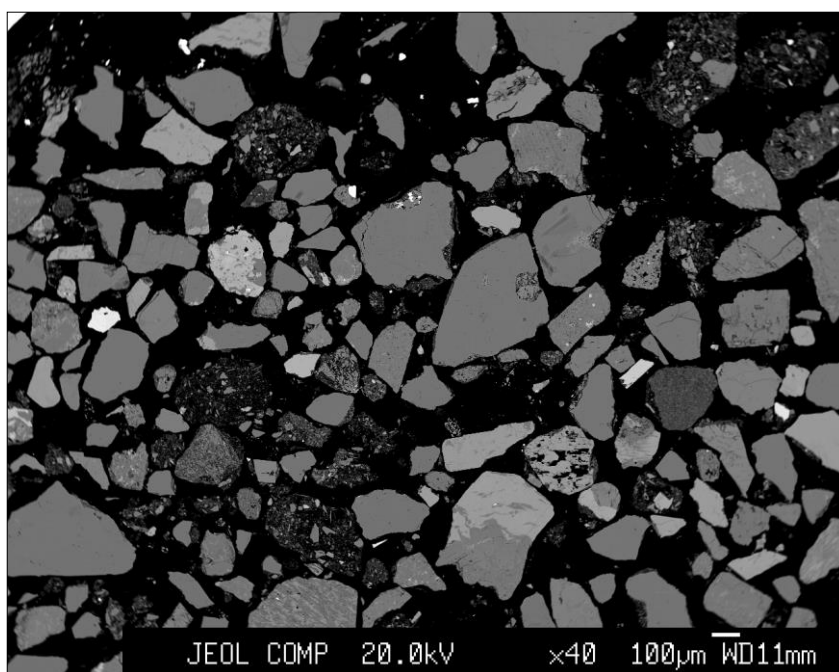


Рис. 4. Изображение в обратно рассеянных электронах частиц почвенного образца фонового участка территории г. Иркутска. Общий вид природы распределения фаз в образце. Ув. 40 X

В районах с техногенной нагрузкой, наряду с природными частицами, выделяются частицы техногенного происхождения, характеризующиеся сферической, полуограненной, изъеденной, неправильной формами с мелкими металлическими гранулами и сферуллами (рис. 5).

Для уточнения наличия примесных содержаний урана и тория в минеральной составляющей почвы на частицах образцов было изучено распределение элементов по поверхности частиц в рентгеновских характеристических лучах определяемых элементов в режиме растрового электронного микроскопа.

Для каждой частицы получены изображения во вторичных и обратно рассеянных электронах, и в рентгеновских характеристических лучах определяемых элементов: Na, Mg, Al, Si, P, F, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Ni, S, Cu, Zr, Pb, Th, U, Fe.

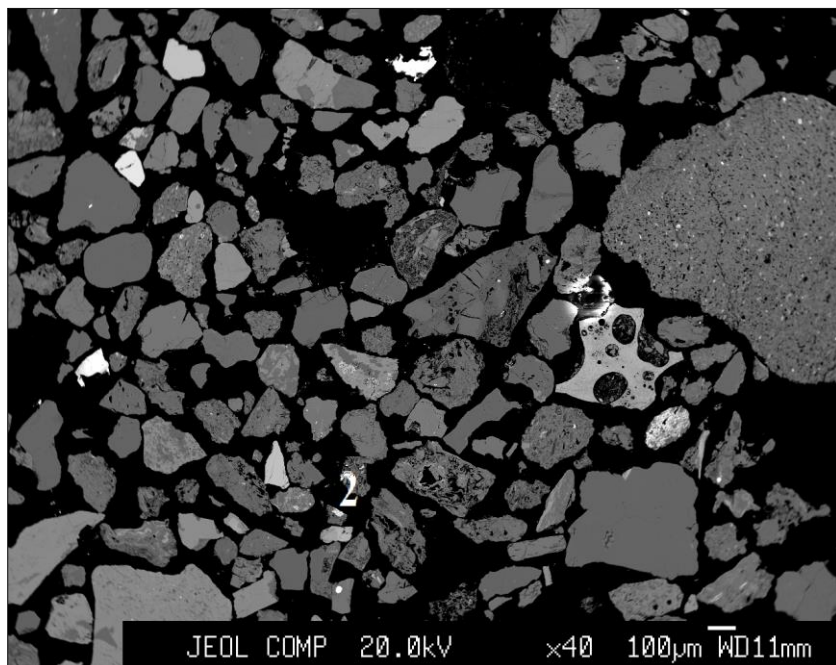


Рис. 5. Изображение в обратно рассеянных электронах частиц почвенного образца участка территории г. Иркутска с антропогенным влиянием. Общий вид природы распределения фаз в образце: 2 – силикатная фаза апатита. Ув. 40 X.

В некоторых из частиц зафиксированы представляющие интерес единичные десятые значения Th и U. В основном эти содержания наблюдаются в цирконах и в фазах в виде апатитов.

Пятая глава посвящена изучению почвенного покрова территории г. Ангарска и пригорода, распределению и содержанию в нем тория, урана, их отношения, показателю уровня МЭД гамма-излучения. Аналогично г. Иркутску, почвенный покров окружения г. Ангарска характеризуется наименьшими содержаниями как U (1,0-1,4 мг/кг), так и Th (5,8-8 мг/кг) относительно жилой территории г. Ангарска (1,5-7 мг/кг; 6-14,2 мг/кг соответственно). Несколько проб донных осадков было взято в обводном (U – 13,4 мг/кг; Th – 26,2 мг/кг) и дренажном (U – 10,6 мг/кг; Th – 29 мг/кг) каналах в южной части города возле ТЭЦ-9 и пару проб шлама в ее гидрозолоотвале (U – 10,1-17 мг/кг; Th – 29-44 мг/кг), которые выявили высокие содержания радиоэлементов. Максимальные концентрации урана (7-10,6 мг/кг) приурочены к южной части города и располагаются единым ореолом вокруг площадки

территории золоотвала ТЭЦ-9 (рис. 6). Территория вблизи ТЭЦ-1 примечательна повышенным содержанием нуклида (3-7 мг/кг).

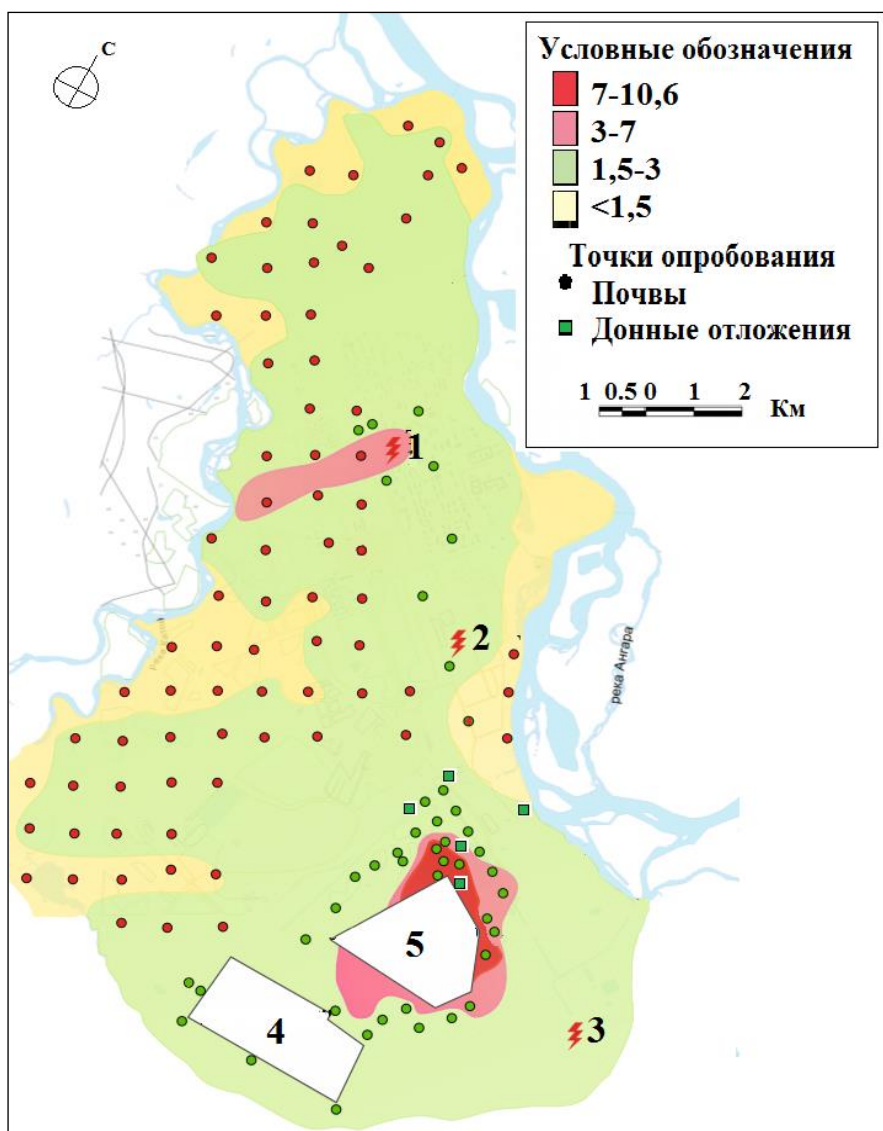


Рис. 6. Схема пространственного распределения валового содержания U (мг/кг) в почвенном покрове г. Ангарска и пригорода: 1, 2, 3 – ТЭЦ-1, ТЭЦ-9, ТЭЦ-10; 4 – АО «АЭХК», 5 – золоотвал ТЭЦ-9. Красным цветом указаны точки пробоотбора почв селитебной зоны; зеленым – промышленной.

Распределение тория (рис. 7) в почвах городской территории и пригорода фактически повторяет характер распределения урана, но ореолы его распространения занимают более протяженные участки города. Минимальное содержание нуклида отмечено на восточной окраине города (менее 6 мг/кг). Северная, южная и западные окраины г. Ангарска характеризуются содержаниями тория 5,8-8 мг/кг. Максимальные концентрации изучаемых радиоэлементов отмечается в южной промышленной части города вокруг гидрозолоотвала ТЭЦ-9 (Th – до 30,8 мг/кг; U – до 10,6 мг/кг).

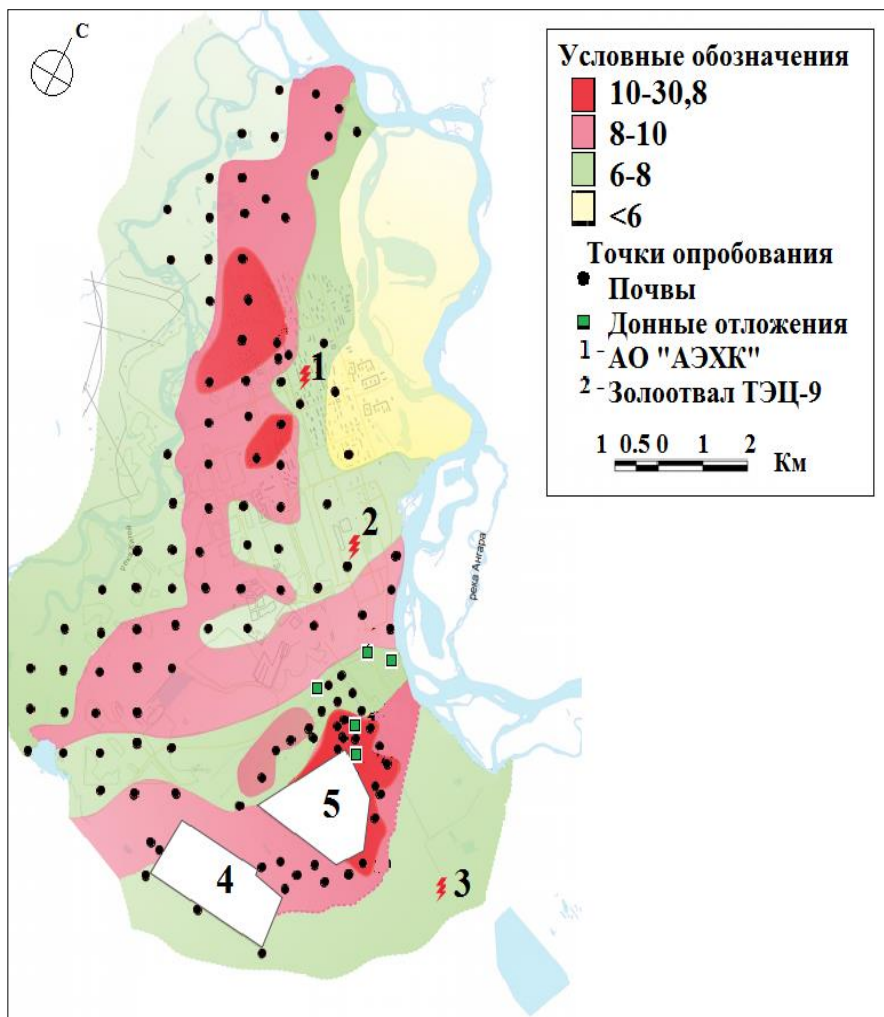


Рис. 7. Схема пространственного распределения валового содержания Th (мг/кг) в почвенном покрове г. Ангарска и пригорода: 1, 2, 3 – ТЭЦ-1, ТЭЦ-9, ТЭЦ-10; 4 – АО «АЭХК», 5 – золоотвал ТЭЦ-9

Показатель Th/U отношения находится преимущественно на уровне 3-5. Пониженные значения (≤ 3) характерны для южной части города – район АО «АЭХК» и площадка гидрозолотвала ТЭЦ-9; повышенное (> 7) – отмечается в северной и в некоторых краевых частях города. Минимальные содержания обоих элементов и низкое Th/U отношение отмечены в почвах между АО «АЭХК» и шламоотстойником, которые наиболее подвержены дренажу поверхностными и грунтовыми водами. В результате исследования почвенного покрова территории по направлению основных северо-западных ветров от АО «АЭХК» до г. Иркутска существенного влияния атмосферного переноса урана не установлено.

Вследствие того, что большинство выбросов поллютантов сосредотачиваются на поверхности почвы, где происходит их постепенное депонирование, которое ведет к изменению химических и физико-химических свойств субстрата, то по результатам распределения U и Th по профилю

почвенного покрова, с полной уверенностью можно определить генезис привноса повышенных содержаний радионуклидов. Исследования показывают, что максимальное количество радионуклидов аккумулируется в гумусовом горизонте почвы на глубине 0-5 см., исключая верхний дерновый слой. Повышенные значения уровня МЭД гамма-излучения (0,23-0,34 мкЗв/ч) приурочены к максимальным концентрациям рассматриваемых радиоэлементов. В жилой зоне города и его окраинах величина МЭД гамма-излучения низкая и составляет 0,14-0,18 мкЗв/ч.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Почвенный покров территорий городов Иркутск и Ангарск характеризуется различным по интенсивности накоплением радиоактивных элементов. Почвы городской территории примечательны повышенными значениями тория, урана и уровня МЭД гамма-излучения относительно почв, расположенных в окружении.

2. Установлены приоритетные локальные источники привноса урана и тория в почвы городов – главным образом, техногенно преобразованные почвогрунты как результат деятельности расположенных вблизи «собственных» предприятий различной специфики. В г. Иркутске данными урбостратоземами примечательны территории авиазавода (ИАЗ); промышленная зона предместий Рабочее и Марата; область дислокации военной базы микрорайона Зеленый, ТЭЦ и мелкие котельные, работающие на угле, а также привозные грунты о. Юность, слагающие непосредственно детскую железную дорогу и некоторые участки дачных садоводств. Основным источником повышенных содержаний радиоэлементов в почвах г. Ангарска и пригорода является аэротехногенное поступление их от промышленных предприятий, преимущественно АО «АЭХК», ТЭЦ и котельных, использующих уголь местного угольного бассейна. Существенного влияния АО «АЭХК» на содержание радионуклидов в почвенном покрове г. Иркутска не установлено. Техногенной эмиссии изучаемых радиоэлементов по преобладающим северо-западным ветрам от г. Ангарск через г. Иркутск не выявлено.

3. Соотношение Th/U в почвенном покрове исследуемой территории, в основном, находится на уровне регионального значения – 3,5 – 5 единиц (смешанная природа). Тем не менее, зафиксированы как «положительные» – 5 - 11 единиц; так и «отрицательные» – менее 3, значения относительно регионального уровня, свидетельствующие о том, что иногда происходит нарушение природного равновесия и проявляется наличие техногенной нагрузки.

4. Уровень МЭД гамма-излучения не достигает предельно допустимого значения; повышенные значения фиксируются локальными «пятнами», приуроченными преимущественно к территории расположения промышленных объектов.

5. Современный уровень активности техногенного ^{137}Cs в почвах и урбаноземах г. Иркутска не представляет потенциальной опасности. Плотность его содержания в 2,5 раза ниже значения глобального фонового уровня для территории Южной Сибири (1,5 кБк/м²).

Основные публикации в изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Грицко П.П.** Уран в почвах и почвогрунтах г. Иркутска и особенности его распределения // Вестник Иркутского университета. Иркутск. 2011. Вып. 14. С. 98-99.

2. **Грицко П. П.**, Гребенщикова 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.

3. **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.

4. Гребенщикова В.И., **Грицко П.П.**, Кузнецов П.В., Дорошков А.А. Уран и торий в почвенном покрове Иркутско-Ангарской промышленной зоны (Прибайкалье) // Известия Томского политехнического университета. 2017. Т. 328. № 7. С. 93-104.