

содержание золота составляет в одном канавном пересечении — 4,6 г/т на мощность 13 м, в другом — 6,3 г/т на мощность 11,4 м. Зона прослежена на глубину 17 м скважиной. В ее кернах содержание золота снижается до 0,4 г/т. Прогнозные ресурсы месторождения на 2008 г. составляют: золото — 2,3 т со средним содержанием 3,24 г/т, медь — 15 тыс. т со средним содержанием 0,37 %.

Месторождение Лазурное расположено в верховьях рек Изюбриная и Соболиная Падь [8]. Вмещающими служат терригенные породы катаевской, дивнинской и светловонинской свит апт-альбского возраста. Они прорваны интрузивными образованиями трех комплексов: предположительно рудным березовско-араратским малых интрузий габбро-монзонитов, монцодиоритов и монцогранодиоритов апт-сеноманского возраста, богнопольским мелкими штоками и даек риолитов, риодацитов и дацитов маастрихт-датского возраста, связь которых с оруденением не ясна и суворовским палеогеновым комплексом пострудных даек базальтов, андезитобазальтов и андезитовых порфириров. Рудные тела представлены залежами со штокверковым и прожилково-вкрапленным оруденением, располагающимся в экзо- и эндоконтакте интрузивных тел, подвергнутых интенсивной гидротермально-метасоматической проработке. Руды массивные, брекчиевые, брекчиевидные, вкрапленные, прожилково-вкрапленные и полосчатые. Прожилково-жилвные образования на 80–99 % сложены кварцем. Основные рудные минералы — самородное золото, электрум, пирит, арсенипирит, второстепенные — халькопирит, молибденит, халькозин, галенит, сфалерит, ковеллин. Золото-серебряное отношение меняется в рудах от 1:1 до 1:10. Размеры золотин от 0,01 до 0,62 мм, средняя проба его — 835.

Заключение

Из месторождений золота ДФО в последние годы добывается более половины золота России. Наблюдается переход от эксплуатации порядком истощенных россыпей к рудным месторождениям. На рудных месторождениях в первую очередь обрабатывались богатые и легкообогащаемые руды, вследствие чего их доля значительно сократилась. Для извлечения золота из упорных и труднообогащаемых руд необходимо внедрение современных новых биогидрометаллургических и автоклавных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков, А.В. Перспективы развития добычи золота в Чукотском автономном округе / А.В. Волков, А.Л. Галямов, А.А. Сидоров // Изучение и освоение природных ресурсов Арктики. — М.: Наука, 2017. — С. 83–95.
2. Мельников, А.В. Месторождения рудного золота Приамурской провинции / А.В. Мельников, В.А. Степанов, А.С. Вах и др. — Благовещенск: АмГУ, 2017. — 150 с.
3. Степанов, В.А. Перспективы выявления золоторудных месторождений на Камчатке / В.А. Степанов // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2008. — № 1. — С. 29–34.
4. Степанов, В.А. Металлогения золота Приморья / В.А. Степанов // Вестник АмГУ. — 2012. — Вып. 59. — С. 112–119.
5. Степанов, В.А. Золоторудные формации Приамурской провинции / В.А. Степанов, А.В. Мельников // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2016. — № 4. — С. 42–49.
6. Степанов, В.А. О продуктивности рудно-россыпных узлов Приамурской золотоносной провинции / В.А. Степанов, А.В. Мельников // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 1. — С. 8–16.
7. Щепотьев, Ю.М. Оценка состояния, использования и перспектив развития рудной минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов Камчатского края с целью выделения локальных участков для проведения поисковых работ и лицензирования участков недр. Кн.1. / Ю.М. Щепотьев, А.Ф. Литвинов. — М.: Росгео, 2012. — 236 с.
8. Юшманов, Ю.П. Структура и зональность Au-Cu оруденения месторождения Лазурное в Центральном Сихотэ-Алине / Ю.П. Юшманов // Тихоокеанская геология. — 2002. — Т. 21. — № 2. — С. 85–9.

© Степанов В.А., 2019

Степанов Виталий Алексеевич // vitstepanov@yandex.ru

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 550.47:546.79:504.7:630.164.5

Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Судыко А.Ф.,
Барановская Н.В., Дорохова Л.А. (Национальный
исследовательский Томский политехнический
университет)

РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (ТОРИЙ, УРАН) В ЛИСТЬЯХ ТОПОЛЯ НА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ И ИХ ИНДИКАТОРНАЯ РОЛЬ

Представлены данные о накоплении тория и урана в листьях тополя на территории городов севера Азии. Приведены оценки средних содержаний радиоэлементов и индикаторного отношения тория к урану. Детально рассмотрено влияние природных и техногенных факторов на распределение радионуклидов на примере городов Ново-

сибирска, Иркутска, Краснокаменска и др. Важную роль в накоплении радиоактивных элементов в листьях тополя играет воздушный перенос аэрозолей. **Ключевые слова:** торий, уран, Th/U отношение, листья тополя, урбанизированные территории, биогеохимия, индикаторы.

Yusupov D.V., Rikhvanov L.P., Sudyko A.F., Baranovskaya N.V., Dorokhova L.A. (National Research Tomsk Polytechnic University)

RADIOACTIVE ELEMENTS (THORIUM, URANIUM) IN THE POPLAR LEAVES ON URBAN AREAS AND THEIR INDICATOR ROLE

The article presents data about accumulation of thorium and uranium in poplar leaves in the cities of North Asia. The mean contents of radioelements and the indicator ratio of thorium to uranium are estimated. The influence of natural and techno-

genic factors of radionuclides accumulation in Novosibirsk, Irkutsk, Krasnokamsk and etc. is considered in detail. Aerosol air transport plays an important role in the accumulation of radioactive elements in poplar leaves. Keywords: thorium, uranium, Th/U ratio, poplar leaves, urban areas, biogeochemistry, indicators.

Введение

Оценка влияния природных и антропогенных факторов окружающей среды на современную экологическую ситуацию в городах, а также поиск адекватных геохимических индикаторов воздействия вредных атмосферных выбросов и выпадений примесей от крупных промышленных источников на урбанизированных территориях является актуальной задачей. Особое внимание обращено на содержание, распределение естественных и техногенных радионуклидов в природных объектах [1–4].

К природным факторам относится неоднородный уровень содержания естественных радиоактивных элементов в горных породах, почвах, природных водах и других природных средах [8]. Основные радиоактивные элементы (торий и уран) присутствуют во всех геологических объектах, в аномальных содержаниях — в специализированных комплексах осадочных, магматических и метаморфических пород, а также в месторождениях различного генезиса [13]. На рассеивание и накопление радиоактивных элементов в значительной степени влияют и метеорологические условия, такие как направление и скорость ветра, количество и характер осадков, а также рельеф местности.

Антропогенные факторы подразделяются на планировочные и агломерационные [5]. Планировочные факторы определяются отраслевой специализацией городов, промышленными технологиями, характером использования ресурсов, топлива и др. Агломерационные факторы оцениваются по соотношению между объемами выбросов и выпадений загрязняющих веществ на территории городов с использованием ряда показателей. При этом учитываются некоторые экологические параметры, например, такие как листовой индекс, обмен газами между листьями деревьев и атмосферой и др. [5].

Диагностика элементного состава листьев древесных растений является одним из наиболее информативных биогеохимических методов поиска урановых месторождений [7] и для отражения промышленной специализации урбанизированных территорий [9]. Листья тополя рассматриваются как природный планшет-накопитель газообразных и твердофазных аэрозолей [14]. Изучение микрокомпонентов загрязнения атмосферного воздуха с помощью листьев тополя позволяет выявлять локальные и региональные источники загрязнения атмосферы, в том числе трансграничный перенос элементов на значительные расстояния [10]. Этот объект исследования весьма удобен для проведения биогеохимической съемки на территории городов. Он позволяет проводить пробоотбор по относительно равномерной сети в различных масштабах съемки.

Цель работы — оценить проявленность природных и техногенных факторов окружающей среды по содер-



Рис. 1. Карта-схема изученных городов (1) и количество проб листьев тополя (2), отобранных на их территории

жанию, распределению и соотношению Th и U в листьях тополя на урбанизированных территориях с различной степенью техногенной нагрузки.

Объект и методы исследования

Исследования проводились в период 2013–2017 гг. в 40 городах, расположенных на территории Казахстана, Сибири и Дальнего Востока России (рис. 1). При этом охвачен ряд территориально-промышленных комплексов: Западно-Сибирский с нефтяной и газовой промышленностью, Восточно-Сибирский с алюминиевой промышленностью, Кузнецкий с угольно-металлургической специализацией, а также ряд промышленных центров с наличием объектов ядерно-топливного цикла (Новосибирск, Северск, Ангарск, Краснокаменск и др.)

Объектом исследования служили листья деревьев рода тополь (*Populus L.*), широко используемых для озеленения селитебных и промышленных зон городов. Среди зеленых насаждений преобладают сорта-клоны и гибриды тополя бальзамического (*P. balsamifera L.*), на которые приходится более 90 % отобранных образцов.

Отбор образцов листьев тополя проводился в августе — сентябре до наступления фазы окрашивания листьев по сети 1×1 км на территории малых и средних городов и 2×2 км на территории крупных городов и агломераций. Отбор образцов в каждом городе занимал не более одного дня. Образцы отбирались в крафт пакетах «Стерит» и высушивались при комнатной температуре. Масса образцов живого материала составляла в среднем 100 г, после высушивания — 50 г. Листья не промывали водой, чтобы сохранить информацию о пылеаэрозольной составляющей пробы. Всего отобрано более 1 тыс. проб листьев тополя.

Подготовка материала проб для элементного анализа включала его озеление при 450 °С в течение 5 часов способом сухой минерализации, согласно требованиям ГОСТ 26929-94. Средняя зольность листьев тополя составила 13 %. Далее из каждой пробы брали навеску золы 100±1 мг и паковали в капсулы из особо чистой алюминиевой фольги.

Определение содержания тория и урана в образцах золы листьев тополя производили инструментальным нейтронно-активационным методом анализа (ИНАА) по аттестованной методике (НСАМ ВИМС № 410-ЯФ) в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в Национальном исследовательском Томском политехническом университете (ТПУ).

ИНАА позволяет проводить исследование материала на содержание урана, тория, редкоземельных и других элементов с чувствительностью на порядок ниже их кларков в любых горных породах без его разрушения, растворения и химического разделения. Помехи от матричных или других элементов исключаются или значительно нивелируются варьированием продолжительностью облучения и охлаждения [12].

Измерение производили на многоканальном анализаторе импульсов «Canberra» полупроводниковым германиевым детектором GX3518. Интенсивность гамма-

линий соответствующих радионуклидов в пробе сравнивали с интенсивностью стандартного образца состава листа березы (ЛБ-1, ГСО 8923-2007) и рассчитывали содержание определяемых элементов. Среднеквадратичная погрешность определения составила не более 30 %. Достоверность результатов анализа обеспечена удовлетворительным внутренним лабораторным контролем в количестве 5 % от общего числа рядовых проб.

Статистическая обработка данных ИНАА проводилась с учетом проверки принадлежности крайних значений к изучаемым выборочным совокупностям с помощью статистического критерия оценки наибольшего значения. В расчете нижних значений вероятных аномалий для одиночных изолированных точек с повышенным содержанием элементов принимался «критерий трех стандартных отклонений».

Электронно-микроскопические исследования поверхности листьев тополя проводили в Международном научно-образовательном центре «Урановая геология» в Инженерной школе природных ресурсов ТПУ на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N с энергодисперсионным спектрометром Bruker XFlash 4010. Образцы изучали в низком вакууме в режиме обратно-рассеянных электронов. Состав отдельных минеральных фаз диагностировался по особенностям энергодисперсионного спектра.

Результаты и их обсуждение

Статистические параметры содержания тория и урана в золе листьев тополя в совокупной выборке проб, изученных урбанизированных территорий, представлены в табл. 1. Распределение этих двух элементов подчиняется логнормальному закону распределения (рис. 2). Среднее геометрическое содержание тория в золе листьев тополя составило 0,37 г/т при колебаниях 0,02–6,67 г/т; урана — 0,27 г/т при разбросе от 0,03 до 12,2 г/т. Среднее геометрическое содержание Th и U приняты за региональный фон для изученной выборки. Минимально-аномальные значения содержания (с учетом логнормального закона) составили для тория 0,95 г/т, урана — 0,70 г/т. Величина Th/U отношения

Таблица 1
Статистические параметры содержания тория и урана (в г/т) в листьях тополя урбанизированных территорий

Статистические параметры	Th	U
Среднее арифметическое	0,55 ± 0,02	0,48 ± 0,02
Среднее геометрическое / фон	0,37	0,27
Минимально-аномальное	0,95	0,70
Медиана	0,40	0,25
Нижний — верхний квартиль	0,22–0,70	0,09–0,60
Минимум — максимум	0,02–6,67	0,03–12,2
Стандартное отклонение	0,59	0,73
Асимметрия	4,38	6,67
Экссесс	30,8	77,0
Коэффициент вариации	107	153
Количество проб	1045	1045

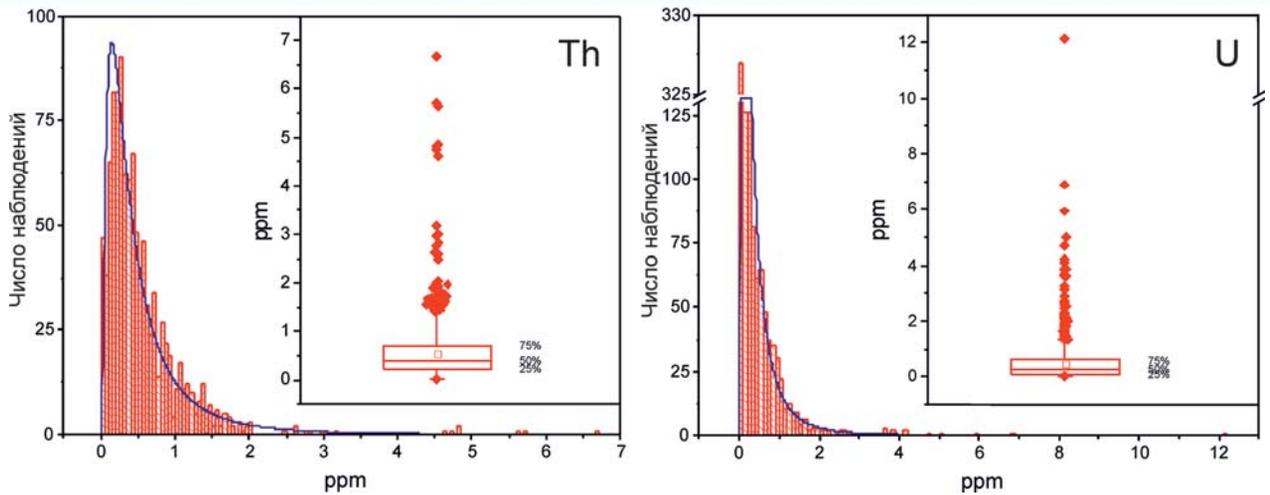


Рис. 2. Распределение содержания тория (слева) и урана (справа) в листьях тополя на урбанизированных территориях. На составной диаграмме показаны: медиана, 25–75 % квантили, доверительные интервалы, аномальные значения

по средним содержаниям в городах колебалась от 0,2 до 6,7 при среднем значении около 1,7.

Анализ характера накопления и распределения тория и урана в листьях тополя на разноплановых урбанизированных территориях Казахстана, юга Сибири и Дальнего Востока позволил провести их радиогеохимическую типизацию (рис. 3).

На обобщенном графике просматриваются геохимические поля с субфоновым, выше фонового и аномальным содержанием радиоактивных элементов. В диапазон субфоновых содержаний тория и урана вошли населенные пункты Тюменской и Кемеровской областей, Республики Алтай, а также города Актобе, Закаменск, Комсомольск-на-Амуре. В интервале содержаний выше фона, но ниже аномальных оказалось большинство изученных городов. В поле превышения минимально-аномального содержания Th вошли Владивосток, Усть-Баргузин и Иркутск. Контрастные биогеохимические аномалии урана выявлены в городах Усть-Каменогорск, Тараз, Экибастуз, Новосибирск и Краснокаменск.

Важным индикаторным показателем состояния территории является торий-урановое отношение. По значениям этого показателя в золе листьев выделяются города с ториевой ($Th/U > 2,5$), смешанной ($Th/U 1-2,5$) и урановой

($Th/U < 1$) природой накопления. Ториевая специализация проявлена в Тобольске, Барнауле и его городе-спутнике Новоалтайске, а также на Дальнем Востоке — в Благовещенске, Комсомольске-на-Амуре и Владивостоке. Урановая специализация, кроме обозначенных выше городов, наблюдается в Красноярске, Междуреченске и Асино (рис. 3).

Рассмотрим более детально территорию городов с наибольшим уровнем как средних, так и максимальных содержаний тория и урана в листьях тополя по

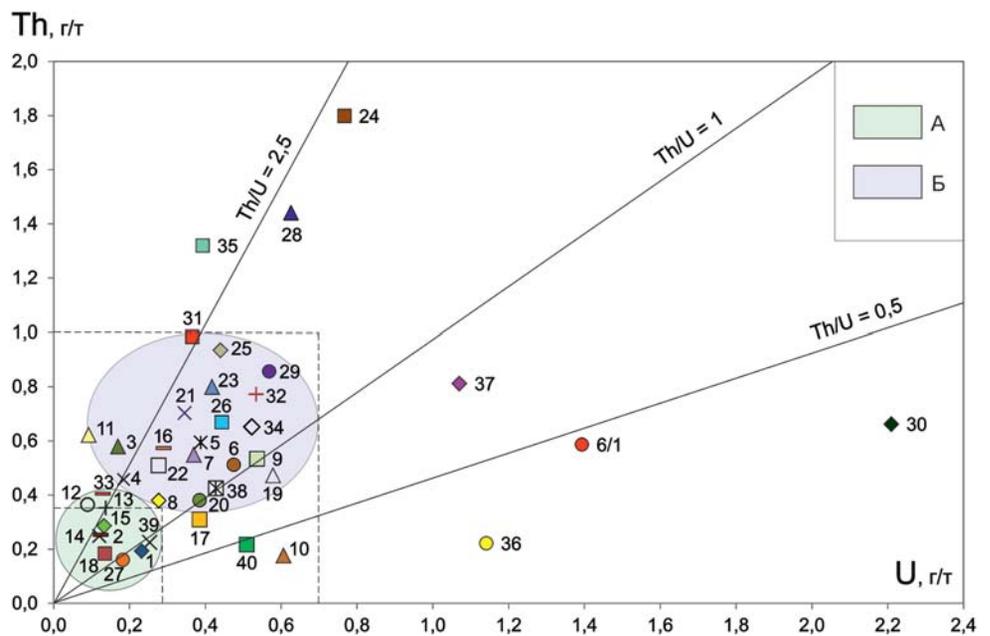


Рис. 3. Радиогеохимическая типизация урбанизированных территорий юга Сибири, Дальнего Востока и Казахстана по данным изучения листьев тополя: 1 — Сургут, 2 — Нижневартовск, 3 — Тобольск, 4 — Тюмень, 5 — Омск, 6 — Новосибирск, 6/1 — НЗХК, 7 — Томск, 8 — Северск, 9 — Колпашево, 10 — Асино, 11 — Барнаул, 12 — Новоалтайск, 13 — Горно-Алтайск, 14 — Республика Алтай, 15 — Кемерово, 16 — Новокузнецк, 17 — Междуреченск, 18 — Кемеровская область, 19 — Красноярск, 20 — Ачинск, 21 — Сорск, 22 — Кызыл, 23 — Ангарск, 24 — Иркутск, 25 — Шелехов, 26 — Иркутская область, 27 — Закаменск, 28 — Усть-Баргузин, 29 — Чита, 30 — Краснокаменск, 31 — Благовещенск, 32 — Хабаровск, 33 — Комсомольск-на-Амуре, 34 — Якутск, 35 — Владивосток, 36 — Экибастуз, 37 — Тараз, 38 — Павлодар, 39 — Актобе, 40 — Усть-Каменогорск. А — поле низкофоновых и субфоновых содержаний, Б — поле надфоновых содержаний радионуклидов

сравнению с региональным фоном, опишем вероятные источники эмиссии радиоактивных элементов в окружающую среду, оценим параметры их биогеохимических ореолов.

Усть-Каменогорск. Среднее содержание тория в золе листьев тополя (101 проба) находится в региональном субфоновом поле значений и составляет 0,22 г/т, среднее содержание урана близко к региональному минимально-аномальному значению и составляет 0,51 г/т. Фоновое содержание Th в выборке — 0,18 г/т, U — 0,38 г/т. Максимальные содержания тория достигают 0,66 г/т, урана — 2,59 г/т. Th/U отношение колеблется от 0,1 до 0,6, в среднем равно 0,5. Значимая корреляция отсутствует ($r = 0,01$).

Максимальные содержания урана в листьях тополя отмечаются в северной промышленной зоне города, вблизи Ульбинского металлургического завода (УМЗ), выпускающего топливо для АЭС (топливные таблетки из слабообогатенной по изотопу ^{235}U двуокиси урана). Th/U отношение здесь снижается до 0,1. На поверхности листьев тополя, произраставшего в непосредственной близости от УМЗ, методом f-радиографии А.Р. Ялалтдиновой и др. [15] установлено обилие так называемых «звезд» и увеличение плотности распределения треков, образовавшихся от осколков вынужденного деления радионуклидов. С помощью электронного микроскопа в составе пылеаэрозоля на данной территории обнаружены частицы размерностью до 5 мкм с содержанием урана около 40 масс. %.

Тараз. Среднее содержание тория в выборке (44 пробы) составляет $0,81 \pm 0,06$ г/т; урана — $1,07 \pm 0,14$ г/т; локальный фон — 0,7 и 0,8 г/т соответственно. Минимально-аномальное содержание Th находится на уровне 1,4 г/т, U — 1,9 г/т. Максимальное содержание Th достигает 1,5 г/т, U — 4,7 г/т. Значение коэффициента парной корреляции не значимо ($r = 0,28$), оно ниже критического значения (0,30). Торий-урановое отношение меньше 1, что указывает на урановую специализацию территории. Аномальные содержания урана в золе листьев тополя приурочены к району Джамбульского суперфосфатного завода, где ведется интенсивная переработка фосфоритовых руд, содержащих высокие концентрации ($n \times 10$ г/т) урана.

Экибастуз. Среднее содержание тория в выборке (42 пробы) составляет $0,22 \pm 0,02$ г/т; урана — $1,14 \pm 0,14$ г/т; местный фон — 0,2 и 0,8 г/т соответственно. Минимально-аномальное содержание Th — 0,3 г/т, U — 1,3 г/т. Максимальное содержание Th — 0,7 г/т, U — 3,9 г/т. Th/U отношение колеблется в пределах 0,2–1,0. Значимая корреляционная связь между содержанием тория и урана отсутствует ($r = 0,13$). Источниками эмиссии урана в окружающую среду г. Экибастуз, по-видимому, являются выбросы крупнейших теплоэлектростанций ГРЭС-1 и ГРЭС-2, вырабатывающие электроэнергию из углей Экибастузского и Майкубенского бассейнов. Первая станция потребляет угля свыше 9 млн т, вторая — около 4 млн т в год.

Среднее содержание урана в углях Экибастузского каменноугольного бассейна составляет $1,1 \pm 0,1$ г/т, в

золе — 3,1 г/т. Среднее содержание урана в углях Майкубенского угольного бассейна значительно выше и составляет $5,0 \pm 2,0$ г/т, в золе — 19,7 г/т. Торий-урановое отношение в последних — 0,7. Содержание урана в майкубенских углях, сжигаемых на ГРЭС-1, превышает кларковый уровень для углей в 2,1 раза [1]. Сжигание углей с вышекларковыми содержаниями урана может представлять реальную опасность для здоровья людей.

Новосибирск. Среднее содержание Th и U в золе листьев тополя во всей выборке (31 проба) составляет $0,50 \pm 0,07$ г/т ($\text{Th}/\text{U}=1$), максимальное — 0,9 и 2,7 г/т соответственно. Коэффициент парной корреляции ($r = 0,21$) ниже критического значения (0,35), он свидетельствует об отсутствии значимой связи между содержанием элементов.

Область повышенных содержаний тория простирается широкой полосой, пересекающей весь город в субмеридиональном направлении и достигающей наибольшего контраста в его северной части (рис. 4 А). Ореол тория, скорее всего, является проявлением фактора «петрофонда».

Как известно, Новосибирск частично расположен на гранитах Кольванского комплекса, выделяющегося аномальной радиоактивностью, вышекларковыми концентрациями естественных радионуклидов и широким развитием трещинных радоновых вод [11]. В окрестностях действуют несколько карьеров, добывающих щебень. Но этот природный фактор искажается, особенно по урану, в результате деятельности предприятия ядерно-топливного цикла — Новосибирского завода химконцентратов (НЗХК) Топливной компании «ТВЭЛ». Основной профиль НЗХК — производство тепловыделяющих элементов с ураном (^{235}U). Область максимальных концентраций урана локализована именно в северо-восточной части города (рис. 4 Б) в зоне влияния НЗХК, и с высокой долей вероятности обусловлено поступлением урана с этого промышленного объекта.

Влияние рядом расположенной ТЭЦ на компоненты природной среды исключается, т.к. выявленный нами ореол повышенных концентраций урана пространственно совпадает с таковым, установленным по изотопным отношениям $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$. По результатам снеговых съемок С.А. Артамоновой [2] наблюдается протяженный на 70 км в северо-восточном направлении (по розе ветров) ореол с пониженным отношением $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$; доказано, что выбросы НЗХК поставляют в окружающую среду уран как в рассеянном виде, так и в виде микрочастиц оксидов U размером до 10 мкм.

Иркутск. Среднее содержание Th в золе листьев тополя (29 проб) составляет $1,80 \pm 0,27$ г/т; U — $0,77 \pm 0,10$ г/т. Максимальные содержания радионуклидов образуют конформные ореолы вдоль левого берега р. Ангара и ее притока — р. Иркут (рис. 5). Содержание тория в листьях тополя на территории г. Иркутск тесно коррелирует с ураном ($r = 0,74$), а также согласуется по локализации с высокими содержаниями

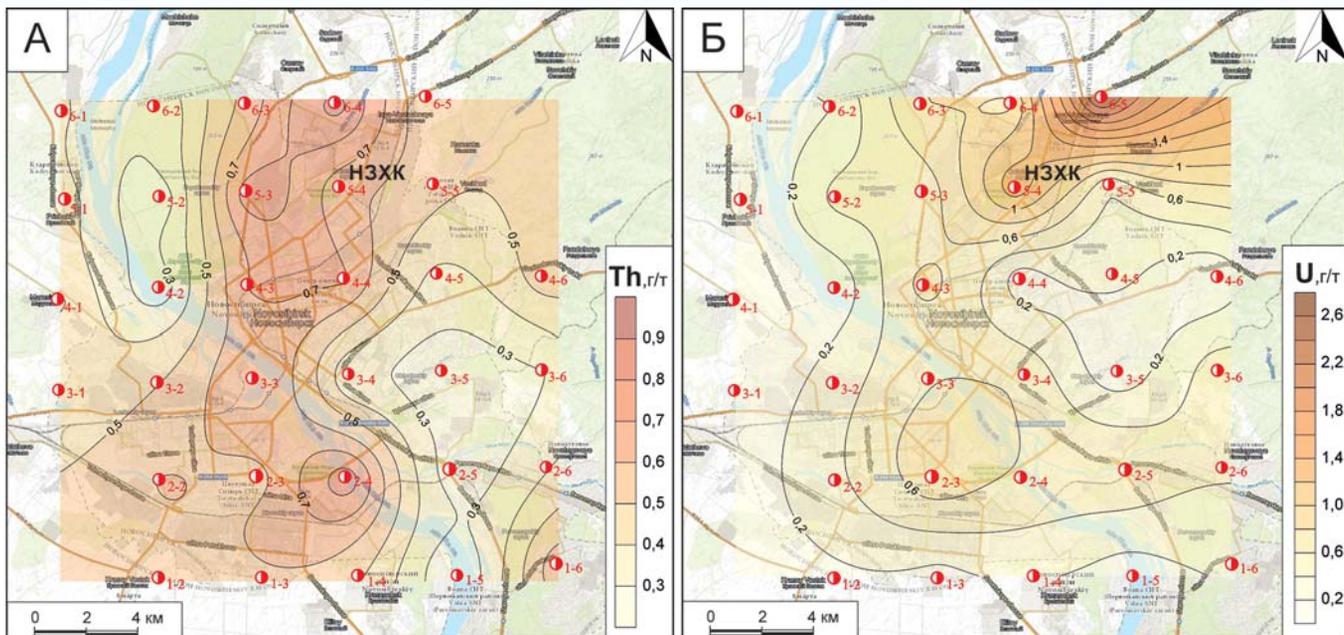


Рис. 4. Биогеохимические ореолы тория (А) и урана (Б) на территории Новосибирска по данным опробования листьев тополя

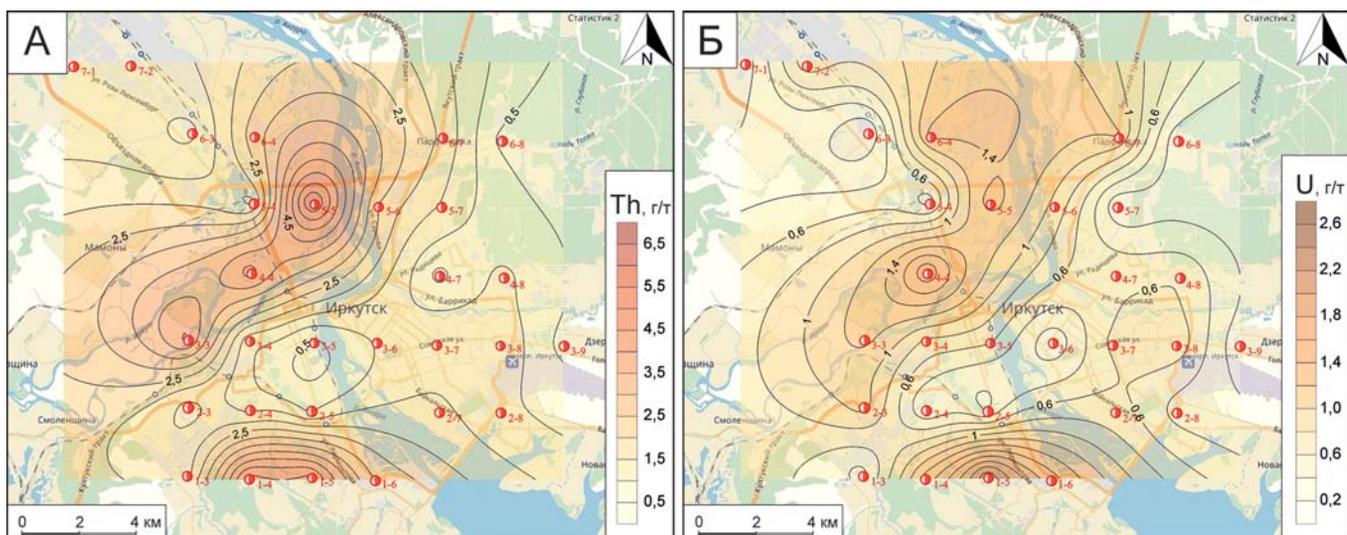


Рис. 5. Ореолы рассеяния тория (А) и урана (Б) на территории Иркутска по данным опробования листьев тополя

тория и урана в аллювиальных почвах, развитых на левобережье р. Ангара [6], что свидетельствует о преимущественно природном генезисе этих аномалий.

Краснокаменск. Район исследования характеризуется максимальным (12,2 г/т) и наибольшим средним ($2,21 \pm 0,47$ г/т) содержанием урана в золе листьев тополя среди всех изученных городов, что превышает региональный фон в 45 и 8 раз соответственно. Th/U отношение составляет 0,3. Значимой корреляционной связи между содержанием Th и U не выявлено ($r = 0,07$). Структура аномального поля урана показана на рис. 6.

В соответствии с функциональным назначением этой территории и специализацией источников эмиссии урана выделяются две основные зоны: селитебная и промышленная. Селитебная зона охватывает urba-

низированную часть Краснокаменска и прилегающие поселки. Промышленная зона представлена крупным горнопромышленным комплексом Приаргунского производственного горно-химического объединения (ППГХО), разрабатывающего с 1968 г.

Таблица 2
Элементный состав микрофазы оксида урана на поверхности листа тополя по данным энергодисперсионного рентгеноспектрального анализа

	O	Al	Si	P	Ca	U
Вес. масс. %	19,02	1,56	4,03	0,58	2,73	72,07
Ошибка масс. % (1 Sigma)	2,54	0,11	0,18	0,06	0,12	1,70

Примечание: курсивом выделены содержания элементов матрицы поверхности листа.

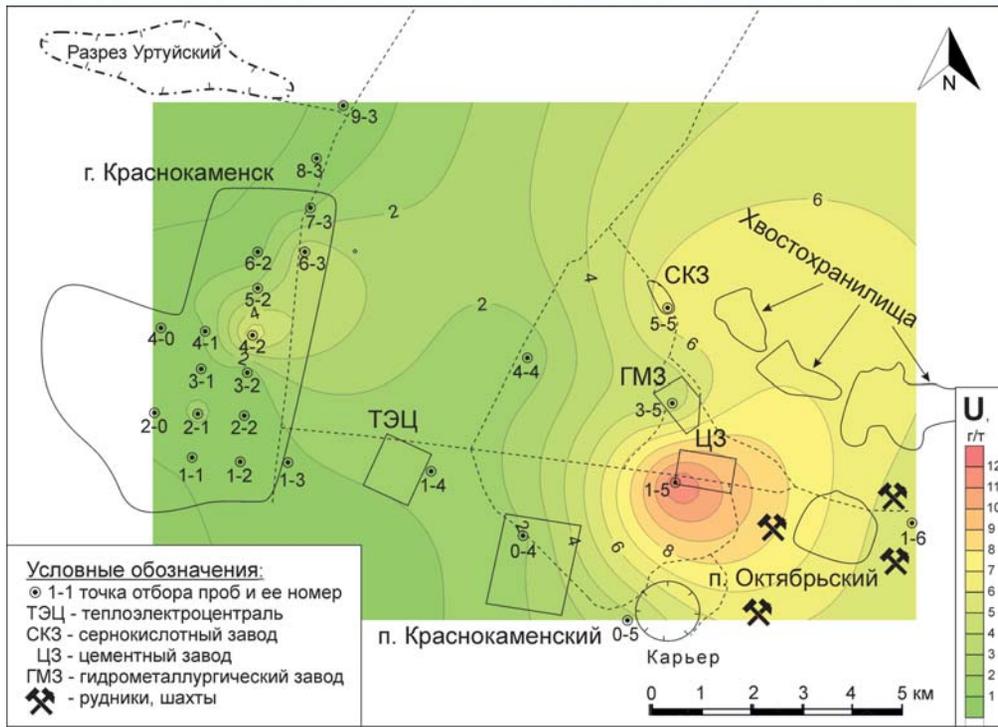


Рис. 6. Ореол рассеяния урана в зоне влияния горно-промышленного комплекса Стрельцовского рудного узла по данным опробования листьев тополя бальзамического

урановые месторождения Стрельцовского рудного узла.

Стрельцовский рудный узел, вмещающий около двух десятков месторождений, находится в пределах Аргунского срединного массива, отличается уникальными запасами урана и высоким качеством руд [13]. Горнопромышленный комплекс включает в себя ряд объектов основного и вспомогательного производства: рудники, гидрометаллургический, сернокислый и цементный заводы, хвостохранилища, площадки кучного выщелачивания, угольный разрез «Уртуйский» и др., оказывающие определенное техногенное воздействие на компоненты окружающей среды.

За период эксплуатации месторождений содержание урана в почвах рудного поля увеличилось в 6 раз, с 2–8 до 12–48 г/т [4]. Методом f-радиографии И.Г. Берзиной и др. [3] в листьях тополя на исследуемой территории зафиксированы два типа поступления и распределения урана: 1-й тип соответствует корневому пути поступления, 2-й — осевшим из приземного слоя атмосферы на поверхность листьев урансодержащим включениям. На расстоянии 20 км от месторождения проявлен лишь 2-й тип — микрочастицы урановой пыли на поверхности листьев, перенесенные ветром (рис. 7). Нашими исследованиями установлено, что на поверхности листьев тополя, отобранных в промышленной зоне горнопромышленного комплекса, выявляются микрофазы оксидов

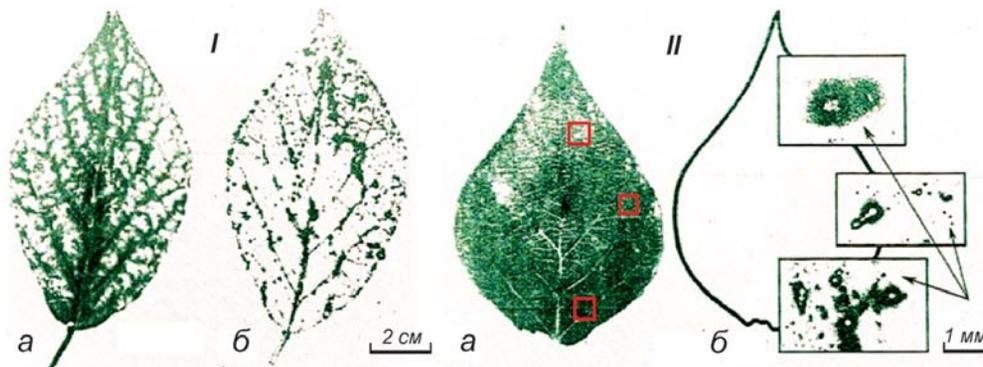


Рис. 7. Обнаружение радиоактивного загрязнения окружающей среды методом f-радиографии листьев тополя (по И.Г. Берзиной и др., 1993): I — распределение урана в листе тополя вблизи отвалов уранового месторождения; II — распределение урана в листе тополя, отобранного в 20 км от уранового месторождения: а — лист тополя, б — детектор

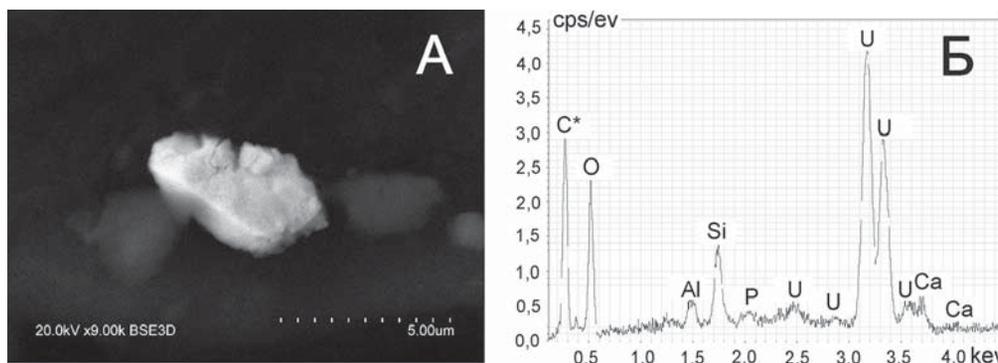


Рис. 8. Микрочастица оксида урана на поверхности листа тополя (А) и ее энерго-дисперсионный спектр (Б): Al, Si, P, Ca — матричные элементы

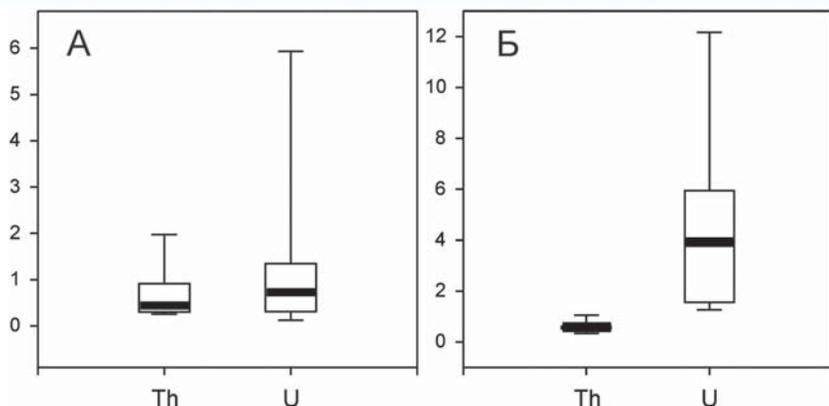


Рис. 9. Распределение содержания Th и U (в г/т) в золе листьев тополя в районе Краснокаменска: А — селитебная зона, Б — промышленная зона (медиана, минимум, максимум, 25–75 % квартили)

U размером до 5 мкм (рис. 8). В табл. 2 приведен состав одной из них.

Следует отметить, что листья тополя, отобранные в селитебной зоне Краснокаменска, характеризуются меньшими значениями распределения урана (рис. 9), что свидетельствует о довольно удачном выборе места для заложения города, однако в его черте отмечаются единичные точки с повышенным содержанием радионуклидов.

Следовательно, в районе Краснокаменска листья тополя отражают уникальный природный фактор геологической среды, который кратно усилен техногенным фактором, связанным с деятельностью крупнейшего уранодобывающего предприятия в России.

Заключение

Региональный фон в золе листьев тополя в городах севера Азии составляет: Th — 0,37 г/т, U — 0,27 г/т. Торий-урановое отношение является важным индикаторным показателем, позволяющим выявить ториевую, смешанную, либо урановую геохимические специализации территорий. Значение коэффициента парной корреляции (Th-U) помогает установить естественную или техногенную природу источников их аномалий. Аномальные концентрации урана в листьях тополя наблюдаются в городах: Краснокаменск (в промышленной зоне ППГХО), Новосибирск (в зоне влияния НЗХК), Экибастуз (в зоне влияния ГРЭС-1), Тараз (в зоне влияния суперфосфатного завода), Усть-Каменогорск (в зоне влияния УМЗ); тория — в Иркутске, Владивостоке, пос. Усть-Баргузин. Эмиссия и выпадение радионуклидов в составе тонкодисперсных твердых фаз, фиксируемых листьями тополя, может представлять реальную опасность для здоровья населения. Анализ радиогеохимических показателей в листьях тополя позволяет оценить радиоэкологическую ситуацию в городах, выявить природные и техногенные составляющие этого фактора и дает возможность скорректировать санитарно-гигиенические мероприятия.

ЛИТЕРАТУРА

- Арбузов, С.И. Радиоактивные элементы в каустобиолитах северной Азии / С.И. Арбузов, В.С. Машенькин // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. V междунар. конф. — Томск: STT, 2016. — С. 67–74.
- Артамонова, С.Ю. Уран и торий в техногенных аэрозолях в районе г. Новосибирск / С.Ю. Артамонова // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. V междунар. конф. — Томск: STT, 2016. — С. 74–79.
- Берзина, И.Г. Выявление радиоактивного загрязнения окружающей среды методом радиографии / И.Г. Берзина, Г.П. Герцен, С.В. Столяров, В.В. Токаревский // Геохимия. — 1993. — № 3. — С. 449–456.
- Величин, В.И. Ландшафтно-геохимические исследования при оценке радиоэкологического состояния окружающей среды в зоне влияния уранодобывающего и перерабатывающего комплекса (на примере Стрельцовского Мо-U рудного поля / В.И. Величин, И.И. Чуднявцева // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. — 2009. — № 2. — С. 99–114.
- Геохимия ландшафтов и география почв. 100 лет со дня рождения М.А. Глазковой / Под. ред. Н.С. Касимова, М.И. Герасимовой. — М.: АПР, 2012. — 600 с.
- Китаев, Н.А. Редкие и рудные элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы) / Н.А. Китаев, В.И. Гребенщикова. — Иркутск: ИГУ, 2014. — 123 с.
- Ковалевский, А.Л. Биогеохимия урановых месторождений и методические основы их поиска / А.Л. Ковалевский, О.М. Ковалевская — Новосибирск: Гео, 2010. — 362 с.
- Недра России: в 2 т. Экология геологической среды — Т. 2. / Под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смылова. — СПб. — М.: Изд-во Межрегион. центр по геол. картографии, 2002. — 662 с.
- Рихванов, Л.П. Элементный состав листьев тополя как биогеохимический индикатор промышленной специализации урбисистем / Л.П. Рихванов, Д.В. Юсупов, Н.В. Барановская, А.Р. Ялалдинова // Экология и промышленность России. — 2015. — Т. 19. — № 6. — С. 58–63.
- Робертус, Ю.В. Индикация компонентами природной среды трансграничного переноса загрязняющих веществ на территорию Горного Алтая / Ю.В. Робертус, В.Н. Удачин, Л.П. Рихванов, А.В. Кивацкая, Р.В. Любимов, Д.В. Юсупов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2016. — Т. 327. — № 9. — С. 39–48.
- Росляков, Н.А. Естественные радионуклиды в геологической среде Новосибирской области / Н.А. Росляков, С.М. Жмодик, В.Г. Пахомов // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. IV междунар. конф. — Томск: ТПУ, 2013. — С. 461–464.
- Судыко, А.Ф. Определение урана, тория, скандия и некоторых редкоземельных элементов в двадцати четырех стандартных образцах сравнения инструментальным нейтронно-активационным методом / А.Ф. Судыко // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. V междунар. конф. — Томск: STT, 2016. — С. 620–624.
- Шатков, Г.А. Стрельцовский тип урановых месторождений / Г.А. Шатков // Региональная геология и металлогения. — 2015. — № 63. — С. 85–96.
- Юсупов, Д.В. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий / Д.В. Юсупов, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, А.Р. Ялалдинова // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2016. — Т. 327. — № 6. — С. 25–36.
- Ялалдинова, А.Р. U и Th в природных средах г. Усть-Каменогорск (Республика Казахстан) / А.Р. Ялалдинова, Л.П. Рихванов, Н.В. Барановская, Дж. Ким // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. V междунар. конф. — Томск: STT, 2016. — С. 754–758.

© Коллектив авторов, 2019

Юсупов Дмитрий Валерьевич // yusupovd@mail.ru
 Рихванов Леонид Петрович // richvanov@tpu.ru
 Судыко Александр Федорович // sudykoaf@yandex.ru
 Барановская Наталья Владимировна // natalya.baranovs@mail.ru
 Дорохова Любовь Александровна // Liubov.AD@yandex.ru