

- мониторинг пресно водных экосистем. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2014. – Т. I. – 496 с.
8. Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В., Николкин В. Н. Радиоэкологический мониторинг пресно водных экосистем. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2016. – Т. II. – 480 с.
 9. Трапезников А. В., Трапезникова В. Н., Коржавин А. В., Николкин В. Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. – Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2018. – Т. III. – 304 с.
 10. Тряпицына Г. А., Осипов Д. И., Егорейченков Е. А., и др. Оценка состояния эритропоза у плотвы (*rutilus rutilus*) радиоактивно загрязненной реки Теча 2017 г. // Радиационная биология. Радиоэкология, 2017. – Т. 57. – № 1. – С. 98–107.
 11. Тряпицына Г. А., Пряхин Е. А., Осипов Д. И., и др. Реакция эритропоза на трипаносомную инвазию у рыб, обитающих в радиоактивно загрязненной реке Теча // Радиационная биология. Радиоэкология, 2019. – Т. 59. – № 1. – С. 82–93.
 12. Экология рыб Обь-Иртышского бассейна. – М.: Т-во научных изданий КМК, 2006. – 596 с.
 13. ICRP Publication 108. Environmental protection: the concept and use of reference animals and plants // Ann. ICRP, 2008. – V. 38. – № 4–6. – 251 p.

ЭЛЕМЕНТНЫЙ И МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВЫ ЛИСТЬЕВ ТОПОЛЯ КАК ИНДИКАТОРЫ ВЛИЯНИЯ ГОРНОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Л. А. Дорохова¹, Д. В. Юсупов^{2,3}, Л. М. Павлова¹

¹Институт геологии и природопользования ДВО РАН
Благовещенск, Россия, liubov.ad@yandex.ru, pav@ascnet.ru

²Амурский государственный университет

Благовещенск, Россия, yusupovd@mail.ru

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Томск

ELEMENTAL AND MINERAL COMPOSITION OF POPLAR LEAVES AS INDICATORS OF THE INFLUENCE OF THE MINING INDUSTRY

L. A. Dorokhova¹, D. V. Yusupov^{2,3}, L. M. Pavlova¹

¹Institute of Geology & Nature Management FEB RAS
Blagoveshchensk, Russia, liubov.ad@yandex.ru, pav@ascnet.ru

²Amur State University

Blagoveshchensk, Russia, yusupovd@mail.ru

³Tomsk Polytechnic University

Tomsk, Russia,

The paper presents the biogeochemical monitoring studies using a set of methods, which allowed obtaining data on the distribution of chemical elements in the leaves of poplar (*P. balsamifera* L.) in areas with mining industry. It has been established that the elemental and mineral composition of poplar leaves characterizes the presence of operating enterprises in the territories. Indicator elements and their forms of occurrence on poplar leaves in the zone of influence of the mining industry are: for Krasnokamensk U, the "Vesely" mine – Au, Cu and Ag, Sorsk – Mo.

Введение

Одним из наиболее значимых факторов техногенного преобразования природной среды является горнодобывающая промышленность. Особенностью такого негативного влияния является сочетание и значительное усиление друг друга двух факторов: техногенеза и природных геохимических аномалий.

В карьерах ведется добыча руды, вследствие чего наблюдаются такие проблемы, как вскрытие горизонта подземных вод и формирование депрессионной воронки, загрязнение подземных и поверх-

ностных вод различными элементами, разрушение уступов карьера, увеличение его площади, значительные выбросы пыли в атмосферу за счет развития ветровой эрозии.

Загрязнение горнорудных районов и прилегающих к ним территорий, интенсивность и формы его проявления зависят от многих геолого-геохимических факторов, обусловленных, прежде всего, геологическим строением района месторождения, минеральным и химическим составом руд, способом их извлечения и механическим преобразованием,

наличием геохимических барьеров, условиями естественной и техногенной миграции компонентов руд, а также технологией переработки значительных масс горных пород и их обогащения и т. д. (Шурова, 2006).

Цель работы – установить индикаторные элементы и их минеральные ассоциации, характеризующие влияние горнорудной промышленности на атмосферный воздух.

Материалы и методы

В качестве объекта исследования выбраны листья тополя бальзамического (*Populusbalsamifera L.*). Благодаря анатомическим и морфологическим особенностям строения листьев, их используют в роли природного планшета, аккумулирующего пыль и аэрозоли из приземного атмосферного воздуха (Юсупов и др., 2019).

Пробы листьев тополя отбирали в конце августа-начале сентября по регулярной сети на территории г. Краснокаменска, г. Сорска и на территории рудника «Веселый» (с. Сейка) согласно методическим рекомендациям (Зырин, Малахов, 1981). Листья не промывали, чтобы сохранить пылевую составляющую.

Содержание 28 химических элементов, включая торий и уран, в образцах золы листьев тополя определяли методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) по аттестованной методике (НСАМ ВИМС № 410-ЯФ) в аккредитованной ядерно-геохимической лаборатории на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т в Томском политехническом университете (аналитики А. Ф. Судыко, Л. В. Богутская). Масса навески золы составляла 100 ± 1 мг. Навеску золы заворачивали в алюминиевую фольгу известного состава и облучали.

Изучение элементного состава микрочастиц на поверхности листьев тополя проводили в отделении геологии ТПУ на сканирующем электронном микроскопе «Hitachi S-3400N» с приставкой «Bruker XFlash 5010» для проведения рентгеноспектрального микроанализа. Приставка обеспечивает обнаружение элементов от бора до америция. Использовали низкий вакуум во избежание «зарядки» поверхности изучаемого образца и его разрушения. Применяли детектор обратно-рассеянных электронов (BSE) для изучения фазового состава микрочастиц на поверхности образцов по контрасту. Давление в вакуумной камере варьировалось от 50 до 100 Па.

Результаты и их обсуждение

Уранодобывающая промышленность. На территории г. Краснокаменска расположен крупный горнопромышленный комплекс – Приаргунский производственный горно-химический комбинат. Комбинат с 1968 года ведет эксплуатацию месторождений урана Стрельцовского рудного узла в Забайкальском крае, обеспечивая 96 % всего уранового сырья России. Особенность Стрельцовского рудного узла за-

ключается в значительных запасах урана и высоком качеством руд (Шатков, 2015). По раннее проведенным исследованиям показано, что на протяжении более двух десятилетий эксплуатации месторождений в почвах промышленной зоны содержание урана увеличилось в 6 раз – с 2–8 до 12–48 мг/кг (Величкин, Чуднявцева, 2009). Анализ исследуемого населенного пункта по частоте встречаемости элементов и их минеральных ассоциаций показал, что специфическим элементом является уран, а специфическими минеральными фазами – оксид урана.

Источниками техногенного воздействия, связанными с основным производством, являются объекты: карьеры, отвалы, стволы шахт, гидрометаллургический завод и его хвостохранилище. К источникам, связанным с сопутствующим производством, относятся сернокислотный завод, его хвостохранилище, цементный завод, теплоэлектростанция с золотвалом. В промышленной зоне в золе листьев тополя установлено максимальное содержание урана среди территорий азиатской части России – 12,2 мг/кг (табл. 1), которое превышает региональный средний уровень в 80 раз.

Высокие концентрации урана в золе листьев тополя наблюдаются на территории промышленной зоны. На поверхности листьев тополя в зоне влияния комбината и на 4 км в восточном направлении выявлено значительное количество собственных урановых минералов – оксидов U размером до 5 мкм (рис. 1). Это обусловлено как природным фактором, связанным с геологическим строением, так и техногенным фактором, вызванным открытой и подземной разработками месторождений, а также первичной переработкой урановой руды.

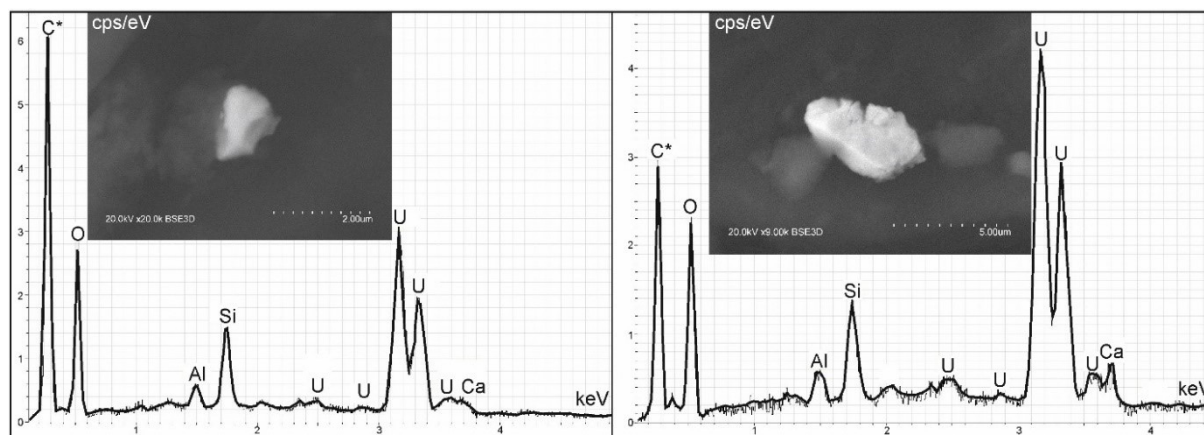
В листьях тополя, отобранных в селитебной зоне Краснокаменска (> 10 км от источников), концентрация урана меньше. Здесь отмечаются единичные точки с повышенным содержанием урана, где обнаружены единичные минеральные частицы размером до 3 мкм с содержанием урана 7 масс %.

Золотодобывающая промышленность. Территория Республики Алтай, которая характеризуется высоким природно-ресурсным потенциалом, относится к регионам, который не был затронут промышленным техногенезом. Со второй половины XX века территория также начала испытывать воздействие горнодобывающей промышленности. Золотодобывающее предприятие рудник «Веселый» создан в 1951 г. и расположен в северо-восточной части Горного Алтая. Основным извлекаемым компонентом является Au. Попутно извлекаются Cu и Ag. Способ отработки месторождения – подземный. Отвальные хвосты складированы в хвостохранилищах (Шурова, 2006).

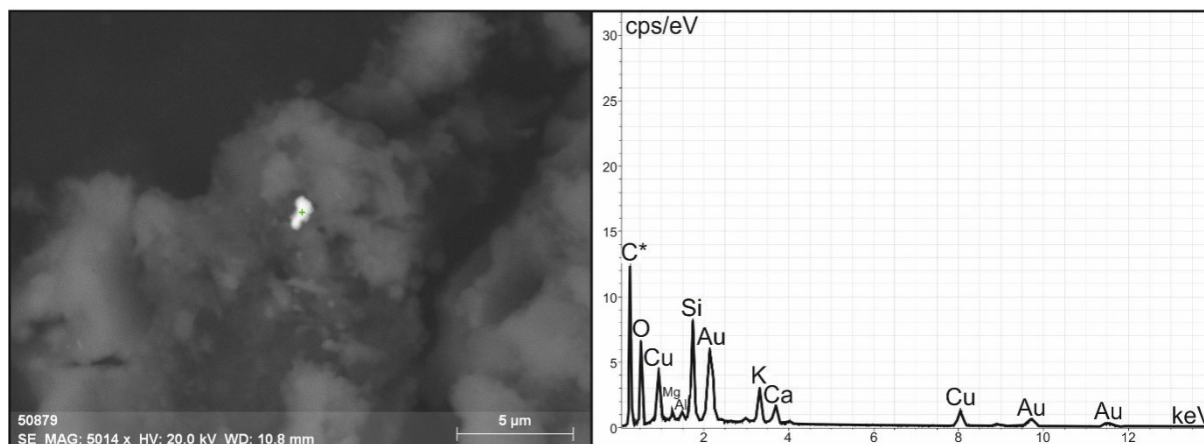
По раннее приведенным исследованиям установлено, что в твердых и жидких отходах золотоизвлекательной фабрики уровень присутствия ряда рудных элементов (Cu, Hg, As и др.) заметно выше

Таблица 1. Содержание тория и урана (мг/кг) в золе листьев тополя (N = 31) на территории промышленной зоны Приаргунского горно-химического комбината

Химический элемент	Статистические параметры				
	Среднее	Максимум	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
U	4,54 ± 1,29	12,16	3,95	3,65	80
Th	0,61 ± 0,07	1,06	0,59	0,20	34

**Рис. 1.** Частицы оксида урана на поверхности листа тополя на территории г. Красно-каменка и их энергодисперсионный спектр: Al, Si, Ca – матричные элементы**Таблица 2.** Содержание золота и серебра (мг/кг) в золе листьев тополя (N = 4) на территории рудника «Веселый»

Химический элемент	Статистические параметры				
	Среднее	Максимум	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
Au	0,31 ± 0,11	0,65	0,20	0,23	72
Ag	2,05 ± 1,32	5,98	0,91	2,64	128

**Рис. 2.** Минеральная частица золота в листе тополя в районе влияния рудника «Веселый»: Mg, Al, Si, K, Ca – матричные элементы

эколого-гигиенических нормативов (Робертус и др., 2007). Высокие концентрации этих же элементов зафиксированы в донных отложениях рек, которые находятся в зоне влияния хвостохранилища рудника. Проведенные нами исследования позволили выявить геохимические особенности данной территории посредством элементного состава листьев тополя. Влияние горно-добывающего производства нашло свое отражение в элементном и минеральном составе листьев тополя. Так, специфическими элементами для данной территории являются, главным образом, Au, Cu и Ag. Проведенная статистическая обработка методами факторного и кластерного анализа показала, что эта же группа элементов имеет высокий коэффициент корреляции Пирсона r и отдельный источник поступления.

Статистические параметры содержаний Au и Ag в золе листьев тополя представлены в табл. 2. Установлены наибольшие средние концентрации Au и Ag (0,31 мкг/кг и 2,05 мкг/кг соответственно) среди всех изученных урбанизированных территорий, превышающие региональный средний уровень в 95 и 14 раз. Частицы, содержащие As, Ag, Hg, Pb, образуются в результате добычных работ, функционирования обогатительной фабрики с образованием хвостов переработки руд.

С помощью электронной микроскопии обнаружены различные формы нахождения золота – с примесью меди (рис. 2) и серебра размером ~ 0,7–2 мкм в диаметре.

Горно-обогатительная промышленность. На территории г. Сорска находится горно-обогатительный комбинат (СГОК) – одно из крупнейших предприятий России по добыче и переработке медно-молибденовых руд, конечной продукцией которого является молибденовый концентрат. Разведанные запасы Сорского месторождения составляют около 58,1 млн. тонн молибденовой руды. Разработка месторождения ведется открытым способом. Санитарно-защитная зона вокруг предприятия составляет 500 м. Фактическое расстояние от объекта до многоэтажной жилой застройки составляет около 400 м, до малоэтажной застройки – 30–50 м.

За многолетний период открытой разработки Сорского месторождения на площадях, прилегающих к карьере, сформированы многоярусные отвалы вскрышных пород с крутыми откосами вскрышных пород, занимающие площадь порядка 8 км². Они сложены интрузивными скальными породами: гранитами, сиенитами, диоритами, диоритовыми и андезитовыми порфиритами.

Химическое выветривание пород в отвалах происходит под влиянием атмосферных осадков, среднегодовое количество которых в пределах территории составляет около 380 мм в год, причем 80–90 % их выпадает в виде дождей.

Проведенные исследования твердого осадка снега показали экстремально высокие значения коэффициентов концентрации для Mo, Cu, Ag, Cd, содержание которых превышает фоновые значения в

Таблица 3. Содержание тория и урана (мг/кг) в золе листьев тополя (N = 16) на территории Сорского горно-обогатительного комбината

Химический элемент	Статистические параметры				
	Среднее	Максимум	Медиана	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
U	0,34 ± 0,06	1,22	0,29	0,26	76
Th	0,70 ± 0,09	1,56	0,58	0,34	49

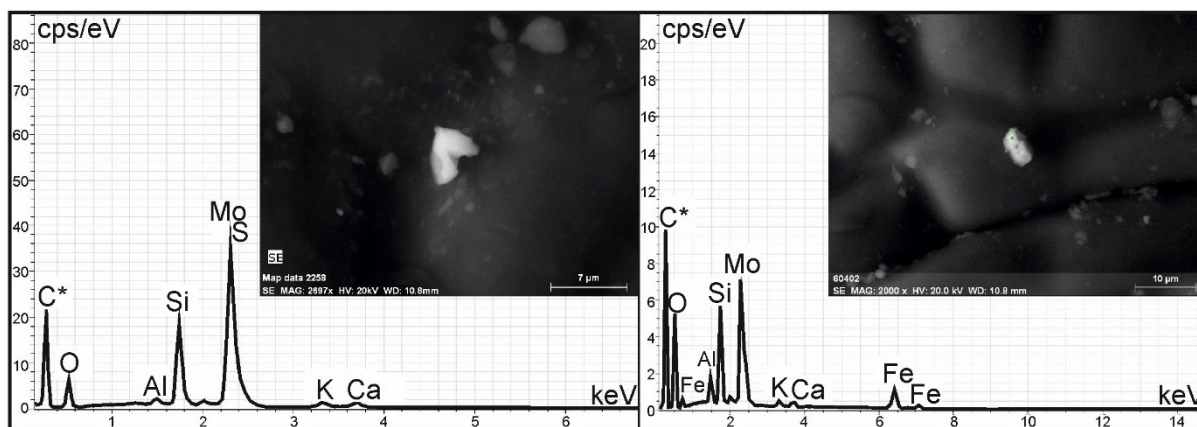


Рис. 3. Минеральные частицы молибдена на поверхности листа тополя в зоне влияния Сорского горно-обогатительного комбината: Al, Si, K, Ca – матричные элементы

20–500 раз. Эти элементы являются главными поллютантами на территории и за пределами комбината (Белошейкина, 2017).

Деятельность горно-обогатительного комплекса также отражается на минеральном составе поверхности листьев тополя. Методом СЭМ на поверхности листьев зафиксировали содержащие металлы частицы, преимущественного техногенного происхождения. Наиболее часто встречаются различной формы Мо-содержащие частицы, размерами до 18 мкм, с примесью железа в составе до 10 масс. % (рис. 3).

Статистические параметры содержания радиоактивных элементов в золе листьев тополя представлены в табл. 3. По рассчитанным коэффициентам концентрации геохимический ряд возглавляют U (2,34) и Th (1,88). Повышенные концентрации радиоактивных элементов по сравнению со средним региональным уровнем, вероятно, связаны с фактором «петрофонда» – акцессорной минерализацией вмещающих лейкократовых гранитов, гранит-порфиоров, сиенит-порфиоров.

Заключение

Открытая добыча полезных ископаемых изменяет вещественный состав всех компонентов окружающей среды. Степень негативного влияния горно-

добывающей промышленности на природную среду определяется составом перерабатываемых полезных ископаемых, применяемыми технологиями, а также количеством выбросов, сбросов, объемами размещаемых отходов и их месторасположением. Кроме того, негативное воздействие на атмосферный воздух оказывает фактор рассеяния минеральной пыли.

С помощью биогеохимических исследований показано, что индикаторными элементами и их минеральными формами нахождения на листьях тополя в зоне влияния горнодобывающей промышленности на территории г. Краснокаменска являются – U, рудника «Веселый» – Au, Cu и Ag, г. Сорска – Mo, в меньшей степени радиоактивные элементы. Таким образом, элементный и минеральный составы листьев тополя отражают специфический характер воздействия горнодобывающих предприятий на компоненты природной среды, в том числе на приземный атмосферный воздух.

Авторы выражают благодарность Ю. В. Робертусу (канд. геол.-минерал. наук) за предоставленные образцы листьев тополя с территории рудника «Веселый»; аналитикам А. Ф. Судыко, Л. В. Богутской за проведение ИНАА.

Литература

1. Белошейкина А. В. Оценка загрязнения территории Сорского горно-обогатительного комбината (Республика Хакасия) по данным исследования снежного покрова / А. В. Белошейкина // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного научного симпозиума студентов и молодых ученых имени академика М. А. Усова, Томск, 3–7 апреля 2017. – Томск: Изд-во ТПУ, 2017. – Т. 1. – С. 701–702.
2. Величкин В. И., Чуднявцева И. И. Ландшафтно-геохимические исследования при оценке радиологического состояния окружающей среды в зоне влияния уранодобывающего и перерабатывающего комплекса (на примере Стрельцовского Мо–U рудного поля) / В. И. Величкин, И. И. Чуднявцева // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология, 2009. – № 2. – С. 99–114.
3. Зырин Н. Г., Малахов С. Г. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами / Н. Г. Зырин, С. Г. Малахов. – Москва: Московское отделение гидрометеоздата, 1981. – 110 с.
4. Робертус, Ю.В., Любимов, Р.В., Сакладов, А.С. О влиянии производственных отходов ОАО «Рудник Веселый» на состояние окружающей среды / Ю. В. Робертус, Р. В. Любимов, А. С. Сакладов // Бюлл. «Природные ресурсы Горного Алтая», 2007. – № 1. – С. 79–82.
5. Шатков Г. А. Стрельцовский тип урановых месторождений / Г. А. Шатков // Региональная геология и металлогения, 2015. – № 63. – С. 85–96.
6. Шурова М. В. Эколого – геохимическая оценка состояния природной среды в районе рудника «Веселый» (Республика Алтай): автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук: 25.00.36 / Майя Владимировна Шурова. – Томск, 2006 – 13 с.
7. Юсупов Д. В., Рихванов Л. П., Судыко А. Ф., Барановская Н. В., Дорохова Л. А. Радиоактивные элементы (торий, уран) в листьях тополя на урбанизированных территориях и их индикаторная роль / Д. В. Юсупов, Л. П. Рихванов, А. Ф. Судыко, Н. В. Барановская, Л. А. Дорохова // Разведка и охрана недр, 2019. – № 2. – С. 61–68.