Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.42

DOI: 10.19110/geov.2020.6.4

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПРОБАХ СНЕГА И ГРУНТОВЫХ ВОДАХ В ОКРЕСТНОСТЯХ СЕВЕРОДВИНСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

Е. Н. Зыкова, Е. Ю. Яковлев, С. Б. Зыков, А. А. Очеретенко, П. И. Лапиков

ФИЦ комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаврова РАН, Архангельск
abs2417@yandex.ru

Данная работа посвящена актуальной проблеме загрязнения тяжелыми металлами снега и грунтовых вод. В качестве объекта были взяты территории, прилегающие к Северодвинскому промышленному району. Предметом исследования выступили пробы снега, отобранные на всю глубину профиля, и пробы грунтовых вод, отобранные из колодцев. Для определения содержания металлов использовался метод масс-спектрометрии. Радиоактивность образцов изучалась методами радиометрии и спектрометрии. Минерализация, проводимость, кислотность и окислительно-восстановительный потенциал измерялся кондуктометром и pH-метром согласно методикам. В результате обнаружено, что концентрации тяжелых металлов во всех пробах снега не превышают предельно допустимых значений. В грунтовых водах выявлены высокие концентрации марганца, превышающие норму в 2–4 раза. Общая альфа- и бета-активность в образцах снега слегка превышает допустимые концентрации. Активность изотопов урана в пробах грунтовых вод из большинства колодцев превышает нормы для питьевых вод. Наблюдается прямая зависимость содержания большинства тяжелых металлов в снеге и воде. Суммарные значения активности $^{234}\text{U} + ^{238}\text{U}$ колеблются в пределах 0.24–0.49 Бк/л. Физико-химические показатели коррелируют с высокими содержаниями тяжелых металлов.

Ключевые слова: экология, тяжелые металлы, промышленный район, альфа-спектрометрия, радиохимия.

HEAVY METALS IN SAMPLES OF SNOW AND GROUND WATER IN THE NEIGHBORHOOD OF THE SEVERODVINSK INDUSTRIAL AREA

E. N. Zyкова, E. U. Yakovlev, S. B. Zykov, A. A. Ocheretenko, P. I. Lapikov

Federal Centre for Integrated Arctic Research named after N. P. Laverov RAS, Arkhangelsk

This work is devoted to the urgent problem of heavy metal pollution of snow and groundwater. The territory adjacent to the Severodvinsk industrial region was taken as an object. The subject of the study was snow samples taken to the entire depth of the profile and groundwater samples taken from wells. To determine the metal content, the method of mass spectrometry was used. The radioactivity of the samples was studied by radiometry and spectrometry. Mineralization, conductivity, acidity and redox potential were measured by a conductometer and a pH meter, according to their methods. As a result, it was found that the concentrations of heavy metals, as in all snow samples, do not exceed the maximum permissible values. High concentrations of manganese were detected in groundwater, exceeding the norm by 2–4 times. The total alpha and beta activity in snow samples slightly exceeds the permissible concentration. The activity of uranium isotopes in groundwater samples from most wells exceeds the norms for drinking water. A direct dependence of the content of most heavy metals in snow and water is observed. The total activity values of $^{234}\text{U} + ^{238}\text{U}$ range from 0.24–0.49 Bq/L. Physico-chemical indicators correlate with high levels of heavy metals.

Keywords: ecology, heavy metals, industrial area, alpha spectrometry, radiochemistry.

Введение

Загрязнение окружающей среды является сегодня важной проблемой, стоящей перед человечеством и вызванной чрезмерным увеличением опасных загрязнителей [5]. Экологические проблемы имеют тенденцию к ускоряющемуся росту во всем мире, в том числе и в Архангельской области. Большое количество токсичных выбросов ежегодно рассеивается над большими территориями. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами и радионуклидами ока-

зывает влияние на каждого из нас через воздух, воду, почву и растительность. Ускоряющееся экономическое развитие и быстро растущее население в мире все более увеличивают нагрузку на окружающую среду. Промышленное загрязнение почв и природных вод, вырубка лесов, быстрая индустриализация, урбанизация и деградация земель — все это усугубляет проблемы [15].

Промышленное загрязнение, включая добычу и переработку полезных ископаемых, является основной

Для цитирования: Зыкова Е. Н., Яковлев Е. Ю., Зыков С. Б., Очеретенко А. А., Лапиков П. И. Тяжелые металлы в пробах снега и грунтовых водах в окрестностях Северодвинского промышленного района // Вестник геонаук. 2020. 6(306). С. 20–26. DOI: 10.19110/geov.2020.6.4.

For citation: Zyкова E. N., Yakovlev E. U., Zykov S. B., Ocheretenko A. A., Lapikov P. I. Heavy metals in samples of snow and ground water in the neighborhood of the Severodvinsk industrial area. Vestnik of Geosciences, 2020, 6(306), pp. 20–26. DOI: 10.19110/geov.2020.6.4.

причиной ухудшения состояния окружающей среды [3, 13, 18]. Многочисленные исследования уже показали, что районы, находящиеся в непосредственной близости от промышленной деятельности, отличаются заметным загрязнением воздуха, снега, почвы и природной воды [8]. Следовательно, такая деятельность может повлиять через атмосферные осадки на воду, почву и растительность, которую мы используем, и в конечном счете может привести к заболеваниям у жителей пострадавшей территории [12].

Среди ряда загрязняющих веществ, которые могут быть обнаружены в снеге и грунтовой воде, потенциально токсичные тяжелые металлы и радионуклиды представляют особый интерес по ряду причин [23]. Они имеют тенденцию накапливаться в почве и длительное время взаимодействовать с грунтовой водой и растительностью [16].

Наиболее значительными источниками поступления тяжелых металлов в окружающую среду является металлургия, машиностроение, транспорт, добыча полезных ископаемых, сельское хозяйство и химическая промышленность [7, 11, 25]. Химическая, металлургическая промышленность и энергетика являются наиболее важными источниками поступления тяжелых металлов в снег, воду и почву [19, 21]. Загрязнение тяжелыми металлами стало одной из важных экологических проблем во всем мире [9, 28]. Агентство по охране окружающей среды США в 2000 году назвало приоритетными загрязнителями такие элементы, как As, Cd, Pb, Cr, Cu, Hg, Ni, и некоторые радионуклиды (^{137}Cs , U, Th), которые являются наиболее распространенными, обнаруженными в загрязненных районах [4]. С 1850 по 1990 годы производство тяжелых металлов увеличилось почти в 10 раз [17]. Основные угрозы здоровью человека от тяжелых металлов связаны с воздействием свинца, кадмия, ртути и мышьяка [10, 24]. Загрязнения металлами особенно трудно удалить из воздуха, воды и почвы, потому что в отличие от органических загрязнителей, которые могут разлагаться до безвредных составляющих, токсичные свинец, ртуть, кадмий, медь и цинк остаются неизменными в результате биохимических реакций. Среди тяжелых металлов свинец и медь являются одними из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды [27].

Выявление концентраций токсичных элементов на прилегающих к промышленным районам территориях необходимо для оценки степени безопасности загрязненных природной воды и снега — источника заболеваний населения [6]. Отеки, опухоли, желудочно-кишечные, мышечные, репродуктивные, неврологические и генетические нарушения, вызванные некоторыми из этих тяжелых металлов, были достоверно определены [26]. Для решения этих проблем и прогноза любых неблагоприятных последствий необходимо регулярно проводить полевые и лабораторные исследования вокруг крупных промышленных районов [1, 14]. Работа также поможет в разработке экологического подхода для правильного использования почв, находящихся в непосредственной близости от Северодвинского промышленного района [20, 29].

Данное исследование направлено на оценку концентрации тяжелых металлов и радионуклидов в снеге, грунтовой воде и выявление риска их проникновения в почву и живые организмы.

Методы и подходы

Объектом исследований являлись территории, непосредственно прилегающие к Северодвинскому промышленному району. Основной задачей было отобрать пробы снега и воды из близлежащих колодцев, которые содержат главным образом грунтовые воды. Существовали и дополнительные задачи, включающие в себя определение общей альфа- и бета-активности всех проб и измерение изотопного состава урана в грунтовых водах. Предыдущие исследования данного района не касались севера и северо-востока Северодвинского промышленного района, поэтому все упомянутые пробы были сделаны именно там. Кроме того, некоторые работы показали, что для детального изучения выбросов наиболее представительны пробы, находящиеся на расстоянии до 2 км от источника загрязнения [22]. Это обстоятельство также было учтено в 2020 году. Отбор проб воды из колодцев и снега производился во второй половине марта 2020 года, когда количество снега на поверхности почвы максимально и на состав грунтовых вод оказывается минимальное влияние извне. Все пробы воды были отобраны из неглубоких колодцев глубиной от 3 до 8 метров. Мощность снежного покрова в точках отбора колебалась от 45 до 55 см. В целом было отобрано 10 проб снега и 5 проб воды на расстоянии от 50 до 2 тыс. метров к северу и северо-востоку от зоны Северодвинского промышленного района (рис. 1).

Для отбора снега использовались пластиковые ведра объемом 11 л с плотно закрывающейся крышкой. Снег отбирался при помощи полипропиленового совка на глубину отмеченного профиля, не доходя до поверхности почвы 5 см. Пробы воды отбирали полиэтиленовым ведром. Все пробы были отобраны, где это возможно, на максимальном расстоянии от ближайшей оживленной дороги. Пробы снега находились в ведрах в помещении лаборатории при температуре от 18 до 23 °C. Методом прямой потенциометрии с помощью приборов Hanna Instruments 9124 и Mettler Toledo Five Go F3 в талой воде измерялась минерализация, проводимость, водородный показатель и окислительно-восстановительный потенциал. Первичные вышеупомянутые физико-химические показатели в пробах воды из колодцев измерялись незамедлительно и непосредственно в точке отбора пробы. Затем для отделения взвешенных нерастворимых частиц и коллоидов пробы фильтровались через стерильный фильтр Minisart PES 0.45 с диаметром пор 45 мкм при помощи шприца, подкислялись особо чистой азотной кислотой и передавались на анализ. Дополнительно подготавливалась контрольная проба, состоящая из очищенной деионизированной воды и HNO_3 категории «осч» для исключения влияния металлов, содержащихся в них, на результаты измерений проб. Пробы анализировались в лаборатории ЦКП НО «Арктика» Северного (Арктического) федерального университета имени М. В. Ломоносова. Погрешность при измерении на приборе Aurora Elite фирмы Bruker Daltonics, Inc. (МС-ИСП) составляла ± 0.005 мг/кг.

Для решения дополнительных задач и определения общей альфа-бета-активности проб использовали радиометр «Абелия» и альфа-спектрометр «Мультирад МКС-01А». Методика измерений на радиометре включала в себя получение и измерение толстослойного образца на подложке.

Рис. 1. Участки отбора проб снега и воды из колодцев вокруг Северодвинского промышленного района

Fig 1. Snow and water sampling sites from wells around Severodvinsk industrial area

Альфа-спектрометрические измерения были сделаны только для проб воды из колодцев, поскольку концентрация изотопов урана в пробах снега очень незначительная (от 2×10^{-9} до 4×10^{-9} г/л) и ниже предела обнаружения прибора. Радиохимическая методика включала в себя введение радиоактивной метки в пробу, осаждение изотопов урана на гидроокислах железа с переводом в 7М раствор азотной кислоты, экстракцию в 30%-растворе трибутилфосфата, ре-экстракцию и электролитическое осаждение на стальной диск [2]. Полученную таким образом подложку измеряли на альфа-спектрометре, а расчет объемной активности делали в программе Progress 5.20 относительно введенного трассера ^{232}U .

Результаты и обсуждение

Проведенный анализ растворимой формы тяжелых металлов в снеге показал, что основное количество высоких значений таких элементов, как Mn, Co, Ni, Cu, As, Mo, Cd, Pb, сосредоточены в точках отбора 4, 5, 6, расположенных в местах непосредственного влияния теплоэлектростанций 1, 2 и предприятий «Севмаш» и «Звездочка». Максимумы значений хрома и цинка отличны по месту от остальных элементов. Содержание хрома колеблется от 5.55 до 7.90 мкг/л с максимумом на севере исследуемого района (проба 10). Высокое значение цинка (17.1 мкг/л) отмечено в точке отбора 1 на востоке района исследований (таблица). Следует, однако, отметить, что в настоящее время в России нет ГОСТа на наличие загрязнения тяжелыми металлами

для проб снега. Все исследуемые пробы рассматривались как образцы воды. Основываясь на направлении преобладающих ветров, можно сказать, что на севере хром выпадает от машиностроительных предприятий (металлургия), тогда как Mn, Co, Ni, Cu, As, Mo, Cd, Pb имеют смешанное происхождение от теплоэлектростанций и промышленных объектов. Цинк, по всей видимости, поступает в снег из другого, пока не определенного источника загрязнений. Все вышеупомянутые значения находятся в рамках предельно допустимых концентраций. Содержания таких элементов 1-го и 2-го класса опасности, как мышьяк, кадмий и свинец, в пробах снега незначительны.

В воде из колодцев 3 и 4 были выявлены повышенные концентрации большинства элементов, хотя они и не превышали допустимых норм, кроме марганца. Данные точки отбора проб находятся ближе всего к источникам загрязнения.

Предельно допустимые концентрации для марганца, имеющего 3 класс опасности, были превышены от 1.5 до 4 раз в четырех из пяти отобранных проб воды и достигали 461 мкг/л. Марганец широко применяется в металлургии для удаления кислорода и серы из стали. Атмосферные выбросы марганца с последующим проникновением в грунтовые воды при длительном употреблении такой воды могут влиять на нарушение функций мозга и метаболизм железа в организме. Если оценить суммарную концентрацию всех элементов в каждом колодце, то максимальные значения относятся к пробе воды 3 и 4 и достигают значений от 577 до

Валовое содержание растворимой формы тяжелых металлов в пробах снега и грунтовых вод вокруг Северодвинского промышленного района, мкг/кг (март 2020 г.)

Gross soluble form of heavy metals in snow and groundwater samples around Severodvinsk industrial region, µg/kg (March 2020)

№ пробы Sample No.	Концентрация элемента, мкг/л / Concentration of element, µg/l											
	Ti	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb	V	As	Mo
снег-1 / snow-1	0.07	5.37	2.35	0.13	1.54	0.89	17.1	0.041	0.37	0.11	0.02	0.71
снег-2 / snow-2	0.08	5.5	1.67	0.1	1.6	0.85	10.4	0.04	0.41	0.19	0.04	0.88
снег-3 / snow-3	0.09	5.54	1.54	0.14	1.63	0.76	13.6	0.01	0.36	0.26	0.09	0.9
снег-4 / snow-4	0.3	6.43	7.18	0.3	2.63	0.93	7.22	0.019	0.31	2.23	0.53	1.68
снег-5 / snow-5	0.43	6.09	7.18	0.31	2.54	1.04	10.9	0.046	0.28	1.57	0.54	1.31
снег-6 / snow-6	0.26	5.92	6.21	0.1	1.6	0.72	8.54	0.01	0.41	0.69	0.38	0.98
снег-7 / snow-7	0.09	5.82	2.5	0.17	1.81	0.89	8.83	0.014	0.38	0.87	0.31	0.93
снег-8 / snow-8	0.21	5.55	2.01	0.11	1.68	0.56	6.08	0.028	0.36	0.55	0.08	0.77
снег-9 / snow-9	0.14	5.68	2.27	0.13	1.63	0.82	10.6	0.037	0.35	0.56	0.05	0.83
снег-10 / snow-10	0.16	7.9	3.97	0.16	2.12	0.7	4.25	0.018	0.37	0.68	0.14	0.97
вода-1 / water-1	4.4	1.15	256	1.45	16.17	2.68	14.4	0.014	<0.01	2.49	0.7	1.12
вода-2 / water-2	1.28	1.33	155	0.76	6.98	1.9	17.6	0.023	0.07	3.15	1.69	2.52
вода-3 / water-3	23.68	13.49	402	0.32	3.72	1.73	114	<0.01	0.08	16.6	0.64	1.04
вода-4 / water-4	18.48	6.1	461	1.28	9.87	39.1	246	0.236	6.46	8.59	3.15	2.37
вода-5 / water-5	1.29	1.11	93	0.5	3.04	1.83	32.4	0.042	0.35	2.08	0.73	4.57
ПДК в воде, мкг/л MAC in water, µg/l	100	50	100	100	20	1000	1000	1	10	100	10	250
Класс опасности Hazard class	3	2	3	2	2	2	3	2	2	3	1	2

802 мкг/л соответственно. Нужно также отметить, что содержание железа в этих колодцах достаточно высокое и составляет от 8.1 г/л (проба 3) до 16.8 г/л (проба 4).

Переходя к анализу зависимости концентрации тяжелых металлов в снеге и грунтовой воде нужно сказать, что в целом наблюдается прямая зависимость содержания большинства тяжелых металлов в снеге и воде, что отмечается и в других исследованиях. Наиболее близкие значения в снеге и воде демонстрируют хром, молибден и кадмий. Это говорит о попадании этих элементов в грунтовые воды преимущественно с осадками. Кобальт, никель, свинец и мышьяк демонстрируют

также заметную корреляцию (рис. 2). Титан, марганец, медь, цинк и ванадий содержатся в промышленных выбросах в значительно меньших количествах, чем в грунтовой воде. Это говорит о накоплении этих элементов в почве, выщелачивании и миграции их сквозь почвенный профиль в природные воды. Среднее содержание растворимой формы хрома в пробах снега превышает его концентрации в воде. Это свидетельствует о повышенном выбросе данного элемента в атмосферу в 2020 году и недостаточном проникновении в почву и грунтовые воды. Традиционным источником загрязнения воздуха хромом вокруг Северодвинского промышлен-

Рис. 2. Соотношение средних содержаний тяжелых металлов в пробах снега и грунтовых вод вокруг Северодвинского промышленного района, мкг/л

Fig 2. The ratio of the average heavy metal content in samples of snow and groundwater around the Severodvinsk industrial region, µg/l

ного района является гальваническое хромирование и металлургия легированных сталей.

Минерализация талой снеговой воды находилась в интервале от 3.47 (проба 1) до 24.06 мг/л (проба 5). Водородный показатель pH изменялся от 5.21 (проба 5) до 6.24 (проба 1) единиц и находился в нейтральной и слабокислой зоне. Проводимость, измеренная методом прямой потенциометрии (кондуктометр Mettler Toledo Five Go F3), варьировала от 6.94 (проба 1) до 48.12 (проба 5) мкСм/см. Данные результаты свидетельствовали о существенном изменении электролитов от пробы к пробе. Окислительно-восстановительный потенциал проб снега был в пределах от 44 (проба 1) до 102 mV (проба 5). Показатели общей альфа-активности в снеге были в диапазоне от 0.25 до 0.53 Бк/л, а бета-активности — от 2.3 до 4.5 Бк/л. Эти показатели незначительно превышают предельно допустимые параметры. Максимальные значения были обнаружены в пробах снега 4 и 5. Активность изотопов урана ($^{234}\text{U} + ^{238}\text{U}$) в пробах грунтовых вод была в пределах от 0.24 до 0.49 Бк/л, что также является несущественным превышением предельно допустимых норм для питьевых вод.

Выводы

Результаты исследований показали, что концентрации металлов во всех пробах снега не превышают предельно допустимых. Анализ проб грунтовых вод из колодцев выявил высокие концентрации в них марганца, превышающие норму в 1.5–4 раза. Такие элементы, как V, Cr, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Pb, измеренные методом масс-спектрометрии, показали повышенные концентрации в пробах воды 3 и 4, которые находились наиболее близко к промышленным объектам, однако эти значения не превышали предельно допустимые уровни. Анализ полученных данных показал, что наблюдается прямая зависимость между содержанием большинства тяжелых металлов в снеге и воде. В образцах снега общая альфа- и бета-активность незначительно превышает допустимые концентрации рядом с объектами Северодвинского промышленного района. В четырех из пяти проб грунтовых вод из колодцев активность изотопов урана незначительно превышает нормы для питьевых вод. Данную воду небезопасно употреблять для питья длительное время. Суммарная активность изотопов урана и общая альфа-бета-активность проб из колодцев показывает незначительное превышение норм. Высокие содержания тяжелых металлов во всех отобранных образцах показывают явную взаимосвязь с физико-химическими показателями вод.

Работа выполнена в рамках программы НИР № АААА-А19-119011890018-3, а также при поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых № МК-1919.2020.5.

Аналитические исследования выполнены на оборудовании ЦКП НО «Арктика» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова).

Литература

1. Зыкова Е. Н., Яковлев Е. Ю., Дружинин С. В. и др. Сравнение нерастворимой и растворимой формы тяжелых металлов в снеге вокруг северодвинского промышленного

района // Успехи современного естествознания. 2020. № 1. С. 26–30.

2. Методика измерений объемной активности урана (^{238}U , ^{234}U , ^{235}U) в пробах природных (пресных и минерализованных), технологических и сточных вод альфа спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой. М.: ФГУП ВИС, 2013. 16 с.

3. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горно-промышленные отходы: минералогические особенности // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43–49. (doi 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49)

4. Adelekan B. A., Abegunde K. D. Heavy metals contamination of soil and groundwater at automobile mechanic villages in Ibadan, Nigeria // International Journal of the Physical Sciences, 2011, 6 (5), p. 1045–1058.

5. Ahmad M. A., Guar R., Gupta, M. Comparative biochemical and RAPD analysis in two varieties of rice (*Oryza sativa*) under arsenic stress by using various biomarkers. // Journal of Hazardous Materials. 2012. pp. 217–218, 141–148.

6. Bahemuka T. E., Mubofu E. B. Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi Rivers in Dares Salaam, Tanzania. // Food Chemistry, 1999, 66, p. 63–66.

7. Feng X., Li P., Qiu G. et al. Human exposure to methylmercury through rice intake in mercury mining areas // Environmental Science and Technology, 2008, 42, p. 326–332.

8. Guo G., Wu F., Xie F., Zhang R. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China // Journal of Environmental Sciences. 2012. 24 (3), 410–418.

9. Guven D. E., Akinci G. Comparison of acid digestion techniques to determine heavy metals in sediment and soil samples // Gazi University Journal of Science, 2011, 24 (1), p. 29–34.

10. Holmes P., James K. A. F., Levy L. S. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? // Science of the Total Environment, 2009, 408, p. 171–182.

11. Jantschi L., Loan Suciu Cosma C., Todica M., Bolboaca S. D. Analysis of Soil Heavy Metal Pollution and Pattern in Central Transylvania // Int. J. Mol. Sci, 2008, 9, p. 434–453.

12. Kabir E., Ray S., Kim K.-H. et al. Current status of trace metal pollution in soils affected by industrial activities // The Scientific World Journal, 2012, Volume 2012, Article ID 916705, 18 pages.

13. Lee C. S., Li X., Shi W. et al. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics // Science of the Total Environment. 2006. 356, p. 45–61.

14. Mathiyazhagan N., Natarajan D. Physicochemical assessment of waste dumps of Magnesite and Bauxite Mine in summer and rainy season // International Journal of Environmental Sciences, 2012, 2 (3), p. 2243–2252.

15. Meagher R. B., Heaton A. C. P. Strategic for the engineered phytoremediation of toxic element pollution: mercury and arsenic // Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology. 2005. 32, p. 502–513.

16. Nazzari Y., Rosen M. A., Al-Rawabdeh A. M. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada // Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185 (2), p. 1847–1858.

17. Nriagu J. O., Jinabhai C. C., Naidoo R., Coutsooudis A. Atmospheric lead pollution in KwaZulu/Natal // Science of the Total Environment, 1996, 191, p. 69–76.

18. Ozhogina E. G., Kotova O. B. New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in com-

plex ore treatment: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2019) (2-s2.0-85059377649) P. 32–40.

19. Pantelica A., Cercasov A., Steinnes E. et al. Investigation by INAA, XRF, ICPMS and PIXE of Air Pollution Levels at Galati (Siderurgical Site). // 4th Nat. Conf. of Applied Physics (NCAP4) 2008, Galati, Romania.

20. Pilecka J., Grinfelde I., Valujeva K. et al. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Jelgava // Rural And Environmental Engineering, Landscape Architecture. 2017. Vol. 1. P.173–179.

21. Schutze G., de Vries W., Romkens P. F. Critical soil concentration of cadmium, lead and mercury in view of health effects on humans and animals // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 2007, 191, p. 91–130.

22. Siudek P., Frankowski M., Siepak J. Trace element distribution in the snow cover from an urban area in central Poland // Environmental Monitoring and Assessment. 2015. Vol. 187. n. 5. P. 225–235.

23. Soriano A., Pallares S., Pardo F. et al. Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area // Journal of Geochemical Exploration, 2012, 113, p. 36–44.

24. Suciu I., Cosma C., Todica M. et al. Analysis of soil heavy metal pollution and pattern in Central Transylvania // International Journal of Molecular Sciences, 2008, 9, p. 434–453.

25. Stihl C., Bancuta A., Popescu I. V. et al. Air pollution studies using PIXE and ICP methods // Journal of Physics: Conference Series, 2006, 41, p. 565.

26. Tsuji L. J. S., Karagatzides J. D. Chronic Lead Exposure, Body Condition, and Testis Mass in Wild Mallard Ducks // Journal Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 2001, 67 (4), p. 489–495.

27. Verma C., Madan S., Hussain A. Heavy metal contamination of groundwater due to fly ash disposal of coal-fired thermal power plant, Parichha, Jhansi. India // Civil & Environmental Engineering, 2016, 3, 1179243.

28. Wu G., Kang H., Zhang X. et al. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities // Journal of Hazardous Materials, 2009, 22.

29. Yakovlev E. Yu., Zykova E. N., Zykov S. B. et al. Heavy metals and radionuclides distribution and environmental risk assessment in soils of the Severodvinsk industrial district, NW Russia // Environmental Earth Sciences (2020) 79, 218.

References

1. Zykova E. N., Yakovlev E. Yu., Druzhinin S. V., Bedrina D. D., Zykova A. S. *Sravnienie nerastvorimoi i rastvorimoi formy ti-azhelykh metallov v snege vokrug severodvinskogo promyshlennogo raiona* (Comparison of the insoluble and soluble forms of heavy metals in the snow around the Severodvinsk industrial region). *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* (Achievements of modern natural science), 2020, No. 1, pp. 26–30.

2. *Metodika izmereniy obyemnoy aktivnosti urana (²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁵U) v probakh prirodnykh (presnykh i mineralizovannykh), tekhnologicheskikh i stochnykh vod alfa spektrometricheskimi metodami s radiokhimicheskoy podgotovkoy* (Measurement procedure for the volumetric activity of uranium (²³⁸U, ²³⁴U, ²³⁵U) in samples of natural (fresh and mineralized), process and wastewater alpha spectrometric method with radiochemical preparation). Moscow: VIMS, 2013, 16 p.

3. Ozhogina E. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. Gornopromishlennyye otdeli: mineralogicheskie osobennosti. Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, No. 6, p. 43–49. (doi 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49)

4. Adelekan B. A., Abegunde K. D. Heavy metals contamination of soil and groundwater at automobile mechanic villages in Ibadan, Nigeria. International Journal of the Physical Sciences, 2011, 6 (5), p.1045–1058.

5. Ahmad M. A., Guar R., Gupta, M. Comparative biochemical and RAPD analysis in two varieties of rice (*Oryza sativa*) under arsenic stress by using various biomarkers. Journal of Hazardous Materials. 2012. pp. 217–218, 141–148.

6. Bahemuka T. E., Mubofu E. B. Heavy metals in edible green vegetables grown along the sites of the Sinza and Msimbazi Rivers in Dares Salaam, Tanzania. Food Chemistry, 1999, 66, p. 63–66.

7. Feng X., Li P., Qiu G. et al. Human exposure to methylmercury through rice intake in mercury mining areas. Environmental Science and Technology, 2008, 42, p. 326–332.

8. Guo G., Wu F., Xie F., Zhang R. Spatial distribution and pollution assessment of heavy metals in urban soils from southwest China. Journal of Environmental Sciences. 2012. 24 (3), 410–418.

9. Guven D. E., Akinci G. Comparison of acid digestion techniques to determine heavy metals in sediment and soil samples. Gazi University Journal of Science, 2011, 24 (1), p. 29–34.

10. Holmes P., James K. A. F., Levy L. S. Is low-level environmental mercury exposure of concern to human health? Science of the Total Environment, 2009, 408, p.171–182.

11. Jantschi L., Loan Suciu Cosma C., Todica M., Bolboaca S.D. Analysis of Soil Heavy Metal Pollution and Pattern in Central Transylvania. Int. J. Mol. Sci, 2008, 9, p. 434–453.

12. Kabir E., Ray S., Kim K.-H. et al. Current status of trace metal pollution in soils affected by industrial activities. The Scientific World Journal, 2012, Volume 2012, Article ID 916705, 18 pages.

13. Lee C. S., Li X., Shi W. et al. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. Science of the Total Environment. 2006. 356, p. 45–61.

14. Mathiyazhagan N., Natarajan D. Physicochemical assessment of waste dumps of Magnesite and Bauxite Mine in summer and rainy season. International Journal of Environmental Sciences, 2012, 2 (3), p. 2243–2252.

15. Meagher R. B., Heaton A. C. P. Strategic for the engineered phytoremediation of toxic element pollution: mercury and arsenic. Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology. 2005. 32, p. 502–513.

16. Nazzal Y., Rosen M. A., Al-Rawabdeh A. M. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. Environmental Monitoring and Assessment, 2013, 185 (2), p.1847–1858.

17. Nriagu J. O., Jinabhai C. C., Naidoo R., Couttsoudis A. Atmospheric lead pollution in Kwazulu/Natal. Science of the Total Environment, 1996, 191, p. 69–76.

18. Ozhogina E. G., Kotova O. B. New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex ore treatment: Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2019) (2-s2.0-85059377649) P. 32–40.

19. Pantelica A., Cercasov A., Steinnes E. et al. Investigation by INAA, XRF, ICPMS and PIXE of Air Pollution Levels at Galati (Siderurgical Site). 4th Nat. Conf. of Applied Physics (NCAP4) 2008, Galati, Romania.

20. Pilecka J., Grinfelde I., Valujeva K. et al. Heavy metal contamination and distribution in the urban environment of Jelgava. Rural And Environmental Engineering, Landscape Architecture. 2017. Vol. 1. P.173–179.

21. Schutze G., de Vries W., Romkens P. F. Critical soil concentration of cadmium, lead and mercury in view of health effects

on humans and animals. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 2007, 191, p. 91–130.

22. Siudek P., Frankowski M., Siepak J. Trace element distribution in the snow cover from an urban area in central Poland. Environmental Monitoring and Assessment. 2015. Vol. 187. n. 5. P. 225–235.

23. Soriano A., Pallares S., Pardo F. et al. Deposition of heavy metals from particulate settleable matter in soils of an industrialised area. Journal of Geochemical Exploration, 2012, 113, p. 36–44.

24. Suci I., Cosma C., Todica M. et al. Analysis of soil heavy metal pollution and pattern in Central Transylvania. International Journal of Molecular Sciences, 2008, 9, p. 434–453.

25. Stihl C., Bancuta A., Popescu I. V. et al. Air pollution studies using PIXE and ICP methods. Journal of Physics: Conference Series, 2006, 41, p. 565.

26. Tsuji L. J. S., Karagatzides J. D. Chronic Lead Exposure, Body Condition, and Testis Mass in Wild Mallard Ducks. Journal Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 2001, 67 (4), p. 489–495.

27. Verma C., Madan S., Hussain A. Heavy metal contamination of groundwater due to fly ash disposal of coal-fired thermal power plant, Parichha, Jhansi. India. Civil & Environmental Engineering, 2016, 3, 1179243.

28. Wu G., Kang H., Zhang X. et al. A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metals from contaminated soils: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. Journal of Hazardous Materials, 2009, 22.

29. Yakovlev E. Yu., Zykova E. N., Zykov S. B. et al. Heavy metals and radionuclides distribution and environmental risk assessment in soils of the Severodvinsk industrial district, NW Russia. Environmental Earth Sciences (2020) 79, 218.

Поступила в редакцию / Received 07.05.2020