

INFLUENCE OF FERTILIZERS APPLICATION ON MOBILITY OF METALS

Nursapina N.A.^{1,2}, Matveyeva I.V.^{1,2}, Yarovaya Y.Y.^{1,2}, Zlobina Y.V.^{1,2}, Shynybek B.A.^{1,2}, Bakytkan B.¹, Nazarkulova Sh.N.^{1,2*}, Ponomarenko O.I.¹

¹al-Farabi Kazakh national University, Almaty, Kazakhstan

²Center of Physico-chemical Methods of Research and Analysis, Almaty, Kazakhstan

E-mail: sholpan.nazarkulova@kaznu.kz

Abstract. *Introduction.* Due to the application of fertilizers, not only additional pollutants are added to the soil of agricultural lands, but also the mobility of pollutants increases due to their transformation into geochemically mobile forms, which allow them to penetrate through the root system into edible parts of plants and accumulate through food chains in biological systems, including the human body. *The purpose* of this work is to study the effect of using mineral fertilizers on the species of metals in soils and prediction of their mobility. *Methodology.* Soil samples selected from the Almaty region (Baiterek village) of the Republic of Kazakhstan were studied by applying ammonium nitrate and monopotassium phosphate fertilizers. The species of metals and radionuclides (polonium-210 and lead-210) were studied according to the method of sequential extraction proposed by A. Tessier. The content of metals in solutions determined by inductively coupled plasma mass spectrometry on an Agilent 7500a spectrometer (USA). The activity concentration of polonium-210 and lead-210 were determined by alpha-beta radiometer. *Results and discussion.* In the presence of monopotassium phosphate, the proportion of the geochemically inert fraction of alkali and alkaline earth metals is lower (2.52%, 10.8%, and 5.5% for calcium, barium, and strontium, respectively) than in the case of using ammonium nitrate and in the absence of fertilizers. For heavy metals, the smallest proportion of the geochemically inert (acid-soluble) fraction was observed for the sample without the use of fertilizers (71.25% for iron, 26.84% for copper, 16.40% for zinc, and 25.96% for lead). *Conclusion.* Using the fertilizers insignificantly affects the species of alkali metals, polonium-210, and lead-210. While application of monopotassium phosphate increases the geochemical mobility of sodium and alkaline earth elements due to the transition to the water-soluble and exchangeable fractions, and heavy metals due to the transition to the exchangeable fraction.

Key words: metals, species, fertilizers, sequential extraction, mobility, inertness.

<i>Nursapina Nurgul Armankyzy</i>	PhD student, junior researcher, e-mail: nurgulya13@mail.ru , ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5834-9932
<i>Matveeva Ilona Valerievna</i>	PhD, Associate Professor, e-mail: ilona.matveyeva@kaznu.kz , ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3553-2010
<i>Yarovaya Elena Yurievna</i>	PhD, Senior Lecturer, Senior Researcher, e-mail: yarovayayu@mail.ru , ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8819-3227
<i>Zlobina Elena Viktorovna</i>	Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, e-mail: elena.zlobina@kaznu.kz , ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0520-8153
<i>Shynybek Balnur Abaykyzy</i>	master, junior researcher, e-mail: shynybek.balnur9227@gmail.com , ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5053-7709

Citation: Nursapina N.A., Matveyeva I.V., Yarovaya Y.Y., Zlobina Y.V., Shynybek B.A., Bakytkan B., Nazarkulova Sh.N., Ponomarenko O.I. Influence of fertilizers application on mobility of metals. *Chem. J. Kaz.*, 2022, 2(78), 48-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2022-2/2710-1185.64>

<i>Nazarkulova Sholpan Nurlanovna</i>	<i>PhD, Senior Lecturer, e-mail: sholpan.nazarkulova@kaznu.kz, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6161-5071</i>
<i>Bakytkan Bulbul</i>	<i>master student, e-mail: bbakytkan@inbox.ru, ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2386-3071</i>
<i>Ponomarenko Oksana Ivanovna</i>	<i>candidate of chemical sciences, associate professor, NJSC «KazNU named after al-Farabi», Almaty, Republic of Kazakhstan, e-mail: oksana.ponomarenko@kaznu.kz, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-8172-5139</i>

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПОДВИЖНОСТЬ МЕТАЛЛОВ

Нурсапина Н.А.^{1,2}, Матвеева^{1,2} И.В., Яровая Е.Ю.^{1,2}, Злобина Е.В.^{1,2}, Шыныбек Б.А.^{1,2}, Бақытқан Б.¹, Назаркулова Ш.Н.^{1,2}, Пономаренко О.И.¹*

¹*Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

²*Центр физико-химических методов исследования и анализа, Алматы, Казахстан*

E-mail: sholpan.nazarkulova@kaznu.kz

Резюме: Металлы играют важную роль в жизни растений и животных, и в малых количествах большинство из них необходимо для нормальной жизнедеятельности любого живого организма. Однако, повышенные концентрации могут также оказывать и негативное влияние на те же функции живого организма. В почвенном покрове металлы могут содержаться в различных формах, от которых зависит их мобильность и токсичность. Металлы переходят из почвы в растения и затем в организмы животных и человека только в том случае, если они мобильны. К мобильным фракциям стоит отнести водорастворимую, обменную, карбонатную, восстанавливаемую и окисляемую формы. Именно они способны мигрировать из одной среды в другую и вызывать негативный кумулятивный эффект. Увеличение антропогенной нагрузки приводит к увеличению мобильности металлов. Особое место занимает сельскохозяйственная деятельность, которая, применяя различные удобрения, увеличивает долю геохимически подвижных форм металлов. Настоящая работа направлена на изучение влияния внесения удобрений на подвижность некоторых металлов. В рамках работы были изучены почвы Алматинской области (поселок Байтерек) Республики Казахстан путем внесения различных удобрений (аммиачная селитра и монокалийфосфат) с последующим изучением форм нахождения металлов и наиболее токсичных радионуклидов (полония-210 и свинца-210) согласно методике А. Тесснера. В ходе работы было установлено, что применение изученных удобрений незначительно влияет на формы нахождения щелочных металлов, полония-210 и свинца-210. При применении монокалийфосфата увеличивается геохимическая мобильность натрия и щелочноземельных элементов за счет перехода в водорастворимую и обменную фракции, а тяжелых металлов за счет перехода в обменную фракцию. Полученные данные послужат основой для разработки рекомендаций по применению определенных видов удобрений для снижения опасности влияния на жизнь и здоровье местного населения без снижения производительности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: металлы, формы нахождения, удобрения, последовательное выщелачивание, мобильность, инертность.

<i>Нурсапина Нургуль Арманкызы</i>	<i>PhD докторант, м.н.с.</i>
<i>Матвеева Илона Валерьевна</i>	<i>PhD, доцент</i>
<i>Яровая Елена Юрьевна</i>	<i>PhD, старший преподаватель, с.н.с.</i>
<i>Злобина Елена Викторовна</i>	<i>К.х.н., доцент</i>
<i>Шыныбек Балнур Абайкызы</i>	<i>Магистр, м.н.с.</i>
<i>Назаркулова Шолпан Нурлановна</i>	<i>PhD, старший преподаватель</i>
<i>Бақытқан Булбул</i>	<i>Магистрант</i>
<i>Пономаренко Оксана Ивановна</i>	<i>К.х.н., доцент</i>

1. Введение

Во многих странах мира ежегодно растет применение различных удобрений [1], при этом не уделяется достаточного внимания содержащимся в них примесям и загрязнителям, концентрация которых ежегодно увеличивается на сельскохозяйственных угодьях, что ведет к неизбежному медленному отравлению местного населения. Одной из важных групп загрязнителей являются металлы [2], т.к. они не способны к биodeградации [3]. Присутствие металлов в окружающей среде обусловлено множеством факторов, таких как эрозия, атмосферные осадки, геологическое выветривание, промышленные процессы, бытовые отходы, сельскохозяйственная деятельность и выбросы транспортных средств [4, 5].

Поскольку химическое поведение и экологические последствия загрязнения металлами в почвах очень сложны, существующие экологические анализы обычно сосредоточены на измерении валового содержания металлов в окружающей среде и на оценке состояния загрязнения почвы. Однако исследования [6] показывают, что биоактивность и токсичность конкретного тяжелого металла тесно связаны с его активностью, путем миграции, биодоступностью и токсичностью для окружающей среды или организмов. Загрязнение окружающей среды металлом, оцениваемое только с точки зрения общего количества, до некоторой степени ограничено, поскольку его конкретные формы также должны быть проанализированы [7].

Из-за внесения удобрений в почву сельскохозяйственных угодий добавляются не только дополнительные загрязнители, но также увеличивается подвижность загрязнителей за счет перевода их в геохимически мобильные формы, которые позволяют им проникать через корневую систему в съедобные части растений и через пищевые цепи накапливаться в биологических системах [8], включая организм человека. Не все тяжелые металлы представляют опасность, некоторые, такие как цинк и медь, в низких концентрациях необходимы для метаболизма растений и животных, но при более высоких уровнях нарушают те же функции метаболизма. Другие металлы, например свинец, токсичны для жизни даже при относительно низких количествах [9].

В рамках настоящего исследования изучено влияние удобрений на содержание металлов в почвах. Полученные данные послужат основой для разработки рекомендаций по применению определенных видов удобрений, что позволит снизить уровень возможного внутреннего отравления местного населения без снижения производительности сельскохозяйственных культур.

2. Экспериментальная часть

Отбор почв. Отбор проб почвы для высадки корнеплодов был проведен в поселке Байтерек, Енбекшиказахского района Алматинской области, который находится в 20 км к востоку от Алматы, координаты 43°24'10" с.ш.

77°13'30" в.д. Места отбора проб были выбраны с учетом того, что вблизи данного района не проводятся сельскохозяйственные работы, предполагающие использование минеральных удобрений. Тип почв в данной местности относится к серозёмам, которые характеризуются содержанием гумуса в пределах от 1 до 4% и часто используется для выращивания ценных сельскохозяйственных культур [10, 11].

Отбор проб почвы был проведен методом конверта на глубине 0-20 см [12]. Предварительно с поверхности почвы были удалены растительность и поверхностный мусор примерно в радиусе 2 м. Собранная со всех точек почва была помещена в полипропиленовые мешки, которые были маркированы, взвешены и транспортированы в лабораторию, где образцы почвы были гомогенизированы и высушены на открытом воздухе при комнатной температуре. Далее почва была просеяна через сито с диаметром пор 2 мм для удаления остатков растений, камней и иных инородных тел.

Внесение удобрений в почву. В рамках настоящего исследования было изучено 2 вида удобрений: аммиачная селитра (АС) Garden Retail Service, Россия; монокалийфосфат (МКФ), Буйские удобрения, Россия.

Таблица 1 – Содержание питательных компонентов в минеральном удобрении согласно данным производителя

Минеральное удобрение	Содержание, %		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
МКФ	-	50	33
АС	33	-	-

Внесение удобрений осуществляли на основании инструкций, предлагаемых производителем удобрений. После этого пробы почв были размещены в горшки, предназначенные для вегетационного эксперимента [13]. Для этого были использованы горшки объемом 2 литра. На дно сосудов помещали дренажное стекло (предварительно обработанное слабым раствором соляной кислоты), на 2/3 дна сосуда под углом 30°, покрывали кружком марли, диаметр которой на 3-5 см больше диаметра сосуда; на горке стекла вертикально на расстоянии 1.5-2 см от стенки сосуда (при набивке) устанавливали стеклянную трубку. Набивка почвы в сосуд осуществляли после ее смешивания с исследуемым удобрением, так чтобы до верхнего края сосуда оставалось 2-2.5 см. Массу почвы при этом сохраняли равной для всех образцов, и определяли пробной набивкой первого сосуда.

В ходе эксперимента проводили замеры влажности, температуры воздуха с периодичностью 4-5 раз в неделю. Во время эксперимента горшки располагали в естественных природных условиях, при естественном освещении и доступе к естественным осадкам.

По окончании эксперимента пробы почв были вновь просушены и просеяны через сито 2 мм.

Селективное выщелачивание. Для определения форм нахождения металлов и радионуклидов было проведено селективное выщелачивание по методике А. Тессера [14-17].

При проведении выщелачивания использовали 4.0 г сухой пробы, при этом соотношение твердой и жидкой фаз составляло 1:10. После каждой экстракции жидкая часть отделяли центрифугированием на ROTINA 380R (Andreas Hettich GmbH & Co. KG, Германия) в течение 30 минут при 4000 обор/мин, затем осадок промывали 10 мл соответствующего растворителя и отфильтровывали через фильтр “синяя лента”. Основные условия выполнения селективного выщелачивания и необходимые реагенты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Протокол проведения последовательного извлечения радионуклидов

Фракция	Реагент	Температура, °С	Время, ч (минимальное)
F0 Водорастворимая	Дистиллированная вода	20	2
F1 Обменная	1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, pH 8-9	20	2
F2 Карбонатная	1 М $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ в 25% НAc, pH 5	20	2
F3 Восстанавливаемая	0.04 М $[\text{NH}_3\text{OH}]\text{Cl}$ в 25% НAc	80	6
F4 Окисляемая	30% H_2O_2 в 0.008 М HNO_3 , pH 2	80	6
F5 Кислоторастворимая	4 М HNO_3	90	6

Фракции F0-F4 представлены реакционноспособными геохимически-подвижными соединениями, способными трансформироваться при изменении физико-химических параметров окружающей среды, таких как pH, Eh, соленость, содержание органических веществ. Фракция F5 представляет собой остаточные (обломочные) или геохимически-инертные формы, представленные терригенными частицами, в которых металлы зафиксированы в кристаллической решетке минералов.

Определение металлов. Полученные в результате селективного выщелачивания фракции, в состав растворителя которых не входила азотная кислота, - F1-F3 - выпаривали и растворяли в слабом растворе азотной кислоты (1-2 М) при кипячении. Остальные фракции измеряли без изменения растворителя.

Содержание металлов в растворах определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Agilent 7500a (США) [18]. Условия работы спектрометра: скорости потоков плазмообразующего газа и газа-носителя 0.1 и 1.0 $\text{дм}^3/\text{мин}$, соответственно, температура плазмы 8000°С, время интеграции сигнала 0.1 с, мощность высокочастотного сигнала 1600 Вт. Калибровку масс-спектрометра

проводили по настроенному раствору (Tuning Solution). Для получения градуировочных характеристик применяли стандартный раствор Multi-element Calibration Standard 2A – Agilent Technologies, США.

Определение изотопов полония-210 и свинца-210. Среди радионуклидов были выбраны наиболее радиотоксичные изотопы – полоний-210 и свинец-210, являющиеся продуктами распада урана-238 [19] для анализа на формы их нахождения. Свинец-210 является одним из наиболее важных объектов исследования с точки зрения радиационной защиты [20] и часто измеряется в образцах окружающей среды [21, 22]. Для определения изотопов полония-210 и свинца-210 полученные фракции выпаривали и переводили в солянокислые растворы, из которых (после устранения мешающего действия трехвалентного железа) проводили осаждение на низкофоновый стальной диск. Измерения изотопов проводили в интервале 10-36 часов после спонтанного бестокового осаждения на альфа-бета радиометре с кремниевым детектором для измерения малых активностей УМФ-2000 (ЗАО НПП “Доза”, г. Москва, Россия), как рекомендовано в методике (МИ № ФР 15382) [23].

3. Результаты и обсуждение

Щелочные и щелочноземельные металлы. В результате селективного выщелачивания с последующим определением металлов были получены следующие данные, приведенные на рисунке 1.

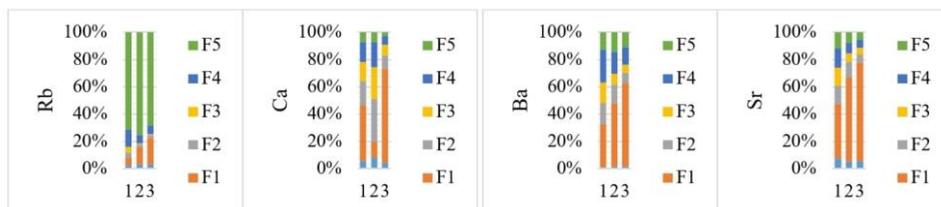


Рисунок 1 – Распределение форм нахождения щелочных и щелочноземельных металлов в зависимости от применяемого удобрения: 1 – без удобрения; 2 - аммиачная селитра; 3 – монокалий фосфат.

Применение удобрений незначительно влияет на формы нахождения щелочных металлов, хотя в присутствии монокалийфосфата (МКФ) доля геохимически инертной фракции (F5) меньше, чем при условии применения аммиачной селитры (АС) и при отсутствии удобрений. Кроме того, для натрия наблюдается увеличение наиболее мобильных фракций – водорастворимой и обменной - при применении МКФ, что свидетельствует об увеличении его мобильности.

Щелочноземельные металлы практически полностью представлены в виде геохимически подвижных форм. При этом наименьшая доля

геохимически инертной фракции была установлена для пробы с применением МКФ: 2.52%, 10.8% и 5.5% для кальция, бария и стронция, соответственно. Стоит также отметить увеличение обменной фракции при применении МКФ для всех щелочноземельных элементов, которая составила 68.69%, 61.03% и 72.14% для кальция, бария и стронция, соответственно.

Тяжелые металлы. Распределение форм нахождения тяжелых металлов в зависимости от применяемого удобрения представлено на рисунке 2.

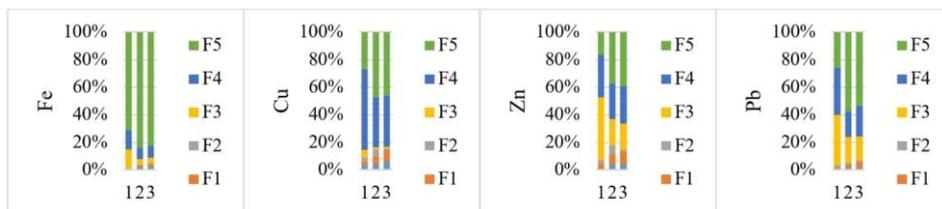


Рисунок 2 – Распределение форм тяжелых металлов в зависимости от применяемого удобрения: 1 – без удобрения; 2 - аммиачная селитра; 3 - монокалийфосфат.

Для проанализированных тяжелых металлов наименьшая доля геохимически инертной фракции (F5) наблюдалась для пробы без применения удобрений: 71.25% - для железа, 26.84% - для меди, 16.40% - для цинка и 25.96% - для свинца. Оба изученных удобрения оказывают приблизительно одинаковое влияние на общее содержание геохимически инертной фракции данных тяжелых металлов, при этом наблюдалось увеличение доли обменной фракции (F1) для всех тяжелых металлов при условии применения МКФ.

Полоний-210 и свинец-210. Результаты альфа-бета-радиометрического анализа показали следующее распределение форм нахождения радионуклидов, которые приведены на рисунке 3.

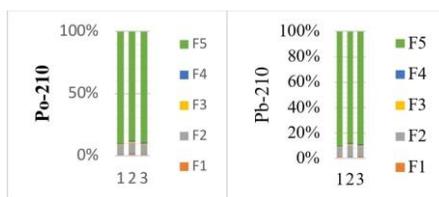


Рисунок 3 – Распределение форм полония-210 и свинца-210 в зависимости от применяемого удобрения: 1 – без удобрения; 2 - аммиачная селитра; 3 – монокалийфосфат.

Значительного влияния применения удобрений на формы нахождения радионуклидов в зависимости от используемого удобрения установлено не было.

4. Заключение

Применение удобрений незначительно влияет на формы нахождения щелочных металлов, полония-210 и свинца-210. В присутствии МКФ доля геохимически инертной фракции щелочных и щелочноземельных металлов меньше (2.52%, 10.8% и 5.5% для кальция, бария и стронция, соответственно), чем в случае применения АС и при отсутствии удобрений. Для натрия и щелочноземельных элементов увеличивается геохимическая мобильность при применении МКФ за счет перехода в водорастворимую и обменную фракции.

Для тяжелых металлов наименьшая доля геохимически инертной (кислоторастворимой) фракции наблюдалась для пробы без применения удобрений (71.25% - для железа, 26.84% - для меди, 16.40% - для цинка и 25.96% - для свинца). Оба изученных удобрения оказывают приблизительно одинаковое влияние на общее содержание геохимически инертной фракции тяжелых металлов, но наблюдается увеличение доли обменной фракции при условии применения МКФ.

Финансирование: Работа выполнена в рамках проекта Министерства образования и науки Республики Казахстан “ИРН АР08052224 Влияние использования минеральных удобрений на накопительную способность радионуклидов и тяжелых металлов в корнеплодах” (2020-2022).

Конфликт интересов: Конфликт интересов между авторами отсутствует.

ТЫҢАЙТҚЫШТАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ МЕТАЛДАРДЫҢ ҚОЗҒАЛҒЫШТЫҒЫНА ӘСЕРІ

*Нурсатина Н.А.^{1,2}, Матвеева И.В.^{1,2}, Яровая Е.Ю.^{1,2}, Злобина Е.В.^{1,2}, Шыныбек Б.А.^{1,2},
Бакыткан Б.¹, Назаркулова Ш.Н.^{1,2*}, Пономаренко О.И.¹*

¹Әл -Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Алматы, Қазақстан

²Физика-химиялық зерттеу және талдау әдістері орталығы, Алматы, Қазақстан

E-mail: sholpan.nazarkulova@kaznu.kz

Түйіндеме. Металдар өсімдіктер мен жануарлардың өмірінде маңызды рөл атқарады, ал аз мөлшерде олардың көпшілігі кез-келген тірі ағзаның қалыпты жұмыс істеуі үшін қажет. Алайда, жоғары концентрациясы тірі организмге теріс әсер етуі мүмкін. Жер бетінде металдар әртүрлі күйде болуы мүмкін және осыдан олардың қозғалғыштығы мен ұйттылығы тәуелді болады. Металдар топырақтан өсімдіктерге, содан кейін жануарлар мен адам ағзасына тек мобильді болса ғана өтеді. Мобильді фракцияларға суда еритін, ауыспалы, карбонатты, тотықсызданған және тотыққан формалар жатады. Олар бір ортадан екінші ортаға көшіп, теріс кумулятивті әсер тудыруы мүмкін. Антропогендік жүктеменің жоғарылауы металдардың мобильділігінің артуына әкеледі. Түрлі тыңайтқыштарды қолданатын ауылшаруашылық саласы металдардың геохимиялық жылжымалы формаларының үлесін арттыруда ерекше орын алады. Берілген зерттеу жұмысы тыңайтқыштардың кейбір металдардың қозғалғыштығына әсерін зерттеуге арналған. Жұмыс шеңберінде А. Тессьер әдістемесіне сәйкес Қазақстан Республикасының Алматы облысының (Бәйтерек кенті) топырағын түрлі тыңайтқыштармен (аммиак селитрасы және монокалийфосфат) өңдеу кезінде топырақ құрамындағы металдар мен аса ұйтты радионуклидтердің (полоний-210 және қорғасын-210) табылу формаларын анықтау жүргізілді. Жұмыс барысында зерттелген тыңайтқыштарды қолдану сілтілік металдардың, полоний-210 және қорғасын-210 табылу формаларына аздап әсер ететіні анықталды. Монокалийфосфатты қолданған кезде суда еритін және алмасатын фракцияларға ауысу есебінен натрий мен сілтілік жер элементтерінің, ал алмасу фракциясына өту есебінен ауыр металдардың геохимиялық мобильділігі артатындығы анықталды. Алынған деректер ауыл шаруашылығы дақылдарының өнімділігін төмендетпей, жергілікті

халықтың өмірі мен денсаулығына әсер ету қаупін азайту үшін тыңайтқыштардың белгілі бір түрлерін қолдану жөніндегі ұсынымдарды әзірлеуге негіз болады.

Түйінді сөздер: металдар, табылу формалары, тыңайтқыштар, кезекті шаймалау, мобильділік, инерттілік.

Нурсапина Нұрғұл Арманқызы	<i>PhD докторант, ғылыми қызметкер</i>
Матвеева Илона Валерьевна	<i>PhD, доцент</i>
Яровая Елена Юрьевна	<i>PhD, аға оқытушы</i>
Злобина Елена Викторовна	<i>химия ғылымдарының кандидаты, доцент</i>
Шыныбек Балнұр Абайқызы	<i>магистр, кіші ғылыми қызметкер</i>
Назаркулова Шолпан Нурлановна	<i>PhD, аға оқытушы</i>
Бақытқан Бұлбұл	<i>магистрант</i>
Пономаренко Оксана Ивановна	<i>химия ғылымдарының кандидаты, доцент</i>

Список литературы

1. Hegeđús, M., Tóth-Bodrogi, E., Németh, S., Somlai, J., Kovács, T. Radiological investigation of phosphate fertilizers: Leaching studies. *J. Environ. Radioact.*, **2017**, 173, 34 – 43. DOI: 0.1016/j.jenvrad.2016.10.006
2. Milenkovic, B., Stajic, J.M., Stojic, N., Pucarevic, M., Strbac, S. Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood product. *Chemosphere*, **2019**, 229, 324 – 331. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.189
3. Cordova M.R. A preliminary study on heavy metal pollutants chrome (Cr), cadmium (Cd), and lead (Pb) in sediments and beach morning glory vegetation (*Ipomoea pes-caprae*) from Dasun Estuary, Rembang, Indonesia. *Mar. Pollut. Bull.* **2021**, 162, 111819. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111819
4. Custodio M., Peñaloza R. Evaluation of the Distribution of Heavy Metals and Arsenic in Inland Wetlands (Peru) Using Multivariate Statistical Methods. *Ecol. Eng. And Environ. Technol.*, **2021**, 22(3), 104 – 111. DOI: 10.12912/27197050/135522
5. Mazzilli B. P., Saueria C. H., Jacomino V. M. F., Mello J. W. V. Natural radionuclides and metals intake into soya, corn and lettuce grown on soil amended with phosphogypsum. *Int. J. Environ. An. Ch.*, **2012**, 92(14), 1574–1586. DOI: 10.1080/03067319.2010.5493
6. Li Y., Liu F., Zhou X., Wang X., Liu Q., Zhu P., Zhang L., Sun C. Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments in Chinese Collapsed Lakes. *Pol. J. Environ. Stud.*, **2017**, 26 (1), 181 – 188. DOI: 10.15244/pjoes/64379
7. Liang Y.H., Liu Q.C., Li Y.K., Liu F. Speciation Analysis and Ecological Risk Assessment of Antimony in Xikuangshan, Hunan Province. *Pol. J. Environ. Stud.*, **2021**, 30(2), 1289 – 1296. DOI: 10.15244/pjoes/125570
8. Ionescu P., Radu V.M., Deak G., Diacu E., Ivanov A.A., Ciobotaru I.E., Marcu E. Assessment of Potential Toxic Elements in Muscle Tissues of Different Fish Species from Colentina, Dambovita and Arges Rivers, Romania. *Rev. Chim.*, **2020**, 71(3), 19 – 28. DOI: 10.37358/RC.20.3.7969
9. Marcu E., Ciobotaru I.E., Maria C., Ivanov A.A., Burlacu I.F., Ibrahim N. Bioaccumulation of Heavy Metals in Perennial Wetland Vegetation Components from a Sector of the Arges River. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **2020**, 616(1), 12065. DOI: 10.1088/1755-1315/616/1/012065
10. Богатырев Л. Г., Васильевская В. Д., Владыченский А. С. Почвоведение. Учебник для университетов. Часть 2. Типы почв, их география и использование. - М.: Высшая Школа, **1988**, 368 с.
11. Клебанович Н.В., Ефимова И.А., Прокопович С.Н. Почвы и земельные ресурсы Казахстана: учеб. Материалы для студентов спец. 1-56 02 02 “Геоинформационные системы”. Минск: БГУ, **2016**, 46 с.
12. Matveyeva I., Jacimovic R., Planinsek P., Stegnar P., Smodis B., Burkitbayev M. Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan). *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **2014**, 299, 1399 – 1409. DOI: 10.1007/s10967-013-2902-3
13. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии: Учебное пособие. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: МГУ, **2001**, 689 с.

14. Назаркулова Ш.Н. Формы нахождения урана и радионуклидный состав месторождения Камышановское, Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD). Алматы: КазНУ, **2012**, 102 с.

15. Outola I., Inn K., Ford R., Markham S., Outola P. Optimizing standard sequential extraction protocol with lake and ocean sediments. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **2009**, 282(2), 321–327. DOI: 10.1007/s10967-009-0183-7

16. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, **1979**, 51(7), 844 – 851. DOI: 10.1021/ac50043a017

17. Ure A.M. Trace element speciation in soils, soil extracts and solutions. *Mikrochim. Acta.*, **1991**, 104 (1), 49 – 57. DOI: 10.1007/BF01245495

18. Thabit T. M., Shokr S. A., Elgeddawy D. I., El-Naggar, M. A. Determination of heavy metals in wheat and barley grains using ICP-MS/MS. *Journal of AOAC International*, **2020**, 103(5), 1277–1281. DOI: 10.1093/jaoacint/qsaa029

19. Chaoya Pang, Wei Wang, Fei Tuo, Shuaimo Yao, Jing Zhang. Determination of ^{210}Pb contents in food, diet, environmental samples and estimations of internal dose due to daily intakes. *J. Environ. Radioact.*, **2019**, 203, 107–111. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.03.005

20. F.P. Carvalho, J.M. Oliveira, A.M.M. Soares Sediment accumulation and bioturbation rates in the deep Northeast Atlantic determined by radiometric techniques, ICES. *J. Mar. Sci.*, **2011**, 68, 427–435, DOI: 10.1093/icesjms/fsr005

21. Isakar K., Kiisk M., Realo E., Sursoo S. Lead-210 in the atmospheric air of North and South Estonia: Long-term monitoring and back-trajectory calculations. *Proc. Est. Acad. Sc.*, **2016**, 65(4), 442. DOI:10.3176/proc.2016.4.11

22. Renaud P., Roussel-Debet S., Pourcelot L., Thébault H., Loyer J., Gurriaran R. ^{210}Pb and ^{210}Po activities in French foodstuff. *Radioprotection*, **2015**, 50(2), 123 – 128. DOI:10.1051/radiopro/2014039

23. Методика измерений объемной активности полония- 210 (^{210}Po) и свинца- 210 (^{210}Pb) в пробах природных (пресных и минерализованных) технологических и сточных вод альфа-бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой МИ № ФР 15382.

References

1. Hegedus M., Toth-Bogrod E., Nemeth S., Somlai J., Kovacs T. Radiological investigation of phosphate fertilizers: Leaching studies. *J. Environ. Radioact.*, **2017**, 173, 34 – 43. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.10.006

2. Milenkovic, B., Stajic, J.M., Stojic, N., Pucarevic, M., Strbac, S. Evaluation of heavy metals and radionuclides in fish and seafood product. *Chemosphere*, **2019**, 229, 324 – 331. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.04.189

3. Cordova M.R. A preliminary study on heavy metal pollutants chrome (Cr), cadmium (Cd), and lead (Pb) in sediments and beach morning glory vegetation (*Ipomoea pes-caprae*) from Dasun Estuary, Rembang, Indonesia. *Mar. Pollut. Bull.*, **2021**, 162, 111819. DOI: 10.1016/j.marpollbul.2020.111819

4. Custodio M., Peñalosa R. Evaluation of the Distribution of Heavy Metals and Arsenic in Inland Wetlands (Peru) Using Multivariate Statistical Methods. *Ecol. Eng. And Environ. Technol.*, **2021**, 22(3), 104 – 111. DOI: 10.12912/27197050/135522

5. Mazzilli B. P., Sauecia C. H., Jacomino V. M. F., Mello J. W. V. Natural radionuclides and metals intake into soya, corn and lettuce grown on soil amended with phosphogypsum. *Int. J. Environ. An. Ch.*, **2012**, 92(14), 1574–1586. DOI: 10.1080/03067319.2010.5493

6. Li Y., Liu F., Zhou X., Wang X., Liu Q., Zhu P., Zhang L., Sun C. Distribution and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Sediments in Chinese Collapsed Lakes. *Pol. J. Environ. Stud.*, **2017**, 26 (1), 181 – 188. DOI: 10.15244/pjoes/64379

7. Liang Y.H., Liu Q.C., Li Y.K., Liu F. Speciation Analysis and Ecological Risk Assessment of Antimony in Xikuangshan, Hunan Province. *Pol. J. Environ. Stud.*, **2021**, 30(2), 1289 – 1296. DOI: 10.15244/pjoes/125570

8. Ionescu P., Radu V.M., Deak G., Diacu E., Ivanov A.A., Ciobotaru I.E., Marcu E. Assessment of Potential Toxic Elements in Muscle Tissues of Different Fish Species from Colentina, Dambovită and Argeș Rivers, Romania. *Rev. Chim.*, **2020**, 71(3), 19 – 28. DOI: 10.37358/RC.20.3.7969

9. Marcu E., Ciobotaru I.E., Maria C., Ivanov A.A., Burlacu I.F., Ibrahim N. Bioaccumulation of Heavy Metals in Perennial Wetland Vegetation Components from a Sector of the Argeș River. *In IOP*

Conference Series: Earth and Environmental Science, **2020**, 616(1),12065. DOI: 10.1088/1755-1315/616/1/012065

10. Bogatyrev L.G., Vasil'evskaya V. D., Vladychenskij A. S. *Pochvovedenie. Uchebnik dlya universitetov. Chast' 2. Tipy pochv, ih geografiya ispol'zovanie* [Soil science. University textbook. Part two, soil types, their geography of use]. Moscow, Graduate School, **1988**, 368 p.

11. Klebanovich N.V., Efimova I.A., Prokopovich S.N. *Pochvy i zemel'nye resursy Kazahstana: ucheb. Materialy dlya studentov spec. 1-56 02 02 "Geoinformacionnye sistemy"* [Soils and land resources of Kazakhstan: Educational materials for students of the specialty 1-56 02 02 of geographic information systems]. Minsk: BGU, **2016**, 46 p.

12. Matveyeva I., Jacimovic R., Planinsek P., Stegnar P., Smodis B., Burkitbayev M. Assessment of the main natural radionuclides, minor and trace elements in soils and sediments of the Shu valley (near the border of Kazakhstan and Kyrgyzstan). *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **2014**, 299, 1399 – 1409. DOI: 10.1007/s10967-013-2902-3

13. Mineev V.G. *Praktikum po agrohimii: Uchebnoe posobie. 2-e izd., pererab. i dop* [Workshop on agricultural chemistry: textbook. second edition revised and enlarged]. Moscow, Moscow State University, **2001**, 689 p.

14. Nazarkulova Sh.N. *Formy nahozhdeniya urana i radionuklidnyj sostav mestorozhdeniya Kamyshanovskoe, Dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni doktora filosofii (PhD)* [Forms of uranium occurrence and radionuclide composition of the Kamyshanovskoye deposit, PhD thesis.]. Almaty, KazNU, **2012**, 102 p.

15. Outola I., Inn K., Ford R., Markham S., Outola P. Optimizing standard sequential extraction protocol with lake and ocean sediments. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, **2009**, 282(2), 321–327. DOI: 10.1007/s10967-009-0183-7

16. Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem.*, **1979**, 51(7), 844 – 851. DOI: 10.1021/ac50043a017

17. Ure A.M. Trace element speciation in soils, soil extracts and solutions. *Mikrochim. Acta.*, **1991**, 104 (1), 49 – 57. DOI: 10.1007/BF01245495

18. Thabit T. M., Shokr S. A., Elgeddawy D. I., El-Naggar, M. A. Determination of heavy metals in wheat and barley grains using ICP-MS/MS. *Journal of AOAC International*, **2020**, 103(5), 1277–1281. DOI: 10.1093/jaoacint/qsaa029

19. Chaoya Pang, Wei Wang, Fei Tuo, Shuaimo Yao, Jing Zhang. Determination of ^{210}Pb contents in food, diet, environmental samples and estimations of internal dose due to daily intakes. *J. Environ. Radioact.*, **2019**, 203, 107-111. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.03.005

20. F.P. Carvalho, J.M. Oliveira, A.M.M. Soares Sediment accumulation and bioturbation rates in the deep Northeast Atlantic determined by radiometric techniques, ICES. *J. Mar. Sci.*, **2011**, 68, 427-435, DOI: 10.1093/icesjms/fsr005

21. Isakar K., Kiisk M., Realo E., Sursoo S. Lead-210 in the atmospheric air of North and South Estonia: Long-term monitoring and back-trajectory calculations. *Proc.Est.Acad. Sc.*, **2016**. 65(4), 442. DOI: 10.3176/proc.2016.4.11

22. Renaud P., Roussel-Debet S., Pourcelot L., Thébault H., Loyer J., Gurriaran R. ^{210}Pb and ^{210}Po activities in French foodstuff. *Radioprotection*, **2015**, 50(2), 123 – 128. DOI: 10.1051/radiopro/2014039

23. Metodika izmerenij obemnoj aktivnosti poloniya - 210 (^{210}Po) i svinca - 210 (^{210}Pb) v probah prirodnyh (presnyh i mineralizovannyh) tekhnologicheskikh i stochnykh vod al'fa-beta-radiometricheskim metodom s radiohimicheskoj podgotovkoj MI № FR 15382 [Method for measuring the volumetric activity of polonium-210 (^{210}Po) and lead-210 (^{210}Pb) in samples of natural (fresh and mineralized) process and waste waters by alpha-beta radiometric method with radiochemical preparation MI No. FR 15382].