Оригинальная статья / Original article

УДК 543.53:539.163:621.039.586

DOI: <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-4-384-392>

Оценка радиационной обстановки и распределения радионуклидов в воздухе цеха прокалки закиси-оксида урана

© А.М. Музафаров¹, Р.А. Кулматов², Г.М. Аллаберганова³

¹Навоийский горно-металлургический комбинат, г. Навои, Республика Узбекистан

²Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Республика Узбекистан

³Навоийский государственный горный институт, г. Навои, Республика Узбекистан

Резюме: Цель – изучение радиационных уровней загрязнения, распределения радионуклидов в воздухе цеха прокалки закиси-оксида урана и разработка эффективного метода отбора проб и рекомендаций по уменьшению радиационных влияний на работающих. Определены мощности экспозиционной дозы, эквивалентная равновесная объемная активность радона, активности долгоживущих альфа-нуклидов в воздухе рабочей зоны в цехе прокалки закиси-оксида урана. Рассчитаны годовые эффективные дозы для работников цеха. С помощью применения ядерных фильтров на основе полиэтилентерефталата и химических фильтров марки АФА-ХА изучен дисперсный состав частиц в воздухе. Оценена эффективность фильтров при отборе проб на содержание урана на основе распределения его на двух фильтрах различной природы. Оценены коэффициенты качества фильтров, накапливающих уран относительно его нормы, в различных рабочих местах цеха.

Ключевые слова: воздух рабочей зоны, цех прокалки урана, показатели радиоактивности, содержание и распределение урана, методика анализа

Для цитирования: Музафаров А.М., Кулматов Р.А., Аллаберганова Г.М. Оценка радиационной обстановки и распределения радионуклидов в воздухе цеха прокалки закиси-оксида урана. XXI век. Техносферная безопасность. 2020;5(4):384–392. <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-4-384-392>

Assessment of the radiation situation and distribution of radionuclides in the air of the uranium protoxide-oxide calcination shop

Amrullo M. Muzafarov¹, Rashid A. Kulmatov², Gulchekhra M. Allaberganova³

¹Navoi Mining and Metallurgical Factory, Navoi, Republic of Uzbekistan

²National University of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

³Navoi State Mining Institute, Navoi, Republic of Uzbekistan

Abstract: The exposure dose rates, the equivalent equilibrium volume activity of radon, and the activity of long-lived alpha-nuclides in the air of the uranium protoxide-oxide calcination shop were determined. Annual effective doses for workers were calculated. Through the use of nuclear-based polyethyleneterephthalate and chemical filters, the disperse composition of particles in the air was studied. The effectiveness of filters in sampling was evaluated for the uranium content. The kinetics of distribution of uranium in various fractions was studied. The quality coefficients of filters that accumulate uranium relative to its norm in various working places of the shop were estimated.

Keywords: air of the uranium oxide calcination shop, radioactivity indicators, uranium content and distribution, analysis method

For citation: Muzafarov AM, Kulmatov RA, Allaberganova GM. Assessment of the radiation situation and distribution of radionuclides in the air of the uranium protoxide-oxide calcination shop. XXI vek. Tekhnosfernaya bezopasnost' = XXI century. Technosphere security. 2020;5(4):384–392. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-4-384-392>

ВВЕДЕНИЕ

Цех прокатки закиси-оксида урана является потенциальным объектом, оказывающим вредное влияние на окружающую среду и, в первую очередь, на рабочий персонал в радиационной зоне. Опасность и уровень радиационного влияния оценивается путем анализа воздуха рабочей зоны на наличие в ней радионуклидов – продуктов распада урана. Уровень радиоактивности характеризуют показатели мощности экспозиционной дозы, эквивалентная равновесная объемная активность радона и активность долгоживущих альфа-нуклидов в воздухе рабочих мест в сравнении с предельно допустимыми международными и национальными нормами.

Для контроля и оценки воздействия ионизирующего излучения радиоактивных веществ на здоровье работающего персонала и на окружающую среду значительными являются развитие методов и методик определения радиоактивности¹ [1–3]. Эти данные необходимы для оценки радиоактивных факторов экологического и профессионального риска² [2, 3, 4–8].

Значения естественного радиационного фона увеличиваются в объектах среды из-за выбросов ионизирующего излучения, попадания в атмосферу пыли, в результате переработки радиоактивных продуктов [4–7, 9–12].

Оценивание радиационной обстановки и распределения радионуклидов в воздухе рабочей зоны атомного производства и разработка методов отбора

проб и практических рекомендаций по уменьшению радиационных влияний на персонал является актуальной задачей прикладной ядерной химии, радиохимии, аналитики и радиэкологии. Поэтому целью работы является изучение радиационных уровней, условий отбора проб на радиоактивность, а также установление распределения радионуклидов в воздухе рабочей зоны.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования был воздух рабочей зоны в цехе прокатки закиси-оксида урана.

С помощью метода прямого измерения на ДКС-96 (Россия) определяли мощность экспозиционной дозы (МЭД) естественного гамма-излучения в различных точках цеха.

Фракционный и изотопный состав аэрозолей в воздухе рабочей зоны изучали на ядерных фильтрах (Россия, г. Дубна) на основе полиэтилентрифталата с порами диаметром 0,76–2,0 мкм в сочетании с химическими фильтрами типа АФА-ХА. Ядерные фильтры (ЯФ) имеют высокую механическую прочность, кислотоустойчивость, термостойкость и избирательность. Изотопный состав аэрозоли воздуха определяли альфаспектрометрическим методом с радиохимической подготовкой пробы. Исследуемый фильтр, содержащий различные фракции твердого урана, помещается в стакан с азотной кислотой концентрацией 30 г/дм³. Раствор подкисляется соляной

¹Алов Н.В., Василенко И.А., Гольдштрах М.А. Аналитическая химия. и физико-химические методы анализа: учебник. В 2 т. / Под ред. А.А. Ищенко. М.: Academia. Т 2. 2012. 411 с.;

Жебентяев А.И., Жерносек А.К., Талуть И.Е. Аналитическая химия. Химические методы анализа: учеб.пос.2-е изд. М.: ИНФРА-М, 2011. 542 с.;

Нормы радиационной безопасности (НРБ-2006) и основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-2006). Ташкент, 2006. 136 с.

²Внуков В.С. Обеспечение ядерной безопасности на заводах, производящих ядерное топливо АЭС: справ. пособ. М.: Форум, 2010. 208 с.

кислотой до $\text{pH}=1$ и выдерживается не менее шести (6) ч. Затем проба кипятится под часовым стеклом в течение 20 мин. до удаления углекислоты. Если вода окрашена, дополнительно перед кипячением вводится $1 \text{ см}^3 \text{ H}_2\text{O}_2$ для разрушения органических соединений урана. Затем добавляется раствор хлорного железа около 50 мг железа на один (1) дм^3 пробы воды и осаждаются гидроксиды аммиаком ($\text{pH}=8$). Осадок отстаивается в течение 1–2 ч и после отфильтровывается через фильтр «белая лента» $\varnothing 11$ см. Осадок на фильтре растворяют 50 см^3 кипящей 7 М азотной кислотой, приливая ее небольшими порциями, так, чтобы был захвачен весь осадок. После этого фильтр промывают еще 2 раза по 10 см^3 горячей азотной кислотой. Полученный азотнокислый раствор, содержащий изотопы урана, переводят в делительную воронку, приливая 15 см^3 очищенного 30%-го тетрабутилфтолата в толуоле, и проводят экстракцию в течение 5 мин. Маточный раствор после разделения фаз сливают обратно в стакан, а органический экстракт промывают два раза равным объемом 7 М азотной кислоты и один раз равным объемом раствора 0,25 М HNO_3 в 0,04 М HF в течение одной минуты. Далее проводят реэкстракцию урана, для чего промывают органическую фазу три раза по одной минуте порциями дистиллированной воды по 15 см^3 . Объединенный водный раствор реэкстракта выпаривают досуха, прибавляя 5 см^3 концентрированной кислоты HNO_3 для удаления следов органических веществ, и снова выпаривают досуха. Сухой остаток, содержащий изотопы урана, растворяют в 10 см^3 2%-го раствора соды при нагревании, отфильтровывают через фильтр «синяя лента» и переносят в электролитическую ячейку. Электроосаждение изотопов урана проводят на

подложке из нержавеющей стали в течение 30 мин. при постоянном токе 2 А. Счетный образец измеряют на спектрометре типа ALPHA ANALYST «CANBERRA» (США) или «ДОЗА» (Россия) на анализаторах типа АРФ-7 и EDX-7000. Для определения урана в воздухе пробы отбирали трижды в каждой точке наблюдения и результаты усредняли.

Значения эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) дочерних продуктов распада радона измеряли приборами «Поиск» (Россия) и ALPHA-GUARD (Германия). Определения активности долгоживущих альфа-нуклидов (ДАН) проводили на приборе «Прогресс» (Россия) с отбором проб на аспирационные фильтры.

Рассчитывали годовые эффективные дозы для работников цеха.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Процесс прокалики закиси-окиси урана происходит при температуре до 700°C . Велика вероятность поступления в воздух цеха радиоизотопов цепочки распада урана, что опасно для здоровья работников и объектов окружающей среды. Степень радиационного загрязнения воздуха оценивали путем сравнения фактического уровня излучения с естественным фоном.

В табл. 1 приведены результаты измерений исследуемых показателей в шести (6) наблюдательных точках цеха прокалики закиси-окиси урана. Как видно из приведенных результатов замеров, полученные годовые эффективные дозы для работников в цехе не превышают принятую норму для персонала – 20 мЗв/г [3, 8].

В воздухе рабочей зоны, кроме МЭД, ДАН и ЭРОА, имеется радиационная пыль, для которой установлена предельно допустимая концентрация (ПДК). Норма ее в воздухе рабочей зоны – $0,015 \text{ мг/м}^3$.

Таблица 1. Мощности экспозиционной дозы (МЭД), долгоживущие альфа-нуклиды (ДАН), эквивалентная равновесная объемная активность (ЭРОА) радона и мощности эффективной годовой дозы в цехе прокалики закиси-оксида урана

Table 1. Exposure dose rates (EDR), long-lived alpha nuclides (LAN), equivalent equilibrium volumetric activity (EEVA) of radon and effective annual dose rate in the uranium oxide calcination shop

Место отбора	МЭД, мкР/час	ДАН, мБк/м ³	ЭРОА, Бк/м ³	Годовая эффективная доза, мЗв/г
1	0,65	3,7	21	7,43
2	0,64	2,8	18	7,17
3	0,63	4,4	23	6,54
4	0,56	3,7	21	6,38
5	0,47	3,5	19	6,11
6	0,36	2,4	14	5,36

Имеются различные методы определения урана в воздухе. Один из них позволяет определять общее количество урана в воздухе аспирационным методом с помощью ядерных и химических фильтров. Эксперимент показал, что крупнодисперсные частицы менее подвижны, чем мелкодисперсные. Поэтому актуальным было изучение распределения радионуклидов в воздухе и попадания мелкодисперсных частиц (аэрозолей) в окружающую среду, так как время их нахождения в воздухе наиболее длительное.

Изучение в воздухе дисперсного состава аэрозолей представляет интерес не только для оценки количества аэрозолей в различных фазах (крупно- и мелкодисперсных, пара-газовых частиц и т.д.), но важно также для разработки мер по их ликвидации.

При анализе фракционного состава пыли в воздухе рабочей зоны цеха прокалики получили зависимость суммарной удельной активности аэрозолей, отобранных на фильтрах, от концентрации

урана. Из рисунка видно, что значения удельной активности аэрозолей зависят от концентрации изотопа ²³⁴U. Дело в том, что изотоп ²³⁴U имеет большую удельную активность – $2,3 \cdot 10^8$ Бк/г, чем изотоп ²³⁸U – $1,25 \cdot 10^4$ Бк/г. Поэтому при нарушении радиоактивного равновесия между изотопами урана ²³⁴U/²³⁸U за счет увеличения доли изотопа ²³⁴U также увеличится удельная активность аэрозолей, отобранных на фильтрах.

Результаты определения урана в воздухе рабочих зон с помощью различных фильтров приведены в табл. 2. Оценочный коэффициент качества (К) соответствует отношению содержания урана в воздухе к его ПДК ($K = C_U / C_{ПДК}$).

Полученные результаты показывают, что оптимальным является использование фильтров в следующей последовательности – ядерные фильтры (ЯФ – 2,0 мкм, ЯФ – 1,0 мкм, ЯФ – 0,76 мкм) и АФА-ХА. При этом наблюдается максимальное улавливание крупной и мелкодисперсных фракций из воздушной среды $K=153,2$.

Зависимости удельной активности аэрозолей, отобранных на фильтрах, от концентрации урана: нижняя линия – от концентрации урана при радиоактивном равновесии между изотопами урана $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$; верхняя линия – от концентрации урана при нарушении радиоактивного равновесия изотопов урана

Dependences of the specific activity of aerosols sampled on the filters on the uranium concentration: lower line - on the uranium concentration at radioactive equilibrium between the isotopes of uranium $^{234}\text{U} / ^{238}\text{U}$; upper line – on the uranium concentration in violation of radioactive equilibrium of uranium isotopes

Таблица 2. Содержание урана в воздухе помещений прокалки готовой продукции урана
Table 2. The content of uranium in the air of the uranium protoxide-oxide calcination shop

Последовательность операций	Тип фильтра	Уран, мкг/м ³	Σ , мкг/м ³	К – коэффициент качества
Трехярусный фильтр с активированным углем	Активированный уголь (АУ)	0,6	1,2	0,01
	АУ	0,3		
	АУ	0,3		
Трехярусный фильтр	АФА-ХА	68	68,8	0,8
	АУ	0,5		
	АУ	0,3		
Четырехярусный фильтр	Ядерный фильтр (ЯФ) – 2,0 мкм	1,6	6,4	0,07
	ЯФ – 1,0 мкм	0,2		
	ЯФ – 0,76 мкм	4,6		
	АФА-ХА	-		
Четырехярусный фильтр	АУ	0,0	4,5	0,05
	ЯФ – 0,76 мкм	2,0		
	ЯФ – 1,0 мкм	1,0		
	ЯФ – 2,0 мкм	1,5		
Четырехярусный фильтр	ЯФ – 2,0 мкм	133,3	153,2	1,74
	ЯФ – 1,0 мкм	0,7		
	ЯФ – 0,76 мкм	1,7		
	АФА-ХА	17,5		
Четырехярусный фильтр	АУ	1,2	74,8	0,85
	ЯФ – 1,0 мкм	2,1		
	ЯФ – 0,76 мкм	2,4		
	АФА-ХА	69

В табл.3 приведены данные распределения урана во фракциях различных фильтров. В первом варианте фильтры в пробоотборниках расположены в следующей последовательности: АФА-ХА, ядерный фильтр с крупностью пор 2 мкм. Во втором варианте в пробоотборниках помещали последовательно ядерные (размер пор 1 мкм) и АФА-ХА фильтры. Видно, что использование ядерного фильтра позволяет улавливать частицы урана повышенной дисперсности. Этот факт объясняется тем, что совокупность дисперсных частиц, улавливаемых в фильтре, склонна к образованию пленок, вследствие чего повышается сопротивление проходящего через фильтр воздуха.

Методом «введено–найден» было показано (см. табл. 3), что с использованием ядерного фильтра, практически полностью улавливается уран из газовой фазы при температурах от 500 до 2000 °С. В связи с этим представляет ин-

терес оценка целесообразности использования этих фильтров для определения валовых содержаний урана в выбросных газах. В табл. 3 приведены результаты распределения урана по фракциям в зависимости от типа фильтра.

Полученные результаты показали эффективность совместного применения химических аэрозольных и ядерных фильтров для улавливания урана. При этом сорбционная способность ядерных фильтров зависела от его размера диаметра пор – с уменьшением диаметра эффективность улавливания возрастала в среднем до 40–60% от суммарного количества улавливаемых частиц.

Анализ значений коэффициентов $K = C_U / C_{\text{ПДК}}$ показал неравномерность распределения урана в воздухе цеха. Имелись как места с превышением норм вещества (до 1,67 раз), так и отсутствие загрязнения воздуха рабочей зоны (менее 0,27 раз).

Таблица 3. Распределение урана на различных фильтрах (1– АФА-ХА, 2 – ядерный фильтр)
Table 3. Distribution of uranium on various filters (1 - AFA-XA, 2 - nuclear filter)

Тип фильтра	Концентрация, C_U , мг/м ³	Доля C_U , %	$K = C_U / C_{\text{ПДК}}$	Диаметр пор ядерного фильтра, Ø, мкм
1	0,13	88,4	1,67	2
2	0,017	11,6		
1	0,11	99,0	1,33	2
2	0,001	2,4		
1	0,023	95,8	0,27	2
2	0,001	4,2		
1	0,007	58,3	0,14	1
2	0,005	41,7		
1	0,013	43,3	0,34	1
2	0,017	56,7		

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Определены мощности экспозиционной дозы, эквивалентное равновесное объемное значение активности радона,

активности долгоживущие альфа-нуклидов в атмосферном воздухе цехов проковки урана и данные расчета годовой эффективной дозы для персонала

работающих на этом объекте. С помощью применения ядерных на основе полиэтиленфталата фильтров различных диаметров пор (0,76–2,0 мкм) и химических фильтров проведено разделения частиц по дисперсному составу. Определены содержания урана на различных фильтрах, которые могут быть рекомендованы для эффективного улавливания радиоактивных элементов. Оце-

нка коэффициентов качества фильтров в различных местах и участках цеха показала неравномерную загрязненность воздуха. Определены мощности экспозиционной дозы. Результаты исследования указывают на необходимость разработки мер по проведению дегазации и дезактивации воздуха, обеспечивающих защиту здоровья работников.

Список литературы

1. Джаваев Б.Г., Голик С.В. Определение общего содержания урана и его изотопного состава в пробах атмосферного воздуха и выбросах вентсистем с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой // Аналитика и контроль. 2000. Т. 4. № 5. С. 470–473.
2. Курило Ю.П., Мазиллов А.В., Разсукованный Б.Н. Дозовые затраты персонала ННЦ ХФТИ при работах с ураном // Вопросы атомной науки и техники. 2007. № 2. С. 129–133.
3. Музафаров А.М., Ослоповский С.А., Саттаров Г.С. Радиометрические исследования техногенных объектов // Цветные металлы. 2016. № 2 (878). С. 15–19. <https://doi.org/10.17580/tsm.2016.02.02>
4. Зуев А.В., Хохлова Е.А. Анализ профессиональной заболеваемости среди горнорабочих урановых рудников ОАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» // Медицина экстремальных ситуаций. 2011. № 3 (37). С. 51–59.
5. Chareyron B., Živčić L., Tkalec T., Conde, M. Uranium mining. Unveiling the impacts of the nuclear industry // EJOLT Report. 2014. № 15. 116 p.
6. Allaberganova G.M., Turobjonov S.M., Muzafarov A.M., Kholov D.M. Assessment of the influence of the process of underground uranium leaching on soil and groundwater // International Journal of Engineering and Information Systems (IJEAIS). 2019. P. 34–39.
7. Аллаберганова Г.М., Музафаров А.М. Мониторинг и оценка мощности эффективной дозы в техногенных объектах урановых производств // Горный вестник Узбекистана. 2019. № 2. С. 105–107.
8. Allaberganova G.M., Turobjonov S.M., Kholov D.M., Soliev T.I., Muzafarov A.M., Kurbanov B.I. Methods of assessment of radiation factors of uranium production and their anthropogenic impact on the ecosystem // Modern problems of nuclear physics and nuclear technologies: the Ninth International conference (24–27 September 2019, Tashkent). Tashkent, 2019. P. 318–319.
9. Музафаров А.М., Аллаберганова Г.М., Мустафоев М.А. Мониторинг и оценка мощности эффективной дозы в техногенных объектах урановых производств // Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность-2019: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (23–26 сентября 2019, Севастополь). Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2019. С. 1108–1111.
10. Музафаров А.М., Бисенова Б., Аллаберганова Г.М., Саттаров Г.С. Определения радиоэкологических факторов для оценки радиационной обстановки урановых производств // Ядерная и радиационная физика: тез. докл. 9-ой Междунар. конф. Алматы, 2013. С. 209–210.
11. Музафаров А.М., Саттаров Г.С., Аллаберганова Г.М., Журакулов А.Р., Кист А.А. Радиометрическая оценка радиационной обстановки в промышленной и близлежащей зоне уранодобывающих предприятий // Ядерная и радиационная физика: тез. докл. 9-ой Междунар. конф. Алматы, 2013. С. 222–223.

References

1. Dzhavaev BG, Golik SV. Determination of the total uranium content and its isotopic composition in atmospheric air samples and emissions from ventilation systems using an inductively coupled plasma mass spectrometer. *Analitika i kontrol' = Analytics and control*. 2000;4(5):470–473.
2. Kurilo YuP, Mazilov AV, Razsukovanny BN. Dose costs of NSC KIPT personnel when working with uranium. *Voprosy atomnoi nauki i tekhniki*. 2007;2:129–133.

3. Muzafarov AM, Oslopovskiy SA, Sattarov GS. Radiometric investigations of technogenic objects. *Tsvetnye Metally*. 2016;2:15–19. <https://doi.org/10.17580/tsm.2016.02.02>
4. Zuev AV, Khokhlova EA. Analysis of occupational diseases amongst miners of uranium mines open joint-stock company «Priargunsky industrial mining & chemical union». *Meditsina ekstremal'nykh situatsii = Medicine of extreme situations*. 2011;3:51–59.
5. Chareyron B, Živčić L, Tkalec T, Conde, M. Uranium mining. Unveiling the impacts of the nuclear industry. *Ejolt Report*. 2014;15:116.
6. Allaberganova GM, Turobjonov SM, Muzafarov AM, Kholov DM. Assessment of the influence of the process of underground uranium leaching on soil and groundwater. *International Journal of Engineering and Information Systems (IJEIS)*. 2019;34–39.
7. Allaberganova GM, Muzafarov AM. Monitoring and assessment of efficient dose power in the technogenic objects of uranium production. *Gornyi vestnik Uzbekistana*. 2019;2:105–107.
8. Allaberganova GM, Turobjonov SM, Kholov DM, Soliev TI, Muzafarov AM, Kurbanov BI. Methods of assessment of radiation factors of uranium production and their anthropogenic impact on the ecosystem. *Modern problems of nuclear physics and nuclear technologies: the Ninth International conference*. 24–27 September 2019, Tashkent. Tashkent; 2019. p. 318–319.
9. Muzafarov AM, Allaberganova GM, Mustafiev MA. Monitoring and assessment of efficient dose power in the technogenic objects of uranium production. *Ekologicheskaya, promyshlennaya i energeticheskaya bezopasnost'-2019: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii = Environmental, Industrial and Energy Safety-2019: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference (23–26 September 2019, Sevastopol)*. Sevastopol: Sevastopol State University; 2019. p. 1108–1111.
10. Muzafarov AM, Bisenova B, Allaberganova GM, Sattarov GS. Determination of radioecological factors for assessing the radiation situation of uranium production. *Yadernaya i radiatsionnaya fizika: tezisy dokladov 9-oi Mezhdunarodnoi konferentsii = Nuclear and Radiation Physics: Abstracts of the 9th International Conference*. Almaty; 2013. p. 209–210.
11. Muzafarov AM, Sattarov GS, Allaberganova GM, Zhurakulov AR, Kist AA. Radiometric assessment of the radiation situation in the industrial and nearby area of uranium mining enterprises. *Yadernaya i radiatsionnaya fizika: tezisy dokladov 9-oi Mezhdunarodnoi konferentsii = Nuclear and Radiation Physics: Abstracts of the 9th International Conference*. Almaty; 2013. p. 222–223.

Сведения об авторах

Музафаров Амрулло Мустафаевич,

заместитель начальника по науке,
главный инженер центральной
научно-исследовательской лаборатории,
Навоийский горно-металлургического
комбинат,
210100, г. Навои, ул. Навои, 27,
Республика Узбекистан,
✉ e-mail: AM.Muzafarov@ngmk.uz

Кулматов Рашид Анарович,

доктор химических наук,
профессор кафедры экологии,
Национальный университет Узбекистана,
100174, г. Ташкент, ул. Университетская, 4,
Республика Узбекистан.
e-mail: rashidkulmatov46@mail.com

Аллаберганова Гулчехра Машариповна,

преподаватель кафедры физики,
Навоийский государственный горный
институт,
210100, г. Навои, ул. Галаба, 27А,
Республика Узбекистан.

Information about the authors

Amrullo M. Muzafarov,

Deputy Head for Science, chief engineer
of central research laboratory,
Navoi Mining and Metallurgical Factory,
27, Navoi St., Navoi, 210100,
Republic of Uzbekistan,
✉ e-mail: AM.Muzafarov@ngmk.uz

Rashid A. Kulmatov,

Doctor of Sci. (Chemistry),
Professor of the Department of Ecology,
National University of Uzbekistan,
4 Universitetskaya St., Tashkent, 100174,
Republic of Uzbekistan.
e-mail: rashidkulmatov46@mail.com

Gulchekhra M. Allaberganova,

Lecturer, Department of Physics,
Navoi State Mining institute,
27 A, Galab St., 210100, Navoi,
Republic of Uzbekistan.

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Поступила в редакцию 15.10.2020.
Поступила после рецензирования и доработки 25.11.2020.
Принята к публикации 30.11.2020.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests.

All authors have read and approved the final manuscript.

Receive 15.10.2020.
Revised 25.11.2020.
Accepted 30.11.2020.