

Муратова Мира Муратовна – ведущий инженер лаборатории ГИС-технологий и ДЗЗ, «Институт гидрогеологии и геоэкологии им У.М. Ахмедсафина, Satbayev University», Республика Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Валиханова 94, тел.: 87272914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Оңласынов Жұлдызбек Әлиханұлы\* – гидрогеология және инженерлік геология ғылымдарының докторы (PhD), ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының меңгерушісі, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты, Сәтбаев университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru.

Людмила Валентиновна Шагарова – техника ғылымдарының кандидаты, RosHydroGeo мүшесі, Омбы ғылыми орталығының Радиофизика және физикалық электроника институтының кіші ғылыми қызметкері, Ресей ғылым академиясының Сібір бөлімшесі, Ресей Федерациясы, 644024, Омск, Карл Маркс даңғ, 15, тел. 4662, тел.: 37-17-36, e-mail: igg\_gis-dzz@mail.ru.

Абсаметов Мәліс Құдысұлы – геология-минералогия ғылымдарының докторы, профессор, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институтының директоры, Сәтбаев университеті», Қазақстан Республикасы, 050010, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 87272911862, e-mail: igg.info@mail.ru.

Муратова Мира Мұратқызы – ГАЖ технологиялары және қашықтықтан зондтау зертханасының жетекші инженері, «Ұ.М. Ахмедсафин атындағы Гидрогеология және геоэкология институты Ахмедсафина, Сәтбаев университеті», 050010, Қазақстан Республикасы, Алматы қ., Уәлиханов көш. 94, тел.: 87272914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

Onlassynov Zhuldyzbek Alikhanuly\* – PhD, Head of the Laboratory of GIS Technologies and Remote Sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 87716217511, e-mail: zhuldyzbek.onlasynov@mail.ru.

Shagarova Lyudmila Valentinovna – Candidate of Technical Sciences, Member of RosHydroGeo, Junior Researcher, Institute of Radiophysics and Physical Electronics, Omsk Scientific Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation, 644024, Omsk, 15 Karl Marx Ave., tel.: +7 (3812) 37-17-36, e-mail: igg\_gis-dzz@mail.ru.

Absametov Malis Kudyssovich – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Director, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, Republic of Kazakhstan, 050010, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: +7(727) 291-18-62, e-mail: igg.info@mail.ru.

Muratova Mira Muratovna – Leading Engineer, Laboratory of GIS technologies and Earth remote sensing, Akhmedsafin Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience, Satbayev University, 050010, Republic of Kazakhstan, Almaty, 94 Valikhanov Str., tel.: 87272914686, e-mail: doc-mira@mail.ru.

МРНТИ 68.05.43

УДК 631.438.2

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621188>

## РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА И УРОВНИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА КОСТАНАЙСКОЙ ОБЛАСТИ

Рахимбаев Б.С. – доктор технических наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Жумалынов К.А. \* – докторант ОП «8D05101 – Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Казбекова К.А. – магистр педагогических наук по ОП «7M01503 – Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Лянга П.Ю. – магистрант ОП «7M05101 – Биология», НАО Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», г. Костанай, Республика Казахстан.

Актуальность исследования обусловлена отсутствием информации об уровнях естественных и техногенных радионуклидов в почвах Костанайской области. В регионе расположены крупные месторождения полезных ископаемых, а также Костанайская область является одним из главных зернопроизводящих районов Казахстана. Двойное техногенное давление создает условия, благоприятные для перераспределения и потенциальному накоплению как естественных, так и техногенных радионуклидов в почвенном покрове. Измерение радионуклидов проводили на гамма-радиометре РКГ-АТ 1320С. Определялась удельная активность радионуклидов  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ . В результате исследования установлено, что средние значения удельной активности  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  находятся в пределах или ниже среднемировых значений (НҚДАР ООН), а все значения Аэфф

соответствуют I классу радиационной безопасности (НРБ-99). Данные свидетельствуют о благоприятной радиационной обстановке и низком уровне потенциального риска. Содержание техногенного  $^{137}\text{Cs}$ , за исключением единичных аномалий, не превышает нормативных значений. Выявленные локальные особенности: повышенное содержание  $^{40}\text{K}$  в нижних горизонтах площадки Юбилейное, аномалия  $^{226}\text{Ra}$  на площадке Московский, нетипичное глубинное распределение  $^{137}\text{Cs}$  на площадке Аманқарағай, представляют научный интерес и требуют дополнительных исследований для установления их происхождения. Рекомендуется проведение периодического мониторинга на участках с выявленными аномалиями, а также расширение исследований на территориях, прилегающих к горнодобывающим объектам региона. Полученные данные составляют первую систематическую радиозэкологическую базу для сельскохозяйственных почв Костанайской области и могут быть использованы в качестве референтных значений при разработке региональных программ радиозэкологического мониторинга.

**Ключевые слова:** радионуклиды, радиационная безопасность, гамма-излучение, радиозэкологическая оценка.

### ҚОСТАНАЙ ОБЛЫСЫНЫҢ ТОПЫРАҚ ЖАМЫЛҒЫСЫНЫҢ РАДИОЭКОЛОГИЯЛЫҚ БАҒАСЫ ЖӘНЕ ГАММА-СӘУЛЕЛЕНУ ДЕҢГЕЙЛЕРІ

Рахимбаев Б.С. – техника ғылымдарының докторы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Жумалынов К.А.\* – «8D05101 – Биология» ББ бағдарламасының докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Казбекова К.А. – «7M01503 Химия» ББ бағдарламасы бойынша педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Лянга П.Ю. – «7M05101 – Биология» ББ бағдарламасының магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.

Зерттеудің өзектілігі Қостанай облысының топырақ жамылғысындағы табиғи және техногендік радионуклидтердің деңгейі туралы ақпараттың тапшылығымен айқындалады. Өңірде ірі пайдалы қазба кен орындары орналасқан, сонымен қатар Қостанай облысы Қазақстанның негізгі астық өндіруші аудандарының бірі болып табылады. Мұндай қосарланған техногендік қысым топырақ қабатында табиғи және техногендік радионуклидтердің қайта бөлінуі мен жинақталуына қолайлы жағдай туғызады. Радионуклидтерді өлшеу РКГ-АТ 1320С гамма-радиометрінде жүргізілді. Зерттеу барысында  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$  радионуклидтерінің меншікті белсенділігі анықталды. Зерттеу нәтижесінде  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  және  $^{232}\text{Th}$  меншікті белсенділігінің орташа мәндері өлемдік орташа мәндер (БҰҰ АРӨҒК) шегінде немесе одан төмен екендігі, ал барлық  $A_{\text{түім}}$  (түімді меншікті белсенділік) мәндері радиациялық қауіпсіздіктің I класына (РҚН-99) сәйкес келетіндігі анықталды. Алынған мәліметтер қолайлы радиациялық жағдайды және әлеуетті тәуекелдің төмен деңгейін көрсетеді. Техногендік  $^{137}\text{Cs}$  мөлшері, жекелеген аномалияларды қоспағанда, нормативтік мәндерден аспайды. Анықталған локальді ерекшеліктер: «Юбилейное» алаңының төменгі горизонттарындағы  $^{40}\text{K}$  жоғары мөлшері, «Московский» алаңындағы  $^{226}\text{Ra}$  аномалиясы және «Аманқарағай» алаңындағы  $^{137}\text{Cs}$  тереңдік бойынша әдеттен тыс таралуы, ғылыми қызығушылық тудырады және олардың шығу тегін анықтау үшін қосымша зерттеулерді талап етеді. Аномалиялар анықталған учаскелерде мерзімді мониторинг жүргізу, сондай-ақ зерттеу аясын өңірдегі тау-кен нысандарына іргелес аумақтарда кеңейту ұсынылады. Алынған деректер Қостанай облысының ауыл шаруашылығы топырақтары үшін алғашқы жүйелі радиозэкологиялық базаны құрайды және өңірлік радиозэкологиялық мониторинг бағдарламаларын әзірлеу кезінде референттік мәндер ретінде пайдаланылуы мүмкін.

**Түйінді сөздер:** Радионуклидтер, радиациялық қауіпсіздік, гамма сәулеленуі, радиозэкологиялық бағалау.

### RADIOECOLOGICAL ASSESSMENT AND GAMMA RADIATION LEVELS OF THE SOIL COVER IN KOSTANAY REGION

Rakhimbayev B.S. – Doctor of Technical Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Zhumalynov K.A.\* – PhD student, “8D05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Kazbekova K.A. – Master of Pedagogical Sciences, “7M01503 – Chemistry” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

Lyanga P.Yu. – Master’s student, “7M05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Kostanay, Republic of Kazakhstan.

*The relevance of this study is driven by the lack of comprehensive data regarding the levels of natural and anthropogenic radionuclides in the soils of the Kostanay region. This region is characterized by significant mineral deposits and serves as one of Kazakhstan's primary grain-producing areas. Such dual anthropogenic pressure facilitates the redistribution and potential accumulation of both naturally occurring radioactive materials and technogenic radionuclides within the soil cover. Radionuclide measurements were conducted using a gamma-radiometer (RKG-AT 1320C). The specific activities of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , and  $^{134}\text{Cs}$  were determined. The study established that the mean specific activities of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ , and  $^{232}\text{Th}$  are within or below the global average values reported by UNSCEAR. Furthermore, all calculated values for the effective specific activity ( $A_{\text{eff}}$ ) comply with Class I radiation safety standards (NRB-99). These findings indicate a favorable radiological environment and a low level of potential risk. The concentrations of technogenic  $^{137}\text{Cs}$ , with the exception of isolated anomalies, do not exceed regulatory limits. Specific localized features: including elevated  $^{40}\text{K}$  levels in the lower horizons of the Yubileinoe site, a  $^{226}\text{Ra}$  anomaly at the Moskovsky site, and the atypical deep-seated distribution of  $^{137}\text{Cs}$  at the Amankaragay site, are of significant scientific interest and necessitate further investigation to determine their genesis. It is recommended to implement periodic monitoring at sites with identified anomalies and to expand research efforts to territories adjacent to the region's mining facilities. The data obtained constitute the first systematic radioecological database for agricultural soils in the Kostanay region and may serve as reference values for the development of regional radioecological monitoring programs.*

**Key words:** radionuclides, radiation safety, gamma radiation, radioecological assessment.

**Введение.** Земная поверхность постоянно подвергается ионизирующему излучению, из природных и техногенных источников. Основной вклад в фоновое излучение вносят радиоактивные материалы почв, горных пород и отложений [1, с.10], причём на долю  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и продуктов их распада приходится порядка 80% наземного излучения [2, с.320; 3, с.597; 4, с.78]. Согласно данным Научного комитета, средняя годовая доза облучения от природных источников составляет 2,4 мЗв на человека, из которых около 0,48 мЗв (20%) наземное гамма-излучение [1, с.11; 5, с.217]. Однако значения изменяются в зависимости от геологии, типа почв, географического положения и характера антропогенной нагрузки [6, с.308; 7, с.312].

В регионах, где ведётся интенсивная горная добыча, переработка руд или масштабное земледелие, естественное радиологическое равновесие почв нарушается. Горные работы поднимают на поверхность глубинные породы, обогащённые ураном и торием, перераспределяя радионуклиды в биосферу [6, с.312; 8, с.194]. Сходный эффект даёт систематическое применение фосфатных удобрений, которые повышают концентрации  $^{226}\text{Ra}$  в пахотных почвах [9, с.4; 10, с.6; 11, с.135]. В регионах, испытывающих подобную двойную техногенную нагрузку, радиозэкологический мониторинг почв становится необходимым для оценки экологических рисков и защиты здоровья населения.

Превышение фоновых концентраций обусловлено антропогенными факторами. Основные факторы перераспределения радионуклидов в районах с развитым горнодобывающим сектором: физическое нарушение, перемещение вскрышных пород и отходов, обогащенные природными радионуклидами; распространение радиоактивной от открытых разработок, обогатительных фабрик и хвостохранилищ [8, с.194; 15, с.15-16]. В Казахстане десятилетия интенсивной добычи урана оставили значительные радиологические последствия. Были выявлены повышенные концентрации  $^{226}\text{Ra}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвах вблизи выведенных из эксплуатации рудников Северо-Казахстанской области [16, с.50]. На бывшем предприятии по переработке тория в Усть-Каменогорске зафиксированы дозы до 1,00 мкЗв/ч, что значительно выше регионального фона 0,16-0,18 мкЗв/ч, а активность альфа-излучателей в поверхностном слое достигала 583-5275 Бк/кг [17, с. 24].

Сельское хозяйство – ещё один значимый путь поступления радионуклидов в почву. Фосфатные удобрения естественным образом обогащены нуклидами уранового ряда и при систематическом внесении повышают содержание  $^{226}\text{Ra}$  в пахотных землях [11, с.135; 18, с.436]. Было выявлено, что калийные и суперфосфатные удобрения, применяемые для компенсации дефицита азота, фосфора и калия, содержат повышенные концентрации радионуклидов и со временем загрязняют сельскохозяйственные угодья [19, с.11].

За последнее десятилетие накоплен обширный массив сравнительных данных по естественной радиоактивности почв. Среднемировые удельные активности составляют 33, 45 и 420 Бк/кг для  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{40}\text{K}$  соответственно (диапазоны: 12-120, 7-50 и 100-1200 Бк/кг), а средняя поглощённая доза наземного гамма-излучения – около 55-59 нГр/ч [1, с.120-121].

Было обнаружено, что при формально безопасных индексах опасности (<1) показатели поглощённой дозы, годовой эффективной дозы и ELCR заметно превышали среднемировые значения [19, с.11], что является важным напоминанием о необходимости региональных исследований даже при номинально безопасных индексах.

Особое значение для данной работы имеют степные и лесостепные биомы Евразии. Была зафиксирована двукратная изменчивость эквивалентной дозы (29-72 нЗв/ч) на участках вблизи Белорусской АЭС [14, с.496, 499]. Концентрации  $^{40}\text{K}$  на лугах составляли 284-663 Бк/кг (среднее  $\approx$ 480 Бк/кг). Эти данные из сходных биоклиматических условий служат полезной основой для интерпретации результатов по Костанайской области Казахстана, занимающей аналогичные ландшафты.

Также было выявлено, что физические свойства почвенной матрицы (плотность, влажность и толщина слоя) существенно влияют на мощность внешней дозы на поверхности почвы [20, с.70]. Это подчеркивает важность учета типа почвы при интерпретации полевых дозиметрических данных, что особенно актуально для Костанайской области, где распространены черноземы, темно-каштановые почвы и солонцовые комплексы.

Казахстан занимает уникальное положение в мировой радиоэкологии по трем факторам: статусу ведущего мирового производителя урана (около 30% мировых запасов урана), последствия масштабных испытаний ядерного оружия на Семипалатинском ядерном полигоне (СИЯП) и активной горнодобывающей и металлургической промышленности [16, с.50; 21, с.19].

Радиологические последствия СИЯП, где было проведено 456 ядерных испытаний (включая 116 атмосферных испытаний), были подробно изучены [1, с.180; 13, с.682]. Среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в обширных районах вокруг СИЯП составляло 3500 Бк/м<sup>2</sup> (2000 г.), в несколько десятков раз выше, чем в Японии [1, с.180; 13, с.673]. Составленная карта распределения  $^{137}\text{Cs}$  в приграничном регионе Казахстана и Китая выявила сильное загрязнение вдоль траекторий радиоактивных осадков от взрывов СИЯП [12, с.540].

Хотя Семипалатинский полигон расположен в северо-восточной части Казахстана, далеко от Костанайской области, нельзя исключить перенос радионуклидов на большие расстояния, что следует учитывать при оценке регионального радиологического фона. Более актуальными являются исследования последствий добычи урана в Северном Казахстане. Выявлены аномальные зоны с повышенным содержанием  $^{226}\text{Ra}$  в почве, что свидетельствует о сохраняющемся радиологическом воздействии горнодобычи спустя десятилетия после прекращения работ [16, с.50]. Обнаружены повышенные дозы гамма-излучения, связанные с заброшенными радиоактивными фильтрующими материалами и отходами [22, с.11].

Радиоэкологическое исследование районов добычи урана и соседних населенных пунктов в Северном Казахстане способствовало созданию первоначальной базы данных распределения радионуклидов в почвах и воде [23, с.63]. Установлено, что глубокие слои почвы (ниже 60 см) содержат значительно более высокие концентрации радионуклидов, чем поверхностные слои, что указывает на вертикальную миграцию техногенных отходов, а рассчитанные индексы радиологической опасности показывают повышение риска развития рака в течение жизни для местного населения [17, с.24]. Эти результаты в совокупности иллюстрируют неоднородный и часто специфичный для отдельных участков характер радиологического загрязнения по всему Казахстану, подчеркивая необходимость локализованных оценок.

Костанайская область, расположенная на северо-западе Казахстана на стыке Тургайской низменности и Зауральского плато, сочетает в себе факторы, требующие целенаправленного радиоэкологического изучения. В регионе сосредоточены крупные месторождения железной руды (Рудное, Качарское), бокситов и асбеста, разработка которых сопровождается образованием значительных объемов вскрышных пород и пылевых выбросов. Одновременно область является одним из ведущих зернопроизводящих регионов страны, где интенсивное земледелие предполагает систематическое внесение минеральных, в том числе фосфатных, удобрений. Такое двойное техногенное давление, горнодобыча и сельское хозяйство создаёт условия для перераспределения и потенциального накопления природных и антропогенных радионуклидов в почвенном покрове.

Несмотря на обширную мировую базу данных по радиоактивности почв в агропромышленных и горнодобывающих регионах и значительный объём казахстанских исследований радиологического наследия урановой добычи и ядерных испытаний, данные по Костанайской области остаются фрагментарными. Результаты из других частей страны нельзя напрямую перенести на этот регион ввиду принципиальных различий в геологии, типе добываемого сырья (железная руда и бокситы, а не уран и торий), интенсивности земледелия и почвенных условиях. До настоящего времени не опубликовано систематических данных по удельной активности  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в сельскохозяйственных почвах области. Этот пробел затрудняет надёжную оценку радиологических рисков для населения и сельхозпродукции одного из ключевых экономических регионов Казахстана.

**Цель исследования:** восполнение пробела путем инструментального определения удельной активности радионуклидов и расчета показателей радиационной безопасности для сельскохозяйственных почв Костанайской области.

**Задачи:**

1. Провести обзор литературных данных по радиоактивности почв в агропромышленных и горнодобывающих регионах.

2. Определить удельную активность  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в почвах по генетическим горизонтам и рассчитать показатели радиационной безопасности (Аэфф). Сравнить результаты со среднемировыми значениями НКДАР ООН и нормативами НРБ-99.

**Объекты и методы исследования.** Объектом исследования были 37 почвенных образцов, с 6 опорных площадок (Федоровка, Московский, Рудный, Новонезинка, Аманкарагай, Юбилейное) Костанайской области. При отборе проб почвы соблюдались государственные стандарты (ГОСТ 17.4.4.02-84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического,

гельминтологического анализа»). Пробы отбирались послойно с учетом морфологических особенностей почвенного профиля. На каждой опорной площадке отбирались индивидуальные пробы, соответствующие выделенным генетическим горизонтам.

Измерение радионуклидов проводили на гамма-радиометре РКГ-АТ 1320С. Определение удельной активности проводилось методом гамма-радиометрии фиксацией гамма-излучения естественных и техногенных изотопов. Подготовленный почвенный образец (предварительно высушенный при температуре ≤ 105°С, измельченный и просеянный через сито не больше 1 мм) поместили в мерный сосуд Маринелли объемом 1л, что позволяет обеспечить воспроизводимость геометрии измерений. Прибор регистрирует гамма-кванты <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs, <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, составляя энергетический спектр, что позволяет определить тип радионуклида и его активность.

Эффективная удельная активность (Аэфф) рассчитывалась для каждой пробы по формуле 1, установленной НРБ-99.

$$A_{эфф} = A(^{226}\text{Ra}) + 1,31 \cdot A(^{232}\text{Th}) + 0,085 \cdot A(^{40}\text{K}) \quad (1)$$

где, A(<sup>226</sup>Ra), A(<sup>232</sup>Th) и A(<sup>40</sup>K) – удельные активности (УА) соответствующих радионуклидов в пробе (Бк/кг). Коэффициенты 1,31 и 0,085 учитывают биологическую опасность излучения <sup>232</sup>Th и <sup>40</sup>K относительно <sup>226</sup>Ra. Не определенные УА приравнивались к нулю.

Максимальное Аэфф – максимальное значение Аэфф среди всех проб (горизонтов) данной площадки.

**Результаты и обсуждения.** В результате исследования методом полупроводниковой гамма-спектрометрии были определены удельные активности <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>137</sup>Cs, <sup>134</sup>Cs отобранных в 37 почвенных образцах, с 6 опорных площадок Костанайской области. Площадки были выбраны таким образом, чтобы охватить основные типы почв и ландшафтов региона: от чернозёмных массивов до солонцовых комплексов. Результаты исследования позволяют составить первичную радиоэкологическую характеристику почвенного покрова территории и оценить его соответствие действующим нормативам радиационной безопасности.

Таблица 1 – Удельная активность радионуклидов в почвах по генетическим горизонтам

Площадка	Проба	Горизонт	Глубина, см	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>232</sup> Th	<sup>137</sup> Cs	<sup>134</sup> Cs	Аэфф	Класс НРБ
Рудный	РУ-1	Ap'	0-5	376	н/о	н/о	28.80	н/о	32.0	I
Рудный	РУ-2	Ap''	5-25	299	10.5	17.2	3.00	н/о	58.4	I
Рудный	РУ-3	AB	25-42	266	10.5	15.7	4.41	н/о	53.7	I
Рудный	РУ-4	AB_Ca	42-73	446	19.4	24.4	0.00	0.62	89.3	I
Рудный	РУ-5	B_Ca	73-83	413	25.8	26.0	0.00	0.00	95.0	I
Рудный	РУ-6	BC_Ca	83-122	520	н/о	н/о	38.30	н/о	44.2	I
Аманкарагай	АМК-1	O	0-4	187	15.9	10.0	0.00	н/о	44.9	I
Аманкарагай	АМК-2	A	4-29	212	н/о	н/о	8.90	7.80	18.0	I
Аманкарагай	АМК-3	AB	29-46	272	н/о	н/о	27.40	н/о	23.1	I
Аманкарагай	АМК-4	B	46-80	361	н/о	н/о	117.00	н/о	30.7	I
Аманкарагай	АМК-5	—	0-5	165	10.8	10.4	0.00	н/о	38.4	I
Аманкарагай	АМК-6	—	0-10	236	н/о	н/о	18.80	н/о	20.1	I
Аманкарагай	АМК-7	—	0-10	172	9.8	12.2	0.00	0.00	40.4	I
Юбилейное	ЮБ-1	Ad	0-14	470	н/о	н/о	28.60	0.00	40.0	I
Юбилейное	ЮБ-2	A	14-39	430	н/о	н/о	23.30	0.00	36.6	I
Юбилейное	ЮБ-3	AC	39-65	458	н/о	н/о	24.30	0.00	38.9	I
Юбилейное	ЮБ-4	[A]	65-120	687	н/о	н/о	48.80	0.00	58.4	I
Юбилейное	ЮБ-5	[ACg]	120-130	466	н/о	н/о	36.10	0.00	39.6	I
Новонежинка	НО-1	Ap	0-20	370	н/о	н/о	12.00	19.40	31.5	I
Новонежинка	НО-2	A_Ca	20-39	394	н/о	н/о	46.50	0.00	33.5	I
Новонежинка	НО-3	AB_Ca	39-63	443	н/о	н/о	50.90	0.00	37.7	I
Новонежинка	НО-4	B_Ca	63-104	274	32.1	39.4	0.00	0.00	107.0	I
Новонежинка	НО-5	BC_CaCs	104-110	309	40.7	49.3	0.02	н/о	131.5	I

Продолжение таблицы 1

Новонежинка	НО-6	—	0-10	158	21.5	30.5	0.11	0.85	74.9	I
Московский	МСК-1	Ар'	0-5	342	174.0	30.1	2.84	н/о	242.5	I
Московский	МСК-2	Ар''	5-30	332	15.1	33.5	2.75	н/о	87.2	I
Московский	МСК-3	A	30-43	320	17.2	32.7	0.00	н/о	87.2	I
Московский	МСК-4	AB	43-70	322	20.6	35.0	0.00	н/о	93.8	I
Московский	МСК-5	B	70-106	296	22.9	30.2	0.00	0.10	87.6	I
Московский	МСК-6	BC_Ca	106-120	359	25.9	31.1	2.28	н/о	97.2	I
Московский	МСК-7	C_Ca	120-130	328	18.9	27.8	1.49	н/о	83.2	I
Фёдоровка	ФЕ-1	Ad	0-11	559	н/о	н/о	41.20	н/о	47.5	I
Фёдоровка	ФЕ-2	A	11-29	408	19.9	28.5	0.00	0.00	91.9	I
Фёдоровка	ФЕ-3	AB(Sn)	29-43	535	н/о	н/о	43.20	н/о	45.5	I
Фёдоровка	ФЕ-4	AB_Ca	43-53	352	21.1	26.2	0.00	н/о	85.3	I
Фёдоровка	ФЕ-5	B_Ca	53-75	337	20.2	25.7	0.00	н/о	82.5	I
Фёдоровка	ФЕ-6	BC_CaCs	75-85	384	23.3	28.6	0.00	н/о	93.4	I

В целом полученные данные свидетельствуют о том, что радиационная обстановка на исследованных территориях является благоприятной: все площадки соответствуют I классу по НРБ-99 (Аэфф  $\leq 370$  Бк/кг), а средние удельные активности основных природных радионуклидов находятся в пределах или ниже среднемировых значений НКДАР ООН.

Таблица 2 – Сводная статистика и оценка радиационной безопасности

Площадка	$^{40}\text{K}$ (M $\pm\sigma$ )	$^{226}\text{Ra}$ (M $\pm\sigma$ )	$^{232}\text{Th}$ (M $\pm\sigma$ )	$^{137}\text{Cs}$ (M $\pm\sigma$ )	Аэфф (M $\pm\sigma$ )	Аэфф (макс)	Класс НРБ
Рудный	387 $\pm$ 94	16.6 $\pm$ 7.5	20.8 $\pm$ 5.1	12.4 $\pm$ 16.7	62 $\pm$ 25	95	I класс
Аманкарагай	229 $\pm$ 69	12.2 $\pm$ 3.3	10.9 $\pm$ 1.2	24.6 $\pm$ 42.1	31 $\pm$ 11	45	I класс
Юбилейное	502 $\pm$ 104	нет данных	нет данных	32.2 $\pm$ 10.6	43 $\pm$ 9	58	I класс
Новонежинка	325 $\pm$ 101	31.4 $\pm$ 9.6	39.7 $\pm$ 9.4	18.3 $\pm$ 24.1	69 $\pm$ 43	132	I класс
Московский	328 $\pm$ 20	42.1 $\pm$ 58.3	31.5 $\pm$ 2.4	1.3 $\pm$ 1.3	111 $\pm$ 58	243	I класс
Фёдоровка	429 $\pm$ 95	21.1 $\pm$ 1.5	27.2 $\pm$ 1.5	14.1 $\pm$ 21.8	74 $\pm$ 22	93	I класс
<b>НКДАР ООН/НРБ</b>	<b>400</b>	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>370</b>	<b>370</b>	<b>Норматив</b>

Средние удельные активности  $^{40}\text{K}$  варьировали от 229  $\pm$  69 Бк/кг (Аманкарагай) до 502  $\pm$  104 Бк/кг (Юбилейное), при среднемировом эталоне 400 Бк/кг. Площадки Юбилейное (502 Бк/кг) и Федоровка (429 Бк/кг) превышают глобальный уровень, тогда как Аманкарагай и Новонежинка (325 Бк/кг) остаются заметно ниже уровня. Повышенные концентрации  $^{40}\text{K}$  на площадках Юбилейное и Федоровка, вероятно, отражают минералогический состав материнских пород или длительное систематическое внесение калийных удобрений, что согласуется с выводами Kaintura, S.S. и др. [19, с.11].

Содержание  $^{226}\text{Ra}$  в среднем составило от 12,2  $\pm$  3,3 Бк/кг (Аманкарагай) до 42,1  $\pm$  58,3 Бк/кг (Московский). Большинство площадок показали значения ниже среднемирового эталона (35 Бк/кг). Аномально высокое значение  $^{226}\text{Ra}$  в пробе МСК-1 (Ар' – 174 Бк/кг) превышает среднемировой уровень в 5 раз (Таб. 1). Концентрация  $^{226}\text{Ra}$  в верхнем, пахотном горизонте при её практическом отсутствии в материнских породах с высокой вероятностью указывает на экзогенный источник – прежде всего, систематическое внесение фосфатных удобрений [9, с.4; 11, с.135].

Удельная активность  $^{232}\text{Th}$  в среднем варьировала от нулевых значений (Юбилейное, где торий не обнаружен) до 39,7  $\pm$  9,4 Бк/кг (Новонежинка). Площадки Новонежинка и Московский заметно

превышают среднемировой эталон (30 Бк/кг), что может быть обусловлено геохимическими особенностями подстилающих пород Тургайской низменности и Зауральского плато.

Особый интерес представляет распределение техногенного <sup>137</sup>Cs. Среднее содержание <sup>137</sup>Cs по площадкам варьировало от 1,3 ± 1,3 Бк/кг (Московский) до 32,2 ± 10,6 Бк/кг (Юбилейное). Значение Аманкарагай варьировало от 24,6 ± 42,1 Бк/кг, а Юбилейное от 32,2 ± 10,6 Бк/кг.

Максимальное единичное значение <sup>137</sup>Cs зафиксировано в горизонте В (46–80 см) площадки Аманкарагай – 117 Бк/кг, что в 4,7 раза превышает среднемировые значения НКДАР ООН (Таб. 1). Присутствие <sup>137</sup>Cs в глубоком горизонте В, а не в поверхностных слоях, указывает на его вертикальную миграцию по почвенному профилю за десятилетия, прошедшие после выпадений. Данное наблюдение согласуется с результатами Mapakhov, D.V. и др. [20, с.70].

Источниками <sup>137</sup>Cs в почвах Костанайской области являются глобальные атмосферные осадки от ядерных испытаний середины XX века, возможно региональный перенос с территории СИАП. Хотя СИАП расположен более чем в 1000 км к востоку, Yamamoto, M. и др., и Imanaka, T. и др., задокументировали значительное распространение <sup>137</sup>Cs по траекториям радиоактивных осадков [12, с.540; 13, с.675]. Тем не менее зафиксированные уровни <sup>137</sup>Cs в Костанайской области значительно ниже, чем <37000 Бк/м<sup>2</sup>, установленные для районов, непосредственно прилегающих к полигону, что подтверждает преимущественно глобальный характер цезиевого загрязнения в данном регионе.

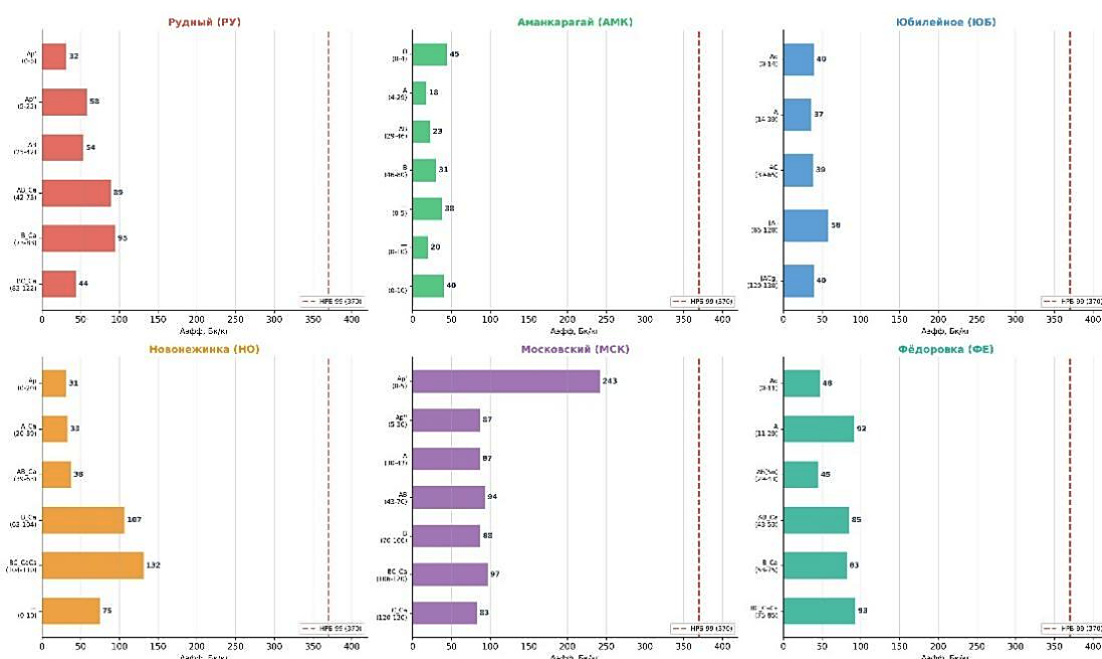


Рисунок 1 – Эффективная удельная активность (Аэфф) по генетическим горизонтам (сравнение с нормативом НРБ-99 (I класс ≤ 370 Бк/кг))

Значения Аэфф, рассчитанные по формуле  $A_{эфф} = A(^{226}\text{Ra}) + 1,31 \cdot A(^{232}\text{Th}) + 0,085 \cdot A(^{40}\text{K})$ , варьировали от 18,0 до 243 Бк/кг в индивидуальных пробах (Рис. 1), при средних по площадкам от 31 ± 11 Бк/кг (Аманкарагай) до 111 ± 58 Бк/кг (Московский) (Таб. 2). Все значения, включая максимальное (242,5 Бк/кг, проба МСК-1), находятся ниже порога I класса по НРБ-99 (370 Бк/кг), что означает: почвы всех исследованных площадок пригодны для любых видов использования без ограничений (Рис. 1).

Тем не менее внутри- и межплощадочная изменчивость Аэфф весьма значительна. Московский демонстрирует наивысшее среднее значение (111 ± 58 Бк/кг) (Таб. 2). Площадка Новонежинка также отличается высокими значениями Аэфф в нижних горизонтах (B<sub>Ca</sub> – 107 Бк/кг, BC<sub>CaCs</sub> – 132 Бк/кг), что обусловлено повышенным содержанием <sup>232</sup>Th в материнской породе (Рис. 1).

Распределение Аэфф по почвенному профилю выявляет две контрастные модели. На площадках Рудный и Фёдоровка Аэфф увеличивается от верхних горизонтов к средним (максимум в горизонтах AB<sub>Ca</sub> и B<sub>Ca</sub>), а затем снижается к материнской породе – типичная для ненарушенных почв картина, определяемая геохимическим перераспределением природных радионуклидов. Напротив, на площадке Московский максимум Аэфф приходится на самый верхний горизонт (242,5 Бк/кг), что дополнительно подтверждает антропогенное происхождение аномалии (Таб. 1).

Обобщённый анализ сводной статистики позволяет провести оценку радиационной безопасности почв Костанайской области. В качестве интегрального показателя была использована эффективная удельная активность (Аэфф), которая учитывает вклад природных радионуклидов с весовыми коэффициентами. Несмотря на отсутствие нормативных значений Аэфф для почв в НРБ-99, показатель применим в качестве сравнительного критерия радиационной опасности.

Все значения Аэфф не превышают 370 Бк/кг, соответствуют безопасному уровню, принятому для строительных материалов, и могут рассматриваться как индикатор низкой радиационной опасности исследуемых почв.

Наиболее информативным с точки зрения оценки «запаса безопасности» является показатель максимального Аэфф (Аэфф макс) для каждой площадки. Максимальные значения составили: Аманкарагай – 45 Бк/кг, Юбилейное – 58 Бк/кг, Федоровка – 93 Бк/кг, Рудный – 95 Бк/кг, Новонежинка – 132 Бк/кг, Московский – 243 Бк/кг. Даже наихудшее единичное значение – 243 Бк/кг – составляет лишь 66% от порога I класса, что обеспечивает значительный запас безопасности (Таб. 2).

Присвоение I класса НРБ-99 всем шести площадкам означает, что исследованные почвы пригодны для любых видов использования, включая жилищное строительство и сельскохозяйственное производство, без каких-либо ограничений. Это практически значимый результат для Костанайской области – одного из ведущих зернопроизводящих регионов Казахстана.

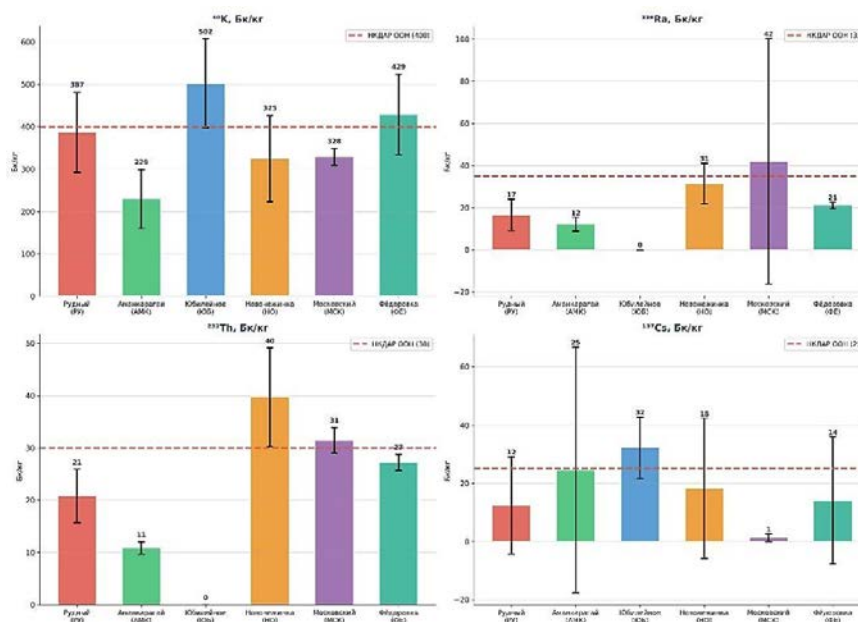


Рисунок 2 – Сравнение средних удельных активностей с эталонами НКДАР ООН

Сопоставление средних удельных активностей радионуклидов по шести площадкам со среднемировыми значениями НКДАР ООН: <sup>40</sup>K = 400 Бк/кг, <sup>226</sup>Ra = 35 Бк/кг, <sup>232</sup>Th = 30 Бк/кг, <sup>137</sup>Cs = 25 Бк/кг, выявляет ряд закономерностей.

По <sup>40</sup>K наблюдается выраженная дифференциация площадок. На площадках Юбилейное и Федоровка наблюдается небольшое превышение. Рудный близок к эталону. Московский, Новонежинка занимают промежуточное положение. Аманкарагай выделяется существенно пониженным содержанием <sup>40</sup>K, что, вероятно, связано с механическим составом почв и особенностями растительного покрова лесного массива.

По <sup>226</sup>Ra картина принципиально иная. На площадке Московский наблюдается заметное превышение эталона. Этот результат целиком определяется единственной аномальной пробой МСК-1 с концентрацией <sup>226</sup>Ra = 174 Бк/кг в верхнем пахотном горизонте Ap<sup>1</sup>, что в 5 раз превышает среднемировой уровень (Таб. 1). Остальные пять площадок демонстрируют пониженное содержание. Концентрация <sup>226</sup>Ra исключительно в верхнем пахотном горизонте при практическом отсутствии в нижележащих слоях однозначно указывает на экзогенный антропогенный источник – наиболее вероятно систематическое внесение фосфатных удобрений [9, с.4; 11, с.135].

По <sup>232</sup>Th площадки четко разделяются на две группы. Новонежинка и Московский превышают эталон. Рудный и Федоровка находятся ниже эталона, а Юбилейное отличается полным отсутствием тория. Повышенное содержание <sup>232</sup>Th в Новонежинке может быть связано с геохимическими особенностями пород Тургайской низменности, содержащих глинистые минералы, обогащенные торием.

По техногенному <sup>137</sup>Cs выявлена наиболее контрастная картина. Среднее содержание варьирует от 1,3 ± 1,3 Бк/кг (Московский) до 32,2 ± 10,6 Бк/кг (Юбилейное). Площадка Юбилейное стабильно превышает среднемировой эталон, а Аманкарагай находится на его границе. Остальные площадки находятся существенно ниже эталона.

**Закключение.** Проведенный гамма-спектрометрический анализ 37 почвенных образцов с 6 площадок Костанайской области показал, что все значения Аэфф соответствуют I классу радиационной безопасности (НРБ-99), что свидетельствует о благоприятной радиационной обстановке и низком уровне потенциального риска.

С практической точки зрения результаты исследования позволяют сделать несколько важных выводов:

1) почвы всех шести обследованных площадок Костанайской области безопасны для сельскохозяйственного использования и не требуют ограничительных мер;

2) выявленная точечная аномалия  $^{226}\text{Ra}$  на площадке Московский указывает на необходимость включения радиологического контроля в систему агрохимического мониторинга при интенсивном применении фосфатных удобрений;

3) обнаруженная вертикальная миграция  $^{137}\text{Cs}$  до горизонта В (46-80 см) на площадке Аманкарагай, имеет значение для оценки глубины корневого захвата радионуклидов и потенциального перехода в пищевую цепь по пути почва → растение → потребление, описанному Mohamed, A.T. и др. [23]. Для уточнения данного вопроса целесообразно провести дополнительные исследования перехода радионуклидов из почвы в сельскохозяйственные растения;

4) повышенное содержание  $^{40}\text{K}$  в нижних горизонтах площадки Юбилейное, требует дополнительных исследований для установления происхождения.

Настоящее исследование формирует первую базу радионуклидного состава сельскохозяйственных почв Костанайской области, которая может быть отправной точкой для долгосрочного мониторинга. Систематические данные о начальных уровнях  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  и  $^{137}\text{Cs}$  позволят в дальнейшем выявлять динамику накопления, выноса радионуклидов и своевременно фиксировать изменения радиационной обстановки в одном из ключевых зернопроизводящих регионов Казахстана.

Тем не менее, рекомендуется организация периодического мониторинга на участках с выявленными аномалиями, а также расширение исследований на территориях, прилегающих к горнодобывающим объектам региона.

**Благодарности:** Научные исследования выполнялись в рамках грантового программно-целевого финансирования исследований ученых по проекту на 2024-2026 годы по теме BR24992839 «Исследование воздействия экотоксикантов и инновационных агротехнологий на сельскохозяйственные земли и продукцию Костанайской области».

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. **Sources and effects of ionizing radiation: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.** Report to the General Assembly, with Annexes [Text] / UNSCEAR. – New York: United Nations, 2000.

2. **Determination of radiobiological impact parameters in soil from sugarcane farmland cultivated with waste water in Jibiya, Katsina State, Nigeria** [Text] / M. Ndawashi [и др.] // Science Forum (Journal of Pure and Applied Sciences). – 2023. – Vol. 23. – P. 320-327.

3. **Background radiation level measurement using hand held dosimeter and gamma spectrometry in Ijebu-Ife, Ogun State Nigeria** [Text] / P. O. Olagbaju [и др.] // International Journal of Radiation Research. – 2021. – Vol. 19, № 3.

4. **Radionuclide concentrations and excess lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in tailing enriched soil around Maiganga coal mine, Northeast-Nigeria** [Text] / M. T. Kolo [и др.] // International Journal of Radiation Research. – 2017. – Vol. 15, № 1. – P. 71-80.

5. **Al-Khawlany A. H. Review on studies in natural background radiation** [Text] / A. H. Al-Khawlany, A. R. Khan, J. M. Pathan // Radiation Protection and Environment. – 2019. – [https://www.academia.edu/38358706/Review\\_on\\_studies\\_in\\_natural\\_background\\_radiation](https://www.academia.edu/38358706/Review_on_studies_in_natural_background_radiation) (Дата обращения 12 марта 2026г.).

6. **Sowole O. Radioactivity assessment of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in surface soil samples of Igbokoda, South-West Nigeria** [Text] / O. Sowole, J. Ogunjobi // Tanzania Journal of Science. – 2019. – Vol. 45, № 3. – P. 306-316.

7. **Natural radioactivity and the associated exposure due to gamma radiation depend primarily on soil type** [Text] / M. Belivermis [и др.] // Journal of Environmental Radioactivity. – 2009.

8. **Aluko T. J. Evaluation of naturally occurring radionuclides concentration and associated radiological health risks in agricultural soils from Iwerekere, Oyo State, Nigeria** [Text] / T. J. Aluko, P. O. Olagbaju, F. E. Ikuemonisan // Jewel Journal of Scientific Research. – 2025. – Vol. 10, № 2. – P. 181-196.

9. **Gamma analysis of agricultural soils in Jazan** [Text] / A. Azazi [и др.] // Journal of Hazardous Materials Advances. – 2025. – Vol. 18. -P. 100729.

10. **Alzubaidi G. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in agricultural and virgin soil in the State of Kedah, North of Malaysia** [Text] / G. Alzubaidi, F. B. Hamid, I. Abdul Rahman // Scientific World Journal. – 2016. – Vol. 2016. – P. 6178103.

11. **Jibiri N. N. Activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in brands of fertilisers used in Nigeria** [Text] / N. N. Jibiri, K. P. Fasae // Radiation Protection Dosimetry. – 2012. – Vol. 148, № 1. – P. 132-137.

12. **Current levels and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and Pu isotopes in soil on the Kazakhstan territory of the Kazakhstan-Chinese border** [Text] / M. Yamamoto [и др.] // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2004. – Vol. 261. – P. 533-545.

13. **Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk nuclear test site in Kazakhstan** [Text] / T. Imanaka [и др.] // *Radiation and Environmental Biophysics*. – 2010. – Vol. 49. – P. 673-684.
14. **Ambient dose equivalent rates of gamma radiation from natural radionuclides and  $^{137}\text{Cs}$  at grasslands and forests in the area of the Belarusian NPP in the pre-commissioning period (2019)** [Text] / V. Ramzaev [и др.] // *Radiation Protection Dosimetry*. – 2024. – Vol. 200, № 5. – P. 496-503.
15. **Assessment of natural radionuclide distribution pattern and radiological risk from rocks in Precambrian Oban Massif, Southeastern Nigeria** [Text] / E. E. Ekre [и др.] // *Minerals*. – 2022. – Vol. 12. – P. 312.
16. **Impact of uranium mining on radiation levels in Kazakhstan: a case study of two major provinces** [Text] [Text] / M. Bakhtin [и др.] // *Вестник Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилёва. Серия Физика. Астрономия*. – 2025. – № 2 (151). – С. 45-59.
17. **Evaluation of long-term environmental impact and radiological risks at a former thorium and rare earth site in North-Eastern Kazakhstan** [Text] / Z. Idrisheva [и др.] // *Sustainability*. – 2025. – Vol. 17. – P. 8569.
18. **Natural radioactivity levels and radiological hazards indices of chemical fertilizers commonly used in Upper Egypt** [Text] / M. A. M. Uosif [и др.] // *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*. – 2014.
19. **Gamma-spectroscopic assessment of radionuclides and radiological hazards in undisturbed and cultivated soils of Rupnagar, Punjab, India** [Text] / S. S. Kaintura [и др.] // *Nuclear Engineering and Technology*. – 2025.
20. **Почвы как компонент, определяющий ослабление дозовых нагрузок на биоту в условиях радиоактивного загрязнения** [Text] / Д. В. Манахов [и др.] // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2021. – № 3-4. – С. 69-74.
21. **Бойцов А. В. Развитие мировой урановой промышленности – вызовы времени** [Text] / А. В. Бойцов // *Уран: геология, ресурсы, производство: материалы V Международного симпозиума*. – 2021. – С. 11-22.
22. **Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia** [Text] / P. Stegnar [и др.] // *Journal of Environmental Radioactivity*. – 2012. – DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.12.005.
23. **Комплексное радиоэкологическое исследование территорий урановых рудников и близлежащих населённых пунктов Северного Казахстана** [Text] / П. Казымбет [и др.] // *Астана медициналық журналы*. – 2005. – № 3. – С. 61-65.

## REFERENCES:

1. **UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation.** Report to the General Assembly, with Annexes, New York, United Nations, 2000.
2. **Ndawashi M., et al. Determination of radiobiological impact parameters in soil from sugarcane farmland cultivated with waste water in Jibiya, Katsina State, Nigeria.** *Science Forum (Journal of Pure and Applied Sciences)*, 2023, vol. 23, pp. 320-327.
3. **Olagbaju P.O., et al. Background radiation level measurement using hand held dosimeter and gamma spectrometry in Ijebu-Ife, Ogun State Nigeria.** *International Journal of Radiation Research*, 2021, vol. 19, iss. 3.
4. **Kolo M.T., et al. Radionuclide concentrations and excess lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in tailing enriched soil around Maiganga coal mine, Northeast-Nigeria.** *International Journal of Radiation Research*, 2017, vol. 15, iss. 1, pp. 71-80.
5. **Al-Khawlanly A.H., Khan A.R., Pathan J.M. Review on studies in natural background radiation.** *Radiation Protection and Environment*, 2019. Available at: [https://www.academia.edu/38358706/Review\\_on\\_studies\\_in\\_natural\\_background\\_radiation](https://www.academia.edu/38358706/Review_on_studies_in_natural_background_radiation) (accessed 12 March 2026)
6. **Sowole O., Ogunjobi J. Radioactivity assessment of  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$  and  $^{232}\text{Th}$  in surface soil samples of Igbokoda, South-West Nigeria.** *Tanzania Journal of Science*, 2019, vol. 45, iss. 3, pp. 306-316.
7. **Belivermis M., et al. Natural radioactivity and the associated exposure due to gamma radiation depend primarily on soil type.** *Journal of Environmental Radioactivity*, 2009.
8. **Aluko T.J., Olagbaju P.O., Ikuemonisan F.E. Evaluation of naturally occurring radionuclides concentration and associated radiological health risks in agricultural soils from Iwerele, Oyo State, Nigeria.** *Jewel Journal of Scientific Research*, 2025, vol. 10, iss. 2, pp. 181-196.
9. **Azazi A., et al. Gamma analysis of agricultural soils in Jazan.** *Journal of Hazardous Materials Advances*, 2025, vol. 18, art. 100729.
10. **Alzubaidi G., Hamid F.B., Abdul Rahman I. Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in agricultural and virgin soil in the State of Kedah, North of Malaysia.** *Scientific World Journal*, 2016, vol. 2016, art. 6178103.
11. **Jibiri N.N., Fasae K.P. Activity concentrations of  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  and  $^{40}\text{K}$  in brands of fertilisers used in Nigeria.** *Radiation Protection Dosimetry*, 2012, vol. 148, iss. 1, pp. 132-137.

12. Yamamoto M., et al. **Current levels and distribution of  $^{137}\text{Cs}$  and Pu isotopes in soil on the Kazakhstan territory of the Kazakhstan-Chinese border.** *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2004, vol. 261, pp. 533-545.
13. Imanaka T., et al. **Reconstruction of local fallout composition and gamma-ray exposure in a village contaminated by the first USSR nuclear test in the Semipalatinsk nuclear test site in Kazakhstan.** *Radiation and Environmental Biophysics*, 2010, vol. 49, pp. 673-684.
14. Ramzaev V., et al. **Ambient dose equivalent rates of gamma radiation from natural radionuclides and  $^{137}\text{Cs}$  at grasslands and forests in the area of the Belarusian NPP in the pre-commissioning period (2019).** *Radiation Protection Dosimetry*, 2024, vol. 200, iss. 5, pp. 496-503.
15. Ekpe E.E., et al. **Assessment of natural radionuclide distribution pattern and radiological risk from rocks in Precambrian Oban Massif, Southeastern Nigeria.** *Minerals*, 2022, vol. 12, art. 312.
16. Bakhtin M., et al. **Impact of uranium mining on radiation levels in Kazakhstan: a case study of two major provinces.** *Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University. Physics. Astronomy Series*, 2025, iss. 2 (151), pp. 45-59.
17. Idrisheva Z., et al. **Evaluation of long-term environmental impact and radiological risks at a former thorium and rare earth site in North-Eastern Kazakhstan.** *Sustainability*, 2025, vol. 17, art. 8569.
18. Uosif M.A.M., et al. **Natural radioactivity levels and radiological hazards indices of chemical fertilizers commonly used in Upper Egypt.** *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 2014.
19. Kaintura S.S., et al. **Gamma-spectroscopic assessment of radionuclides and radiological hazards in undisturbed and cultivated soils of Rupnagar, Punjab, India.** *Nuclear Engineering and Technology*, 2025.
20. Manakhov D.V., et al. **Pochvy' kak komponent, opredelyayushhij oslablenie dozovy'h nagruzok na biotu v usloviyah radioaktivnogo zagryazneniya** [Soils as a component determining the weakening of dose loads on biota under radioactive contamination conditions]. *Problemy' agrohimii i e'kologii*, 2021, iss. 3-4, pp. 69-74. (In Russian)
21. **Bojcov A.V. Razvitie mirovoj uranovoj promy'shennosti – vy'zovy' vremeni** [Development of the global uranium industry – Challenges of the time]. *Materialy' Pyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma "Uran: geologiya, resursy', proizvodstvo"*, 2021, pp. 11-22. (In Russian)
22. **Stegnar P., et al. Assessment of the radiological impact of gamma and radon dose rates at former U mining sites in Central Asia.** *Journal of Environmental Radioactivity*, 2012. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2012.12.005.
23. **Kazymbet P., et al. Kompleksnoe radioe'kologicheskoe issledovanie territoriy' uranovy'h rudnikov i blizlezhashhih naselenny'h punktov Severnogo Kazahstana** [Comprehensive radioecological study of uranium mining areas and neighboring settlements in Northern Kazakhstan]. *Astana medicinalykh zhurnaly*, 2005, iss. 3, pp. 61-65. (In Russian)

#### Сведения об авторах:

Рахимбаев Берик Сағидоллаұлы – доктор технических наук, НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая, 28/1, тел.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Жумалынов Куаныш Ансаганович\* – докторант ОП «8D05101 – Биология», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая 28/1, тел.: 87072032523, e-mail: zhumalynov.k@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматовна – магистр педагогических наук по ОП «7M01503 – Химия», НАО «Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000 г. Костанай, пр. Абая 28/1, тел.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Лянга Пётр Юрьевич – магистрант ОП «7M05101 – Биология», НАО Костанайский региональный университет имени Ахмет Байтұрсынұлы», Республика Казахстан, 110000, г. Костанай, пр. Абая 28/1, тел.: 87714824866, e-mail: sadhgy19@gmail.com.

Рахимбаев Берік Сағидоллаұлы – техника ғылымдарының докторы, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ 28/1, тел.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.

Жумалынов Куаныш Ансаганович\* – «8D05101 – Биология» ББ бағдарламасының докторанты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28/1, тел.: 87072032523, e-mail: zhumalynov.k@mail.ru.

Казбекова Карина Азаматқызы – «7M01503 Химия» ББ бойынша педагогика ғылымдарының магистрі, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ, 28/1, тел.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.

Лянга Пётр Юрьевич – «7M05101 – Биология» ББ бағдарламасының магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті» КЕАҚ, Қазақстан Республикасы, 110000, Қостанай қ., Абай даңғ 28/1, тел.: 87714824866, e-mail: sadhgy19@gmail.com.

*Rakhimbayev Berik Sagidollauly – Doctor of Technical Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87019624939, e-mail: berikrakh@gmail.com.*

*Zhumalynov Kuanysh Ansaganovich\* – PhD student, “8D05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87072032523, e-mail: zhumalynov.k@mail.ru.*

*Kazbekova Karina Azamatovna – Master of Pedagogical Sciences, “7M01503 – Chemistry” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87054662710, e-mail: karina09081999@gmail.com.*

*Lyanga Pyotr Yuriyevich – Master’s student, “7M05101 – Biology” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University NLC, Republic of Kazakhstan, 110000, Kostanay, 28/1 Abai Ave., tel.: 87714824866, e-mail: sadhgy19@gmail.com.*

IRSTI 87.19.31:68.33.29

UDC 631.416.8:543.423

<https://doi.org/10.52269/SKVC2621199>

### ASSESSMENT OF HEAVY METAL CONTAMINATION OF THE AGRICULTURAL FIELDS IN THE KAMYSTY DISTRICT USING THE ICP-OES METHOD

*Rakhimbayev B.S. – Doctor of Technical Sciences, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

*Naurzbayev Zh.K. – Master of Engineering, Director of the Science and Technology Park, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

*Nurpeissov A.A.\* – Master of Engineering, Research Fellow, Research Institute of Innovative Technologies, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

*Nurseitova A.M. – Master's student, “7M05201 – Geoecology and Environmental Management” educational program, Akhmet Baitursynuly Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan.*

*This article focuses on assessing the content of heavy metals (HM) in the soils of agricultural lands in the Kamysty district of the Kostanay region, Republic of Kazakhstan. The relevance of this study stems from the fact that heavy metal contamination of arable land poses a long-term environmental threat due to their accumulation in the soil. The primary objective of the agrochemical survey was to obtain reliable data on the content of priority pollutants – Cd, Pb, As, Cr, Zn and Ni – in the soils of the agricultural lands adjacent to the Altynsarin village. The study focused primarily on the dark chestnut soils of the district, characteristic of the steppe zone of Northern Kazakhstan. Potential sources of heavy metal (HM) input included both anthropogenic factors – the systematic application of fertilizers, which is one of the main sources of HM accumulation in the arable horizon – and natural-technogenic factors: wind-borne transport of mine dust and weathering products from tailings ponds (in particular, the Krasnooktyabrsky Mine) over distances of up to 20–70 km. Background soil samples were collected in the area near the Altynsarin village. The results obtained can serve as a basis for developing measures to reduce environmental risks and ensure the safety of agricultural products in the region.*

**Keywords:** heavy metals, ICP-OES, soil contamination, Kostanay region, Kamysty district, agrochemical survey.

### ҚАМЫСТЫ АУДАНЫНЫҢ АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ АЛҚАПТАРЫНДАҒЫ АУЫР МЕТАЛДАРМЕН ЛАСТАНУЫН ІСП-OES ӘДІСІ АРҚЫЛЫ БАҒАЛАУ

*Рахимбаев Б.С. – техника ғылымдарының докторы, Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

*Науырзбаев Ж.К. – техника ғылымдарының магистрі, Ғылыми-технологиялық парктің директоры, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

*Нурпеисов А.А.\* – техника ғылымдарының магистрі, Инновациялық технологиялар ғылыми-зерттеу институтының ғылыми қызметкері, Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

*Нурсеитова Аружан Мағауияқызы – «7M05201 Геоэкология және табиғатты пайдалануды басқару» білім беру бағдарламасының магистранты, «Ахмет Байтұрсынұлы атындағы Қостанай өңірлік университеті», Қостанай қ., Қазақстан Республикасы.*

*Бұл мақала Қазақстан Республикасы Қостанай облысы Қамысты ауданының ауыл шаруашылығы жерлерінің топырағындағы ауыр металдардың (АМ) мөлшерін бағалауға арналған. Бұл зерттеудің өзектілігі егістік жерлердің ауыр металдармен ластануы олардың топырақта жиналуына байланысты ұзақ мерзімді экологиялық қауіп төндіретіндігіне негізделген. Агрехимиялық зерттеудің негізгі мақсаты – Алтынсарин ауылына іргелес орналасқан ауыл шаруашылығы жерлерінің топы-*