

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ

М.Б. Нурпеисова, К.Т. Менайков, А.А.Токтаров, О.Байтурбай А.Т. Низамова

Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.Сатпаева,
Алматы, Казахстан

Ташкентский государственный технический университет имени Ислама Каримова. Ташкент, Узбекистан

АННОТАЦИЯ

Получено:

14.07.2025

Пересмотрено:

19.07.2025

Пересмотрено:

03.08.2025

Опубликовано:

10.10.2025

В статье рассмотрены современные методы определения границ зоны отчуждения вокруг атомных электростанций с акцентом на рекомендации Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ). Проанализированы международные и национальные практики, включая опыты Чернобыльской и Фукусимской АЭС, а также Семипалатинского ядерного полигона. Работа подчеркивает важность применения современных технологий для повышения эффективности управления рисками и обеспечения радиационной безопасности в районах, прилегающих к атомным объектам. Одним из основных направлений экономического развития Республики Казахстан является курс на рациональное использование природных ресурсов, при этом обеспечение экологической и промышленной безопасности их освоения в зоне влияния атомной электростанции. В этом контексте особое внимание уделено охране минеральных и водных ресурсов, в том числе озере Балхаш, подземным водным ресурсам и Акбакайской золоторудной зоне, прилегающей к району строительства АЭС. Предложен метод создания геодинамического полигона, позволяющего эффективно контролировать динамику деформаций и корректировать оценку земель в зависимости от уровня загрязнения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

АЭС, Акбакайское месторождение, радиационная безопасность, промышленная безопасность, экологическая безопасность, зона радиационного загрязнения, граница отчуждения

Введение

Развитие атомной энергетики в Казахстане рассматривается как ключевое направление обеспечения устойчивости энергосистемы и экологической безопасности. Первым шагом на этом пути стало официальное утверждение

площадки для строительства АЭС в селе Улкен Жамбылского района Алматинской области (рис.1). Село расположено на берегу озера Балхаш, воды которого планируется использовать для обеспечения технологических нужд АЭС.



Рис. 1. Расположение будущего объекта АЭС

Республика Казахстан, являясь заказчиком строительства первой в стране атомной электростанции (АЭС), выступает генеральным оператором консорциума по реализации проекта. В проекте принимает участие

компания «Росатом», обладающая большим опытом и квалификацией в строительстве АЭС за рубежом. Учитывая значительные достижения Китая в возведении гражданских ядерных объектов, ведутся переговоры с

Китайской национальной ядерной корпорацией (CNNC). Также интерес к проекту выразила французская компания Électricité de France (EDF).

В июне 2025 года был сформирован международный консорциум, которому поручено строительство первой атомной электростанции в Республике Казахстан. По результатам проведённого конкурентного тендера лидирующую позицию заняла государственная корпорация «Росатом», представившая наиболее сбалансированное и технологически оптимальное предложение по реализации проекта. В соответствии с утверждённой концепцией, строительство АЭС в поселке Улкен будет осуществляться на основе современных российских ядерных технологий, признанных одними из наиболее эффективных и безопасных в мире. Согласно стратегическим планам, Улкен в перспективе должен трансформироваться в инновационный центр, обладающий высоким научным и образовательным потенциалом, что позволит ему стать своеобразным «городом-садом» и точкой притяжения для инженерных и исследовательских кадров со всей страны.

8 августа 2025 года в Алматинской области, вблизи села Улкен, на берегу озера Балхаш состоялась торжественная церемония закладки фундамента будущей атомной станции. Данный населенный пункт, удалённый на 289 км от районного и на 330 км от областного центра (г. Конаев), приобрёл статус ключевого объекта национальной энергетической политики. Примечательно, что в церемонии приняли участие студенты Национального исследовательского ядерного университета МИФИ (г. Алматы), готовящиеся стать инженерами атомной отрасли. Это подчёркивает важность проекта не только с точки зрения энергетической безопасности, но и как фактора, стимулирующего развитие науки, инженерного образования и подготовки высококвалифицированных специалистов в Казахстане.

Реализация проекта АЭС позволит Казахстану получить новое поколение высококвалифицированных специалистов, укрепить научно-исследовательскую базу, а также открыть перспективы для образовательных и технологических прорывов.

Строительство атомной станции в Казахстане уже принято как стратегическое решение. На текущем этапе основное внимание уделяется обеспечению экологической безопасности и защите окружающей среды от потенциального радиационного воздействия. В первую очередь, это жемчужина Казахстана — озеро Балхаш и прилегающие природные ресурсы. Во-вторых, разведанные в свое время К.И.Сатпаевым, включенные в металлогеническую карту Казахстан и оставленные в нынешнем поколении —

минеральные ресурсы. Это меднорудные месторождения Центрального Казахстана, золоторудная Акбакайская зона, прилегающая к селу Улкен (отмечено красной звездочкой на рис. 1) [1].

Принимая во внимание экологическую уязвимость территорий Казахстана, включая зоны бывших испытательных полигонов и аридные ландшафты, актуальной задачей становится научно обоснованное определение границ санитарно-защитных и отчуждённых зон вокруг ядерных объектов. В особенности это касается защиты стратегически важных природных объектов, таких как подземные водные, минеральные ресурсы и сельскохозяйственные угодья [2,3].

Именно по этой причине проведение всесторонних исследований природной среды — включая анализ почвенно-растительного покрова, воздушной и водной среды, фауны, а также состояния эксплуатируемых месторождений — имеет критически важное значение для устойчивого развития региона. Земли, подвергшиеся радиоактивному воздействию, особенно вблизи бывших испытательных полигонов, нуждаются в постоянном мониторинге и экспертной оценке их пригодности для применения в сельском хозяйстве, промышленности и других сферах.

Результаты. Экологические системы Казахстана характеризуются малой устойчивостью к антропогенным воздействиям. Около 75 % его территории (районы Аральского моря, Семипалатинского испытательного полигона (СИП), побережья Каспийского моря, пустынных и полупустынных пастбищ Центрального и Южного Казахстана и др.) подвержены повышенному риску экологической дестабилизации. Семипалатинский испытательный ядерный полигон был одним из основных полигонов, который использовался для испытаний ядерного оружия на протяжении 40-ка лет [4].

В настоящее время на территории полигона разрабатывается угольное месторождение Каражыра, где создан геодинамический полигон для мониторинга деформаций территории СИЯП и карьера. Геодинамический полигон включает сеть реперов, которая создаётся вокруг испытательных скважин для фиксации изменений высотного положения. Реперы закладываются на глубину не менее 2 метров для обеспечения стабильности и точности измерений, а также для снижения влияния радиационного загрязнения на работников. Эта сеть позволяет использовать данные для оценки деформаций и прогнозирования изменений земной поверхности [5].

Эксплуатация месторождения полезных ископаемых без учета радиоактивной обстановки, гидрогеологических карт

радиоактивного загрязнения территории может вообще привести к потере месторождения — на сотни и даже тысячи лет территория, грунты и сами ископаемые, могут оказаться загрязненными. Именно поэтому комплексные исследования природной среды: почвенно-растительного покрова, водной и воздушной среды, животного мира, разрабатываемые месторождения являются жизненно необходимыми для региона. Загрязнённые земли и прилегающие к полигону участки, находящиеся под воздействием радионуклидных осадков, требуют постоянного контроля и оценки с точки зрения их пригодности для использования в сельском хозяйстве, промышленности и других отраслях.

Что касается Семипалатинского полигона, то, по оценкам института высоких энергий Академии наук Казахстана, «некоторые зараженные участки полигона будут представлять опасность и оставаться непригодными для жизни на протяжении свыше

тысячи лет». Плюс, значительная часть его территорий и прилегающие к нему районы Павлодарской, Абайской, Восточно-Казахстанской и Карагандинской областей по-прежнему признаются зонами экологического бедствия. Радиус поражения даже сегодня достигает почти 800 километров, подразделяясь на четыре зоны — 150, 300, 500 и 775 километров.

В качестве примера можно привести взрыв на Чернобыльской АЭС, который разнес радиоактивное облако не только по территории Украины, России и Белоруссии, но и затронул собой ряд европейских стран вплоть до Италии. Сегодня вокруг ЧАЭС действует 300-километровая зона отчуждения. Непосредственно после катастрофы там погибли многие животные. Также от радиации пострадал лесной массив вблизи ЧАЭС, который получил название «Рыжий лес».

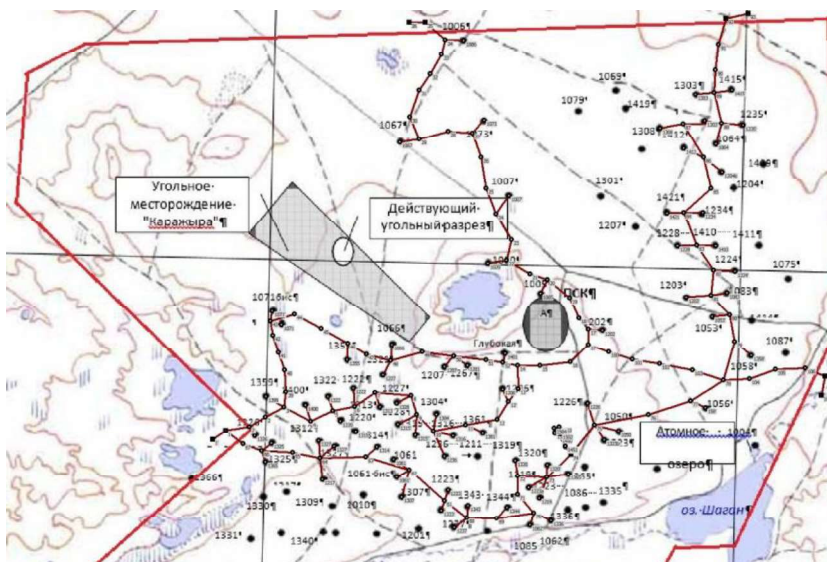


Рис. 2. Схема планово-высотного геодинимического полигона на территории угольного месторождения и «Атомного озера»

Акбакайское рудный район расположен на территории Мойынкумского района Жамбылской области в 450 км на северо-запад от города Алматы и в западной стороне будущей АЭС и включает в себя более 20 рудных месторождений, а также россыпи золота. К их числу относятся Акбакай, Кенгир, Кенжем, Светинское, Думан-Шуак, Бескембир, Самородное, Карьерное и другие месторождений (рис.3). В географическом отношении объект «Акбакай» находится в границах Балхашского водораздела, представляющего собой слабовсхолмленную местность с абсолютными отметками 460-515 м[6].

Месторождение Акбакай является уникальным золоторудным объектом кварцево-жильного типа с содержанием сульфидов в

флюсовой руде от 3 до 7%. Перспективы месторождения могут быть расширены за счет флангов и глубоких горизонтов, а также близлежащих объектов в пределах рудного поля.

Верхняя часть месторождения «Акбакай» до глубины 20 м. отработана открытым способом. В настоящий момент месторождение вскрыто существующими стволами шахт до горизонта 400 м, также наклонно-транспортными съездами 1 и 2. Горные работы ведутся на горизонтах 260 м, 340 м, 400 м, выше горизонта 260 м запасы отработаны. В дальнейшем по мере понижения горных работ ниже горизонта 400 м будет осуществляться углубление стволов. Проектом предусматривается отрабатывать запасы утвержденные ГКЗ РК до горизонта 580 м [7, 8].



Рис. 3. Схема расположений в центральной части Акбакайского золоторудного района

Месторождение Кенжем расположено в 7 км к югу от месторождения Акбакай. Кенжемская зона прослежена по простираению на 1500 м до глубины 200 м при мощности от 2-3 до 10 м. Одна из кварцевых жил зоны имеет длину 52 м при мощности 3,2 м и среднем содержании золота 5,3 г/т. Горными выработками вскрыта кварцевая жила длиной 40 м, мощностью 0,9 м со средним содержанием золота 10,4 г/т. По Кенжемской зоне проводятся горные работы и бурение скважин глубиной до 300 м.

Месторождение Бескембир расположено в Акбакайском золоторудном районе в 270 км на юго-запад от г. Балхаш. Находится в 3 км к востоку от эксплуатируемого месторождения Акбакай. Месторождение Бескембир вскрыто существующими стволами шахты до горизонта 180 м. Горные работы ведутся на горизонтах 180 м и 260 м. Проектом предусматривается отрабатывать запасы утвержденные ГКЗ РК до горизонта 390 м.

Месторождение Аксакал находится в пределах Акбакайского рудного поля, прожилково-вкрапленное, штокверковое, среднее по запасам. Месторождение вскрыто существующим стволом шахты Главная до горизонта 120 м. Проектом предусмотрено углубка ствола шахты Главная, вскрытие наклонно-транспортным съездом - 4 и отработка запасов до горизонта 500 м.

Месторождение Карьерное находится в пределах Акбакайского рудного поля, в приконтактной части Кызылжартасского гранодиоритового массива, кварцевожильное, мелкое по запасам. На месторождении Карьерное по геологическим условиям залегания золотосодержащих руд принята открытая разработка на всю глубину.

Все эти минерально-сырьевые ресурсы, оставленные нам К.И.Сатпаевым [1], расположены прилегающей зоне будущей нашей АЭС. АЭС является «прочной основой для энергетической безопасности страны. Вместе с тем необходимо учитывать, что масштабы и глубина негативного воздействия АЭС на окружающую среду вызывает большую тревогу общества [9, 10].

А, озеро Балхаш, в гидрогеологическом отношении, имеет двухчастное строение: западный бассейн является пресным, так как в него впадает река Или, в то время как восточный бассейн имеет солоноватый характер вследствие слабой гидрологической связи между двумя частями. Подземные воды региона оцениваются в 550 м³/с, при этом их естественные запасы составляют 255,3 м³/с. Таким образом, озеро Балхаш представляет собой уникальную экосистему, на состояние которой оказывают значительное влияние как поверхностные, так и подземные водные ресурсы.

В экологическом отношении, состояние озера Балхаш вызывает серьезную обеспокоенность в научном сообществе в связи с возможностью повторения экологической катастрофы, аналогичной Аральской. Начиная с 1970 года, использование стока реки Или для формирования Капшагайского водохранилища объемом 39 км³ привело к сокращению водности реки приблизительно на две трети, что вызвало снижение уровня Балхаша. Помимо водохозяйственной деятельности, значительное влияние на экологию Или-Балхашского бассейна оказывает промышленное производство - антропогенное воздействие. В частности, деятельность Балхашского горно-металлургического комбината сопровождалась высокими объемами выбросов загрязняющих веществ. В 2006 году корпорация «Казахмыс» завершила строительство экологически чистого производства, что позволило сократить объем выбросов на 80–90 %. [11].

В настоящее время в регионе реализуется стратегический проект — строительство первой АЭСв Казахстане. Этот фактор в долгосрочной перспективе актуализирует необходимость комплексной оценки экологических рисков и разработки механизмов устойчивого управления водными и природными ресурсами Или-Балхашского бассейна.

В соответствии с рекомендациями МАГАТЭ, радиус зоны отчуждения подбирается таким образом, чтобы обеспечить безопасность людей при потенциальной радиационной аварии на АЭС. В различных

странах существуют различные подходы к определению размеров этой зоны, но наиболее часто используется радиус в 30 км. Аварийные ситуации, такие как выбросы радиоактивных веществ, могут представлять опасность для здоровья населения и экосистем в радиусе нескольких десятков километров от места происшествия. В таких условиях необходимо оперативно и точно определить границы зон отчуждения, чтобы предотвратить пагубное воздействие радиации.

Установление границ зон отчуждения представляет собой многосложную задачу, которая требует интеграции различных подходов — от правового регулирования до использования математических моделей, технологий дистанционного зондирования и геоинформационных систем (ГИС). Быстрое и точное определение границ зон отчуждения является критически важным для снижения последствий радиоактивного загрязнения, возникающего после аварий на атомных электростанциях. Такие зоны, как правило, классифицируются в зависимости от степени радиационного воздействия на территорию.

В соответствии с нормативами Международного агентства по атомной энергии [12], зона экстренного реагирования должна охватывать территорию в пределах 30 километров от источника аварии. В этом радиусе, как правило, наблюдается повышенный уровень радиационного фона, требующий немедленного применения мер защиты. В настоящее время зоны отчуждения вокруг АЭС в разных странах могут значительно варьироваться. Например, в США зона отчуждения вокруг АЭС составляет 10 миль (примерно 16 км), в то время как в Японии для Фукусимы была установлена зона в 30 км, что соответствует рекомендациям МАГАТЭ.

Катастрофа на АЭС «Фукусима-1» в 2011 году стала наглядной иллюстрацией практического применения международных стандартов радиационной безопасности. В результате сильного землетрясения и последовавшего за ним цунами произошла утечка радиоактивных веществ, что вынудило правительство Японии ввести обязательную эвакуацию населения в пределах 20-километровой зоны вокруг станции. В дальнейшем, учитывая траекторию распространения радиоактивного облака и метеорологические условия, границы зоны были увеличены до 30 км. Принятые меры продемонстрировали действенность и актуальность международных норм по защите населения при радиационных авариях. [13].

Обсуждение результатов

Для проведения анализа и наглядного отображения зоны отчуждения для АЭС была использована облачная платформа Google Earth Engine (GEE), обладающая широкими

возможностями обработки и визуализации пространственных данных.

В рамках исследования так же была смоделирована зона отчуждения вокруг атомной электростанции «Фукусима-1» в Японии на основе геоинформационных данных.

Координаты Фукусимы: В первой строке был задан объект `fukushima`, который представляет собой точку на карте с координатами 141.0344 (долгота) и 37.4213 (широта), что соответствует расположению атомной электростанции Фукусима-1.

Зона отчуждения: С помощью метода `buffer(30000)` был создан круг радиусом 30 км вокруг точки АЭС. Этот радиус соответствует зоне отчуждения, рекомендованной МАГАТЭ для защиты населения от радиационных рисков в случае аварии.

Визуализация: далее мы использовали метод `Map.setCenter`, чтобы установить центр карты на Фукусиму и задать масштаб. Для наглядности добавили два слоя:

Зона отчуждения: Красным цветом отображен радиус 30 км вокруг Фукусимы.

Точка АЭС: Синим цветом, показана точка расположения атомной электростанции.

Результат: в результате выполнения этого кода на карте был получен четкий визуальный образ зоны отчуждения вокруг Фукусимы, что позволило наглядно увидеть, какой участок территории попадает в зону повышенного радиационного риска (рис.4 и 5).

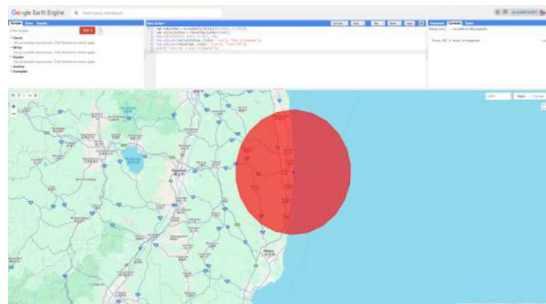


Рис. 4. Визуальное представление программы Google Earth Engine с кодом и полученным изображением зоны

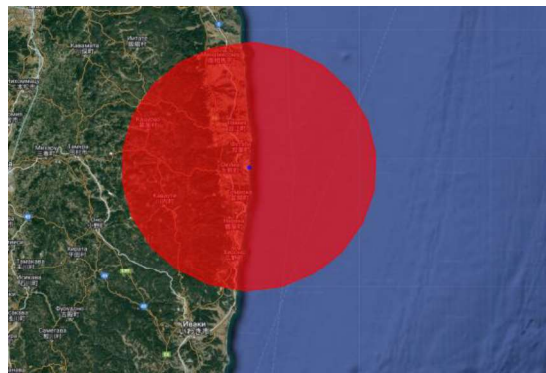


Рис. 5. Визуализация зоны отчуждения вокруг Фукусимы

Для более точного прогноза границ зон отчуждения применяются современные методы математического моделирования. Одним из самых распространенных инструментов для оценки распространения радиоактивных частиц является модель HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model), которая позволяет прогнозировать траекторию движения радионуклидов в атмосфере. В реальной практике такие модели используются для разработки зон экстренного планирования, особенно в случае больших выбросов, как это было в Японии после аварии на Фукусиме.

Примером успешного применения технологий мониторинга и моделирования можно считать использование спутниковых данных. В работе применялись спутниковые данные (Landsat-8, Sentinel-2), БПЛА и «умные» дозиметры, которые предоставляют высокоточные изображения земли, и используются при мониторинге радиационного загрязнения, особенно в отдаленных и труднодоступных районах. После техногенных аварий на атомных электростанциях спутниковые технологии приобрели ключевое значение для детального картографирования загрязнённых участков. Так, в районе Чернобыльской зоны отчуждения анализ спутниковых изображений позволил зафиксировать изменения в структуре растительности, что дало возможность оценить степень и масштабы влияния радиационного воздействия на природные экосистемы.

Дистанционное зондирование сыграло важную роль в реабилитации территорий после аварии на Фукусимской АЭС. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно использовались для картографирования территорий, подвергшихся радиационному загрязнению. Их применение обеспечило получение высокоточной информации о пространственном распределении радиоактивных веществ на различных высотных уровнях и участках земной поверхности. Этот подход использовался для оценки состояния объектов инфраструктуры, таких как водоемы и леса, для которых радиационное загрязнение может иметь долгосрочные экологические последствия.

В ходе работы вокруг поселка Улкен построены буферные зоны отчуждения (рисунок 5), с помощью платформы Google Earth Engine (GEE). Зоны отчуждения построены окружностью радиусом 30 км вокруг координат (45.206815, 73.930981), где планируется строительство АЭС.

Красная окружность на карте обозначает границы зоны, которая может использоваться для анализа возможного влияния станции на окружающую среду и население. Такой подход помогает визуализировать потенциальные ограничения и спланировать мероприятия по безопасности.

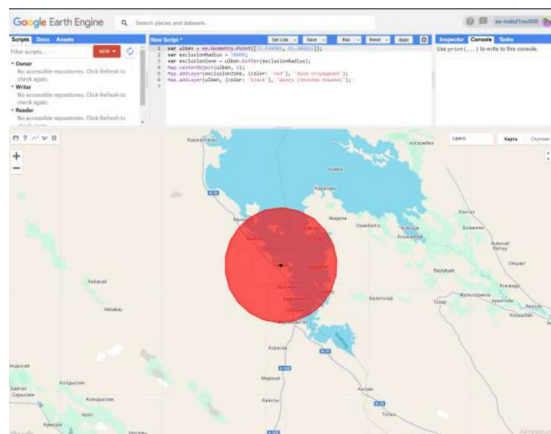


Рисунок 6. Визуализация зоны отчуждения вокруг посёлка Улкен в Казахстане, где планируют строить первую АЭС

Кроме того, использование дозиметров и спектрометров в полевых исследованиях позволяет точно измерять уровни гамма-излучения в зараженных зонах. Эти данные, в свою очередь, используются для уточнения границ зон отчуждения и принятия решений о возможной эвакуации или возвращении населения. В Чернобыльской зоне и на территории близлежащих областей Украины такие исследования продолжают по сей день, с использованием новых методов, таких как «умные» дозиметры, которые могут предоставлять данные в реальном времени [14,15].

В результате выполнения работы с использованием Google Earth Engine был создан наглядный пример зоны отчуждения вокруг атомной электростанции, основываясь на рекомендациях МАГАТЭ. Определен радиус зоны отчуждения в 30 км, который успешно визуализирован на карте, что позволяет наглядно увидеть, какой участок территории попадает в зону повышенного радиационного риска.

Также создана модель зоны отчуждения вокруг посёлка Улкен. Получены изображения, отражающие возможное влияние радиации, и представлены результаты кода визуализации. Были получены точные координаты и расчётные границы потенциальной зоны повышенного риска.

Опыт Чернобыля, Фукусимы и других катастроф показывает важность правильной и своевременной оценки радиационного загрязнения. Аварии в Японии и Украине стали примером эффективного применения международных стандартов.

Использование современных цифровых платформ, включая GEE и системы дистанционного зондирования, обеспечивает высокую точность построения карт радиационного загрязнения, особенно в удалённых районах. С помощью БПЛА и спутников возможно регулярное обновление

данных, что критически важно для мониторинга динамики состояния окружающей среды.

Применение разработанной модели к казахстанским условиям позволяет предварительно оценить риски, связанные со строительством и эксплуатацией АЭС, а также подготовить основу для нормативного установления санитарно-защитных зон.

Выводы

Таким образом, АЭС представляют собой один из ключевых факторов, оказывающих неблагоприятное влияние на экологическое состояние окружающей среды и процессы освоения природных ресурсов. В современных условиях вопросы горной экологии и промышленной безопасности приобретают особую значимость, поскольку от их эффективного решения зависит устойчивое развитие и благополучие как текущего, так и

будущих поколений, вовлечённых в сферу недропользования. Нейтрализация такого воздействия осуществляется с использованием платформы Google Earth Engine, позволяющей легко интегрировать данные и проводить их анализ в реальном времени, что делает процесс моделирования зон отчуждения более доступным и эффективным.

Эффективное определение зон отчуждения помогает минимизировать ущерб для здоровья населения и окружающей среды, а использование цифровых платформ, спутниковых данных и моделирования делает возможным более точное и быстрое реагирование в случае Чернобыльской станции.

Исследование проведено в рамках грантового финансирования Министерства науки высшего образования РК (AP26100471).

APPLICATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF NATURAL RESOURCES

M.B.Nurpeisova, K.T.Menayakov, A.A.Toktarov, O.Baiturbai, A.T.Nizamova

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Tashkent State Technical University named after Islam Karimov, Tashkent, Uzbekistan

ABSTRACT

Received:

14.07.2025

Revised:

19.07.2025

Accepted:

03.08.2025

Published:

10.10.2025

The article examines modern methods for determining the boundaries of exclusion zones around nuclear power plants, with an emphasis on the recommendations of the International Atomic Energy Agency (IAEA). International and national practices are analyzed, including the experiences of the Chernobyl and Fukushima nuclear power plants, as well as the Semipalatinsk nuclear test site. The study highlights the importance of applying modern technologies to improve risk management efficiency and ensure radiation safety in areas adjacent to nuclear facilities. One of the key directions of economic development in the Republic of Kazakhstan is the rational use of natural resources while ensuring environmental and industrial safety within the influence zone of nuclear power plants. In this context, special attention is paid to the protection of mineral and water resources, including Lake Balkhash, underground water reserves, and the Akbakai gold ore zone adjacent to the NPP construction area. A method for creating a geodynamic polygon is proposed, which enables effective monitoring of deformation dynamics and allows for adjustments in land valuation depending on pollution levels.

KEYWORDS

NPP (nuclear power plant), Akbakai deposit, radiation safety, industrial safety, environmental safety, radiation contamination zone, exclusion boundary.

References

1. Satpayev, K.I. *Metallogeny of Kazakhstan. Ore formations. Gold ore deposits. Alma-Ata: Nauka, 1980. – 224 p.*
2. *On the approval of the rules for establishing protection zones of power grid facilities and special conditions for the use of land plots located within such zones.* Order of the Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan dated September 28, 2017 No. 330. (in Russian).
3. *On the approval of the Sanitary Rules "Sanitary and epidemiological requirements for ensuring radiation safety."* Order of the Minister of Health of the Republic of Kazakhstan dated December 15, 2020 No. ҚР DSM-275/2020. (in Russian).
4. Nurpeisova, M., Umirbayeva, A., & Fedorov, E. (2021). Assessment of the deformation and radiation state of the territory based on integrated monitoring. *Mining of Eurasia*, No. 1, pp. 83–87. (in English).
5. Nurpeisova, M., Umirbayeva, A., Tursynbayev, N., Donenbayeva, N., & Bakyt, N. (2025). Assessment of deformation and radiation state of adjacent territories of the deposit "Karazhyra." *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 2(470), 166–179. <https://doi.org/10.32014/2024.2518-170X.498> (in English).
6. Rafailovich, M.S., Mizernaya, M.A., & Dyachkov, B.A. *Large gold deposits in black shale strata: conditions of formation and similarity indicators.* Almaty: VKGTU, 2011. – 272 p.

7. Vaulin, O.V. *Zhambyl Region. Gold. Handbook*. Taraz–Bishkek: ROKIZOL, 2016. – 94 p.
8. *Supplement and revision to the project for the second stage of construction of the Akbakai Mining and Processing Plant for the development of the “Akbakai” deposit. Stage II of construction: opening and mining of reserves below elevation +296 m (horizon 180) to –104 m (horizon 580) of the “Akbakai” deposit*. JSC “AK Altynalmas,” LLP “Kaz Techno Project.”
9. Nurpeisova, M.B., Madimarova, G.S., & Menayakov, K.T. (2021). Study of the stress–strain state of the rock mass of the Akbakai deposit. *Proceedings of the Scientific and Practical Conference*. Prague, pp. 49–53. (in Russian).
10. Nurpeisova, M.B., Madimarova, G.S., & Menayakov, K.T. *Guidelines for protecting structures and the environment from the harmful effects of the development of the Akbakai deposit*. Almaty: KazNTU, 2004. – 27 p. (in Russian).
11. Zhumangalieva, Z.M. *Water balance of Lake Balkhash and the impact of anthropogenic factors on it*. Saint Petersburg, 2014.
12. International Atomic Energy Agency (IAEA). (2015). *GSR Part 7: Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency*. IAEA. (in English).
13. Kishin, V.V. (2008). The concept of industrial safety management at hazardous production facilities. *International Scientific Readings “White Nights–2008”, Part II*, pp. 253–257. St. Petersburg. (in Russian).
14. NP-001-15. *General provisions for ensuring the safety of nuclear power plants*. (in Russian).
15. Nikitin, S.G. (2012). Application of remote sensing for monitoring radiation contamination. *Geoinformation Systems*, No. 6, pp. 21–34. (in Russian).

Information about authors:

Nurpeissova Marzhan Baisanova	– DSc, professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University, 22a Satpaev Street, Almaty, 050013, Kazakhstan. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3956-5442 , e-mail: marzhan-nurpeissova@ramblert.ru
Menayakov Kanat Tugelevich	– DSc, professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University, 22a Satpaev Street, Almaty, 050013, Kazakhstan. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8578-3515 , e-mail: k.menayakov@satbayev.university
Toktarov Ayan Askarovich	– PhD, Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University, 22a Satpaev Street, Almaty, 050013, Kazakhstan ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2578-8642 , e-mail: a.toktarov@satbayev.university
Baiturbay Orinbasar	– PhD Doctoral Student, Department of Mine Surveying and Geodesy, Satbayev University, 22a Satpaev Street, Almaty, 050013, Kazakhstan. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-7654-2610 , e-mail: o.baiturbay@satbayev.university
Nizamova Albina Talgatovna	– PhD student, Department of Mining Engineering, Tashkent State Technical University, 100095, Tashkent, Uzbekistan. ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5606-2030 , e-mail: at.nizamova@gmail.com