

УДК 553.045:504

ЛИСИЧЕНКО Г.В., КОВАЧ В.Е.

ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины», г. Киев

МИРОВОЙ ОПЫТ РЕАБИЛИТАЦИИ БЫВШИХ УРАНОВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

Описан мировой опыт по реабилитации земель бывших урановых предприятий. Представлен алгоритм взаимодействия между регулятором и оператором с учётом международных требований по реализации ремедиационных проектов и роль участников природоохранного процесса в решении задач реабилитации на таких территориях.

Введение

Открытие французским физиком А. Беккерелем в конце XIX века явление радиоактивности, проявляющегося в самопроизвольном распаде атомных ядер урана, предопределило энергетическую ценность этого уникального элемента. Дальнейшие исследования показали, что природный уран-238 при небольшом его обогащении ураном-235 может создавать условия для непрерывного деления атомных ядер, что придает процессу цепной характер. Это открытие стало началом как мирного, так и военного использования внутриатомной энергии, способствовало активному геологическому изучению ресурсов сырьевой базы урана и развитию атомной промышленности. Было показано, что несколько килограммов урана способны выработать столько же электрической и тепловой энергии, сколько тонны угля и нефти или тысячи кубометров газа [1].

Впервые уран был выявлен в Чехии, позднее в Африке и северо-западной части Канады. Именно в этих странах до 1940 года была сосредоточена его основная добыча. В настоящее время открыто более 200 урановых месторождений, которые сосредоточены в 40 странах мира [2].

Согласно данным Всемирной ядерной ассоциации (World Nuclear Association, WNA), основные запасы урана (96,5%) сосредоточены в 15 странах мира, из них – в Австралии (разведанные запасы 466 тыс. т, около 20 % мировых запасов), Казахстане (18 %), Канаде (12 %), Узбекистане (7,5 %), Бразилии (7 %), Нигерии (7 %), ЮАР (6,5 %), США (5 %), Намибии (3 %), Украине (3 %), Индии (2 %) [3].

Несмотря на значительные запасы урана в Украине, его добыча до последнего времени составляла 500-800 т в год. из этого количества изготавливается урановый концентрат и производится топливо в России. Добыча урана обеспечивала потребности отечественной ядерной промышленности на 30%. Однако, к 2020 году планируется обеспечить потребности в урановом концентрате в полном объеме.

Добыча урановых руд в СССР началась в Таджикистане в 1926 году, когда было открыто Табошарское месторождение. Позднее карту добычи дополнили: Узбекистан, Киргизия, Казахстан, Украина, Россия и Болгария [2]. Значительное количество месторождений урана в этих регионах на сегодняшний день отработаны, однако остались экологические проблемы, связанные с наследием урановой горнодобывающей промышленности. Это обусловлено тем, что территории, на которых располагались основные урановые производства (шахты, рудники, промышленные площадки горно-химических комбинатов и гидрометаллургических заводов, хвостохранилища и т.д.), в связи с несовершенными технологическими процессами и отсутствием норм экологической безопасности, подверглись техногенному загрязнению. Для таких территорий весьма актуальными задачами является приведение их в экологически безопасное состояние. Однако практическое решение этих задач сдерживается вследствие недостатка опыта

планирования и реализации проектов восстановления окружающей среды, отсутствия финансовых ресурсов для осуществления долговременных реабилитационных программ.

В то же время на уранодобывающих и перерабатывающих производствах стран ЕС в последние годы активно развиваются программы международного технического сотрудничества МАГАТЭ (проекты RER/0986 и RER/3010), ПРООН, ЕврАзЭС и другие, направленные на оказание помощи в осуществлении реабилитационных проектов. Одновременно осуществляются или планируются мероприятия в рамках программ Всемирного Банка (Майлуу-Суу, Кыргызстан), МНТЦ (Каджи-Сай, Кыргызстан), ОБСЕ (Табашар, Таджикистан), ТАСИС (Лермонтов, РФ). Анализ показывает, что эффективность их выполнения во многом зависит от наличия соответствующих национальных стратегий экологической безопасности, нормативных требований и регуляторных механизмов, а также опыта в управлении подобными проектами в соответствии с международными стандартами.

Задачи по реабилитации бывших урановых производств в Украине

В Украине добыча и переработка урановой руды была начата в конце 1940-х годов. Эти работы осуществлялись в условиях секретности без соблюдения требований экологической безопасности. Переработку урановой руды осуществляли Государственное предприятие «Восточный горно-обогатительный комбинат» (ГП «ВостГОК») и Производственное объединение «Приднепровский химический завод» (ПО «ПХЗ»). Сейчас полный цикл работ по добыче и переработке урановых руд осуществляет только одно предприятие – ГП «ВостГОК». В состав ГП «ВостГОК» входят две действующие шахты – Смолинская и Ингульская, которые по своему энергетическому эквиваленту равноценны 60 угольным шахтам (практически одна треть всего Донбасса) [4].

Переработка урановых руд и получение уранового концентрата (U_3O_8) осуществляется на Гидрометаллургическом заводе (ГЗМ) в г. Желтые Воды. В процессе переработки урановых руд на ГЗМ образуются отходы (хвосты) с повышенным содержанием радионуклидов природного происхождения. Отходы уранового производства с помощью пульпопровода подаются в специально оборудованное хвостохранилище – «Балка «Щербаковская», которое находится в 5 км от г. Желтые Воды. По состоянию на конец 2013 года, в хвостохранилище «Балка «Щербаковская» накоплено около 40 млн. т отходов уранового производства. Указанное хвостохранилище представляет значительную экологическую опасность для населения города, являясь очагом загрязнения водоносных горизонтов, используемых для водоснабжения. Первоочередными экологическими задачами для этого объекта являются: более углубленное изучение радиационного риска его влияния на окружающую среду (как источника загрязнения подземных вод); усовершенствование системы его комплексного экологического мониторинга; разработка природоохранных мероприятий, включая укрепление и наращивание тела его защитных дамб [5].

Одним из первых в СССР предприятий по переработке уранового сырья было Производственное объединение «Приднепровский химический завод» (далее ВО «ПХЗ») в городе Днепродзержинске Днепропетровской области, который был введен в эксплуатацию в 1947 году. С развалом СССР в 1991 году ПО «ПХЗ» прекратил основную деятельность по производству урана, после чего остались хвостохранилища отходов уранового производства:

- на территории завода – «Западное», «Центральный Яр» и «Юго-Восточное»;
- за пределами территории – «Днепровское», «Сухачевское» с секциями 1 и 2; хранилище «База С».

Впоследствии завод распался на ряд специализированных предприятий разного профиля: ГП «Смолы», ГНПП «Цирконий», ГП «ПГМЗ», ГП «ПХЗ», ГП «Полихим» и другие, которые не занимались вопросами обращения с отходами уранового производства. При ликвидации завода ряд опасных сооружений, загрязненных радиацией, были разрушены, разграблены и частично демонтированы, а все хвостохранилища не были

приведены в экологически безопасное состояние в соответствии с действующими нормативно-законодательными требованиями по репрофилированию бывших урановых производств [6]. Это привело к созданию очагов радиоактивного загрязнения в пределах значительной территории Днепродзержинской промышленно-городской агломерации, о чём свидетельствуют данные, представленные на рис. 1 и в табл. 1,2.

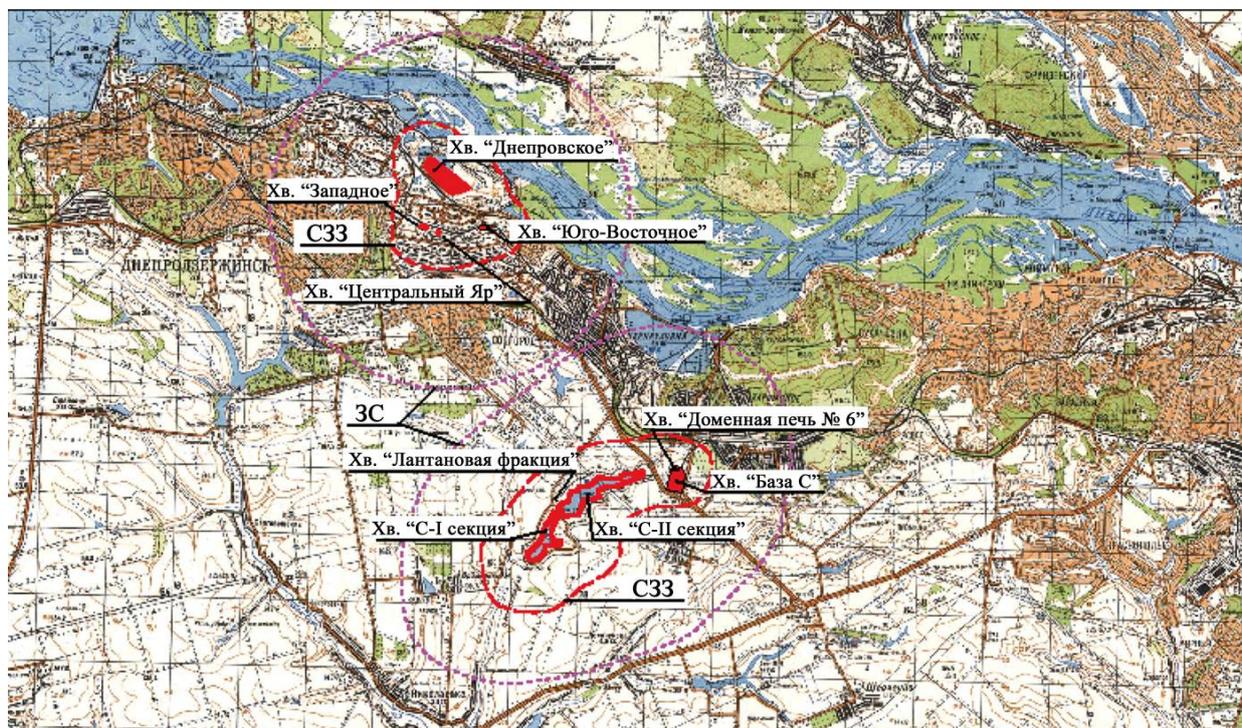


Рис. 1. Размещение объектов бывшего ПО "ПХЗ" и мест удаления отходов уранового производства в г. Днепродзержинск [5]

Таблица 1. Характеристика основных хвостохранилищ бывшего ВО «ПХЗ» и уровни радиационного риска от них [7]

Название объекта	Период эксплуатации	Площадь, га	Масса отходов, Мт	Объем отходов, 10 ⁶ м ³	Общая активность, ТБк
«Западное»	1949–1954	6,0	0,77	0,35	180
«Центральный Яр»	1951–1954	2,4	0,22	0,10	104
«Юго-восточное»	1956–1980	3,6	0,33	0,15	67
«Днепровское» (Д)	1954–1968	73,0	12,0	5,9	1400
Хв. «Лантановая фракция»	1965–1988	0,06	0,0066	0,0033	130
Доменная печь № 6	1978–1982	0,2	0,04	0,02	330
База «С» (бывший склад урановой руды)	1960–1991	25,0	0,3	0,15	440
«Сухачевское»					
секция 1	1968–1983	90,0	19,0	8,6	710
секция 2	1983–1992	70,0	9,6	4,4	270

В хвостохранилищах накоплено до 42 млн. т отходов от переработки урановых руд общей активностью $3,2 \times 10^{15}$ Бк (средняя удельная активность – 76 кБк/кг). В хранилищах отходов уранового производства «ДП-6» и «База С» накоплено до 0,2 млн т отходов уранового производства общей активностью $4,4 \times 10^{14}$ Бк (средняя удельная активность – 2,3 МБк/кг). Общая площадь хвостохранилищ – 2,77 млн м². Мощность экспозиционной дозы варьирует в пределах от 10 до 35000 мкР/час [5].

Приведенные в табл. 2 данные следует рассмотреть с позиции предварительной оценки, что потребует дальнейшего уточнения для определения путей реабилитации загрязненных территорий.

Безответственность государственных органов надзора и экономический кризис в первое десятилетие независимости Украины привели к тому, что наиболее загрязненные объекты (здания бывших урановых производств, пульпопроводы, складские и другие помещения), а также хвостохранилища отходов гидрометаллургической переработки урана, которые формировались в период с 1948 по 1980 года, фактически на много лет остались без надзора и соответствующего контроля. Только в 2000 г. за счет средств резервного фонда Кабинета Министров Украины были предприняты первые противоаварийные мероприятия по ремонту и укреплению ограждающих сооружений инженерной защиты на хвостохранилищах «Западное» и «Днепровское», тем самым существенно снижена вероятность возникновения оползней и размывов ограждающих дамб.

Таблица 2. Характеристика источников выбросов от основных объектов бывшего ВО «ПХЗ» (по данным УкрНИИЭП)

Название объекта	Площадь пыления тыс. м ²	Средняя удельная активность радионуклида в пыли, Бк/кг						Плотность потока ²²⁶ Rn на поверхности, Бк/(м ² ·с)
		²²⁶ Rn	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³⁰ Th	²¹⁰ Po	²¹⁰ Pb	
«Западное»	-	40,2	-	-	-	-	-	0,003–3,075
«Центральный Яр»	-	24,0	-	-	-	-	-	0,24–2,57
«Юго-восточное»	36	58	2594	733	3560	1190	866	0,673
«Днепровское» (Д)	730	730	-	-	-	-	-	0,001–2,58
Хв. «Лантановая фракция»	0,06							
Доменная печь № 6	-	6,0	-	-	-	-	-	0,017–0,05
База «С» (бывший склад для урановой руды)	128,5	330	358–57022	201–3590	760–221652	493–129952	44977–493256	1,25–21,2
«Сухачевское» секция 1	346	906,8	2500	6200	5980	11120	11140	0,03–1,475
секция 2	185	698,8	-	-	-	-	-	0,005–0,046

Однако следует констатировать, что состояние защитного покрытия большинства хвостохранилищ и инженерных сооружений инфраструктуры бывшего уранового

производства ПО «ПХЗ» в значительной степени продолжает оставаться неудовлетворительным и ухудшается с каждым годом под воздействием природных факторов и из-за отсутствия восстановительных профилактических мероприятий.

Для осуществления рекультивационно-восстановительных работ на загрязненных территориях и обращения с радиоактивными отходами бывшего уранового производства ПО «ПХЗ» приказом Минтопэнерго Украины № 562 от 13 декабря 2000 г. было создано Государственное предприятие «Барьер» (ГП «Барьер»). Этому предприятию на баланс в установленном порядке передаются все потенциально опасные объекты ПО «ПХЗ».

С целью устранения существующего комплекса радиоэкологических проблем, связанных с техногенным загрязнением территории бывшего ПО «ПХЗ», была разработана и утверждена постановлением КМ Украины № 1846 от 26. Ноября 2003 г. специальная Государственная программа приведения опасных объектов ПО «Приднепровский химический завод» в экологически безопасное состояние, обеспечение защиты населения от вредного воздействия ионизирующего излучения. Однако недостаточное финансирование сделало невозможным практическую реализацию этой Программы – не выполнены уже разработанные проекты, не соблюдаются требования действующего законодательства, что влечет нарастание экологических рисков для проживания и здоровья населения города и прилегающих территорий.

Практика стран Европейского Союза

В международной практике под реабилитацией окружающей среды в районах размещения бывших урановых производств подразумевается не только очистка промплощадок бывших производств, создание грунтовых покрытий отвалов обедненных руд или хвостохранилищ, разборка загрязненных зданий, дезактивация оборудования или просто ограждение таких территорий. Реабилитация (восстановление), так же, как и ремедиация (снижение рисков и доз облучения) – длительный процесс социально оправданного возвращения загрязненных территорий в полезное использование и общественно приемлемое эстетическое состояние.

В странах ЕС все реабилитационные проекты предполагали хотя бы частичное восстановление ландшафтов на месте бывших урановых производств до общественно приемлемого уровня комфортности проживания населения на прилегающих территориях. Например, при реабилитации объектов предприятия «Висмут» в Германии стояла задача не только привести в безопасное состояние места складирования отходов уранового производства, закрытие старых шахт и очистка территорий, но и практически полного восстановления всех техногенно нарушенных ландшафтов [8]. Сегодня эта программа, начатая в 1990 году, практически завершена. В нее было вложено, по разным оценкам, €3–5 млрд, причем значительная доля средств потрачена на социальные выплаты и восстановление эстетики окружающей среды, гармонично вписывающейся в ландшафт прилегающих территорий (рис. 2).

Подобных примеров много. Во всех случаях планирование стратегий восстановления начиналось с политического решения и диалога с обществом, определялись конечный результат и критерии достижения конечных целей реабилитации, которые законодательно закреплялись на уровне местных и государственных органов власти. Затем принимались решения, позволяющие обеспечить устойчивое финансирование программ, устанавливалась ответственность регуляторов и операторов за их реализацию. Далее начинался процесс поиска путей для достижения цели.

На подготовительном этапе проводились детальные оценки безопасности объектов, разрабатывались критерии и требования к процедурам и исполнителям работ. Оптимальные варианты инженерных решений выбирались, исходя из приоритетов по результатам анализа данных мониторинга и оценок безопасности, включая элементы технико-экономических

обоснований (ТЕО) для каждого варианта выбранной стратегии и оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС). Проекты проходили многоступенчатое согласование и утверждение – только после этого начиналась реализация инженерных мероприятий. Параллельно функционировали службы мониторинга окружающей среды, технического и регулирующего надзора, разрабатывались процедуры и механизмы институционального контроля [9].



Рис. 2. Современный вид территорий, где раньше были расположены отвалы обедненных руд и хвостохранилища предприятия «Висмут» (фотографии Ch.Kunze, Wisutek, Germany)

Все это позволило избежать стратегических и технических ошибок при проектировании и строительстве защитных сооружений. Такое планирование требовало много времени и затрат, однако позволило экономить миллионы евро на этапе строительства и при осуществлении институционального контроля в течение длительного гарантийного периода функциональности защитных мероприятий на сотни и даже тысячи лет, исходя из специфики длительного существования активности ^{226}Ra и других радионуклидов, составляющих основу «остатков» урановых производств.

Другие, не столь масштабные, проекты реабилитации бывших урановых производств в странах ЕС также имели высокую стоимость (с учетом социальных мероприятий возвращения земель в эффективное использование) и оцениваются суммами от нескольких десятков до сотен миллионов долларов США. Еще один яркий пример ликвидации последствий от добычи урана и реабилитации загрязненных территорий, компенсируемых государством, – Чехия (примерно \$3 млрд.) [10]. Существенные отличия в стоимости программ определяются лишь планируемым конечным состоянием и уровнем социальной приемлемости ожидаемого результата реабилитации. Поэтому большое внимание уделялось подготовительному этапу и планированию работ.

Участники природоохранного процесса и их роль в решении задач реабилитации территории

Мировой опыт свидетельствует, что успешное выполнение крупных реабилитационных проектов возможно только тогда, когда все участники процесса ясно понимают свою роль, а их функции и последовательность реализации программы определены и четко выполняются.

Государство должно законодательно обеспечить источники устойчивого финансирования, эффективные механизмы управления и целевого использования ресурсов, определить сферы ответственности регулирующих органов и действенные механизмы привлечения общественности к работам по определению конечного состояния и оценке эффективности проектов.

Критерии реабилитации

Выполнить задачи, поставленные в программе реабилитации, можно только при условии, что на начальном этапе будут четко установлены дозовые и экологические критерии конечного состояния территорий и объектов после завершения мероприятий. Однако в большинстве стран СНГ, где начались или планируются реабилитационные проекты, эта задача пока не решена.

В Украине, России и странах Центральной Азии до сих пор основным документом по планированию и осуществлению рекультивации бывших урановых производств остаются «Санитарные правила по ликвидации, консервации и перепрофилированию бывших урановых производств» (СП-ЛКП-91) или их модификации, которые содержат многие рекомендации, критерии и требования, не соответствующие современным международным стандартам. Кроме того, после выпуска в 2007 году очередных рекомендаций Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ–103), а также ряда документов МАГАТЭ по осуществлению реабилитационных мероприятий, стало очевидным, что критерии не могут быть универсальными.

Целевое конечное состояние объекта после реабилитации должно устанавливаться в соответствии с экономическими возможностями и социальными ожиданиями общества. И чем ниже будут критерии дозовых ограничений, тем дороже будут стоить работы по их достижению.

В настоящее время в рамках проектов МАГАТЭ, сотрудничества с Норвегией, Швецией и США в Украине, Российской Федерации, странах Центральной Азии предпринимаются меры по гармонизации и усовершенствованию регуляторных требований и критериев, направленных на поддержку подготовительного этапа планирования и осуществления реабилитационных программ [11]. Тем не менее, пока этот процесс продвигается очень медленно. Те же проблемы сдерживают эффективное выполнение вышеупомянутой Государственной программы по приведению в безопасное состояние объектов уранового производства бывшего ПО «ПХЗ» («Приднепровский химический завод») в Украине, первая фаза которого рассчитана на 2010–2014 годы.

Однако, пока еще существуют неопределенности в определении критериев безопасности, которые должны быть достигнуты (радиологические и экологические) для территории ВО «ПХЗ». Соответственно, конечное состояние программы реабилитации будет зависеть от дальнейшего использования промплощадки бывшего ПО «ПХЗ» и прилегающих к ней территорий города Днепродзержинска. Рассматриваются несколько сценариев: сохранение существующей деятельности на промплощадке с частичным использованием ее территории для длительного складирования отходов уранового производства с реабилитацией лишь прилегающих территорий города; консервация отходов на месте с частичным освобождением данной территории от регулирующего контроля, что позволит создать условия для сохранения и развития на промплощадке производств, которые не связаны с «урановой» инфраструктурой; полная очистка площадки и прилегающих территорий (ландшафтный парк) и вывоз отходов в специально подготовленные хвостохранилища.

Дозовые ограничения для различных категорий персонала предприятий, которые должны быть обеспечены на этой площадке, должны устанавливаться регулятором в зависимости от предполагаемой стратегии использования данной промплощадки. Помимо этого, критерии безопасности для прилегающих территорий должны быть установлены с учетом возможных вариантов их дальнейшего социально значимого использования. Категоризация отходов должна быть адаптирована для материалов бывших урановых производств с учетом рекомендаций МАГАТЭ (IAEA RS-G-1.7) [12].

Необходимо также установить контрольные уровни загрязнения окружающей среды на границах санитарно-защитной зоны или для самих реабилитируемых объектов (например, на

поверхности покрытий хвостохранилища). Разрабатываются контрольные уровни для мощности экспозиционной дозы γ -излучения, объемной концентрации ^{222}Rn в бывших производственных помещениях, эксхалации радона с поверхности хвостохранилищ, содержания ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb в почве и аэрозолях, поверхностных и подземных водах, продуктах питания.

Дополнительно должны быть усовершенствованы: порядок лицензирования видов деятельности, связанной с реабилитационными мероприятиями; требования к содержанию и структуре технических паспортов бывших урановых объектов; порядок и процедуры планирования мероприятий; процедуры оценки безопасности; требования к структуре и содержанию ТЭО, ОВОС, а также структуре проектных обоснований; порядок проведения мероприятий по техническому надзору на объектах; требования и рекомендации к проведению программ мониторинга окружающей среды и инспекций, обеспечению качества работ, управлению данными и отчетности. Подобные недостатки регуляторного обеспечения являются типичными и для других стран СНГ, поэтому разумно гармонизировать и ускорить их разработку.

Выводы

В настоящее время в Украине разрабатывается рамочный документ «Требования и условия безопасности при выведении из эксплуатации урановых объектов в результате их ликвидации, консервации или перепрофилирования», структура и содержание которого соответствуют международным стандартам. Поэтому целесообразно гармонизировать общие принципы и помочь разработать подобные документы для других стран, которые столкнулись с необходимостью решения подобных проблем, так как проблемные вопросы, которые существуют на таких промплощадках, имеют комплексный характер и касаются многих аспектов, а именно: экологических, технологических, медицинских, социальных. Поэтому их трудно решать на местном или региональном уровнях, государство должно взять на себя полную ответственность за безопасность таких объектов.

Крайне актуальным также является международное сотрудничество. Оно должно развиваться на уровне как экспертов, так и менеджеров и регулирующих органов, охватывать широкий круг вопросов и обмен опытом по планированию проектов, используя лучшие образцы мировой практики. Для этого разумно использовать инструменты программ регионального технического сотрудничества МАГАТЭ, а также информационной сети программы ENVIRONET. В центре внимания должны стоять вопросы повышения квалификации специалистов по управлению и планированию реабилитационных проектов, а также современных методов обеспечения безопасности и технической реализации программ долговременной реабилитации бывших урановых производств.

1. Резерфорд Э. Строение атома и искусственное превращение элементов // Избранные научные труды / отв. ред. Г.Н.Флеров; сост. и ред. перевода Ю. М. Ципенюк. – М. : Наука, 1972. — 257 с.

2. Арапов Ю. А. Урановые месторождения Чехословакии / Ю. А. Арапов, В. Е. Бойцов – М. : Недра, 1984. – 445 с.

3. World Nuclear Association. Uranium production figures. Available at: <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/Nuclear-generation-by-country/>

4. Кулиш Е. А. , Михайлов В. А. Геохимия, минералогия, генезис и классификации месторождений урана. – К. : 2006. – 213 с.

5. Урановые руды Украины / [Лисиченко Г. В., Мельник Ю. П., Лисенко О. Ю., Дудар Т. В., Никитина Н. В.]; под ред. Г. В. Лисиченка. – К. : Наук. думка, 2010. – 214 с.

6. Ковалко М. П., Денисюк С. П. Енергетична безпека – складова національної безпеки України. – К. : УЕЗ, 1997. – 197 с.

7. Закон України «Про видобування і переробку уранових руд» // Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1998, № 11–12, ст.39) (Вводиться в дію Постановою ВР № 40/95–ВР від 08.02.95, ВВР. – 1995. – № 12. – 82 ст.

8. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2007 році. – К. : ДК ЯР України, 2008. – 112 с.

9. Ulrich Brosa, Siegfried Grossmann and Andreas Müller Nuclear scission // Physics Reports. – 1990. – Т. 197. – № 4. – С. 167–262.

10. Укратом. Ситуация с хвостохранилищами в Украине [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://ru.uatom.org/posts/28>

11. TradeTech. Uranium Primer – Uranium Extraction Methods. – Available from:<http://www.uranium.info/resources/uploaded/TradeTech-UraniumPrimerExtractionMethods.pdf>,

12. Доповідь про стан ядерної та радіаційної безпеки в Україні у 2013 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу:<http://www.snrc.gov.ua>,

13. IAEA-(IAEA RS-G-1.7). International cooperation on rehabilitation, IAEA, VIENNA, 2013. – Available from: http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/te_1174_prn.pdf.

Лисиченко Г.В., Ковач В.О.

СВІТОВИЙ ДОСВІД РЕАБІЛІТАЦІЇ ЗЕМЕЛЬ КОЛИШНІХ УРАНОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Описано світовий досвід реабілітації земель колишніх уранових виробництв. Представлено алгоритм взаємодії між регулятором та оператором, враховуючи міжнародні вимоги щодо реалізації проектів, та роль учасників природоохоронного процесу у вирішенні завдань реабілітації таких територій.

Lysychenko G., Kovach V.

WORLD EXPERIENCE OF LAND REHABILITATION FROM THE URANIUM MINING INDUSTRY OPERATION

World experience of rehabilitation of former uranium productions described. It is given the algorithm of the interaction between the regulator and the operator, taking into account international requirements for the implementation of projects and the role of participants in the environmental process in solving problems of rehabilitation of such areas.

УДК 539.1.08

ЗАБУЛОНОВ Ю.Л., МЕДВЕДЄВ Ю.О.

ДУ “Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України”, м.Київ

ВИКОРИСТАННЯ БІОСИНТЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ПОРУШНИКА НА ГІПОТЕТИЧНОМУ ОБ’ЄКТІ

Описано застосування розробленого біосинтетичного алгоритму для моделювання переміщення порушника по досліджуваному об’єкту. Наведено відповідні математичні вирази. Як середовище для моделювання використовувалися клітинні автомати.

Вступ. На сьогоднішній день існує багато підходів до оцінки ефективності систем фізичного захисту об’єктів (СФЗ) [11, 12]. Процедура оцінювання в більшості з них зводиться до побудови можливих маршрутів порушника, розрахунку критичної точки виявлення на кожному маршруті, після перетину якої підрозділ охорони не встигає перехопити порушника на шляху до його цілі, та обчислення ймовірності виявлення чи нейтралізації порушника на кожному з цих маршрутів. Оскільки на будь-якому об’єкті є велика кількість траекторій, за якими міг би переміщуватися порушник, розрахунок експертами всіх можливих траекторій, причинно-наслідкових зв’язків між можливими подіями та ін., є надто складним завданням, повноту виконання якого важко перевірити, отже оцінка ефективності, що базується на такому підході, не є повною. В результаті досліджень було зроблено висновок, що клітинні автомати є ефективним інструментом для вирішення цієї задачі. В статті описується підхід до моделювання на клітинному автоматі переміщення порушника по гіпотетичному об’єкту за допомогою біосинтетичного алгоритму, розробленого на основі мурашиних алгоритмів.

Мурашині алгоритми. Природні обчислення – нова галузь науки, що інтенсивно розвивається. Основним предметом її досліджень є природні механізми прийняття рішень, які забезпечують адаптацію флори та фауни до навколишнього середовища [14]. Мурашині алгоритми базуються на моделюванні функціонування мурашиної колонії, де кожен агент (мураха) діє за дуже простим набором правил, тоді як вся система в сукупності демонструє раціональну поведінку. Особливістю поведінки всієї системи є використання при взаємодії її елементів виключно локальної інформації та повна відсутність централізованого управління, що є ознакою клітинного автомату [13]. Засобом передачі інформації між агентами є феромон – слід, що агент залишає на своєму шляху. Чим вища концентрація феромону на певному шляху, тим більше агентів буде ним пересуватись. Типовим застосуванням мурашиних алгоритмів є вирішення задачі комівояжера – розрахунку найкоротшого шляху, що проходить через всі міста, які необхідно відвідати лише один раз.

Ймовірнісне правило. Правило, за яким розраховується ймовірність переходу агента в наступне місто на t -й ітерації має такий вигляд:

$$P_{ij,k}(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_{i,k}} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta};$$
$$P_{ij,k}(t) = 0, \text{ якщо } j \notin J_{i,k},$$

де η_{ij} – “видимість”, $\eta_{ij} = 1/R_{ij}$, де R_{ij} – відстань між містами i та j ;