А. И. Дворецкий /д. б. н./,
Л. А. Байдак /д. ф. н./

ГВУЗ «Днепровский государственный
аграрно-экономический университет»,
г. Днипро, Украина
e-mail: dvoretsk@list.ru; lbajdak@i.ua

В. И. Ляшенко /к. т. н./

ГП «УкрНИПИИпромтехнологии»,
г. Желтые Воды, Украина
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

Ф. Ф. Топольный /д. б. н./

ГВУЗ «Центральноукраинский национальный
технический университет»,
г. Кропивницкий, Украина
e-mail: topolnij@gmail.com

Экологическая безопасность в зоне влияния уранового производства

A. I. Dvorezkij /Dr. Sci. (Biolog.)/,
L. A. Bajdak /Dr. Sci. (Filosof.)/

Dniprovsky state agrarian and economic university,
Dnipro, Ukraine
e-mail: dvoretsk@list.ru; lbajdak@i.ua

V. I. Lyashenko /Cand. Sci. (Tech.)/

Ukrainian scientific-research and design-
prospecting Institute of industrial technology,
Zheltie Vody, Ukraine
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

F. F. Topolnij /Dr. Sci. (Biolog.)/

Central Ukrainian National Technical University,
Kropivnizkij, Ukraine
e-mail: topolnij@gmail.com

Environmental safety in the zone of influence of ure-new production

Цель. Повышение экологической безопасности в зоне влияния уранового производства на основе оценки его влияния на окружающую среду и население, разработка и внедрение инженерно-технических решений и мероприятий, направленных на уменьшение воздействия радиационных и других загрязняющих факторов.

Методика. Радиометрические измерения экспозиционной дозы и интенсивности γ -излучения, радиоактивности γ - и β -излучения, мощности экспозиционной дозы γ -излучения, определение мощности поглощенной дозы γ -излучения в воздухе, анализ полученных результатов, статистический и математический методы исследований с использованием комплексного системного подходов по стандартным и новым методикам

Результаты. Показано, что улучшение экологической обстановки на площадках горных объектов достигается за счет проведения планировочных мероприятий, предусматривающих: организацию ливневой канализации для сбора поверхностных и профильтрованных через отвалы вод, подачи их на установку очистки шахтных вод; изоляцию поверхности отвалов почво-растительным слоем, препятствующим пылевыделению и миграции радионуклидов от воздействия атмосферных осадков; рекультивацию загрязненных радионуклидами в процессе производственной деятельности локальных участков общей площадью 20 тыс. м².

Научная новизна. Научно обоснованы, разработаны и внедрены реабилитационные мероприятия по минимизации отрицательных последствий на окружающую природную среду и здоровье человека от воздействия радиационных и других факторов. Предложено СЗЗ уранодобывающих и перерабатывающих предприятий, а также отвалы и сухие пляжи хвостохранилищ засадить лесом, древесно-кустарниковой растительностью, что значительно уменьшит перенос РВ за пределы производственных территорий.

Практическая значимость. Предложено мониторинг объектов окружающей природной среды, радиационной обстановки в населенных пунктах осуществлять посредством приборов и автоматизированных систем нового поколения. (Ил. 4. Табл. 6. Библиогр.: 28 назв.)

Ключевые слова: экологическая безопасность, население, уранодобывающие регионы, природоохранные мероприятия

DOI: 10.33101/S065678934

Введение. Основные источники радиоактивного загрязнения окружающей природной среды: горнодобывающие предприятия (рудные склады; отвалы пустой породы); гидрометаллургический завод (далее - ГМЗ) и отходы его производства, складированные в хранилищах наливного типа; шахтные воды (сбросы); вентиляционные выбросы; транспортные коммуникации (железнодорожные пути, технологические автомобильные дороги, пульпопроводы к хвостохранилищам). Анализ работы горных предприятий показывает, что при добыче и первичной переработке 1 т товарной урановой руды попутно извлекается 1,4-1,6 т твердых отходов, техногенно усиленных источниками ионизирующего излучения природного происхождения, создающих экологически неблагоприятную обстановку региона. Утилизация отходов горно-металлургического производства (закладка выработанных пространств, сооружение плотин для специальных хранилищ и пр.) позволяет использовать лишь 50-60 % общего их объема, а оставшаяся часть подлежит захоронению и последующей рекультивации загрязненных территорий. Поэтому повышение экологической безопасности в зоне влияния уранового производства на основе разработки и внедрения реабилитационных мероприятий, направленных на охрану окружающей среды, радиационную защиту объектов, персонала и населения, проживающего в уранодобывающих регионах, - те важные, имеющие научное, практическое и социальное значение задачи, которые требуют решения [1-4].

Методы исследования и принятые термины. Авторы использовали радиометрические (измерение экспозиционной дозы и интенсивности γ -излучения, измерения радиоактивности γ - и β -излучения, измерения мощности экспозици-

онной дозы γ -излучения, определения мощности поглощенной дозы γ -излучения в воздухе, анализ ПРН) статистический и математический методы исследований с использованием комплексного системного подходов по стандартным и новым методикам.

Радиационная безопасность - состояние радиационно-ядерных объектов и окружающей среды, которое обеспечивает непревышение лимитов доз, исключение любого неоправданного облучения и уменьшение доз облучения персонала и населения ниже установленных лимитов доз, настолько, насколько это может быть достигнуто и экономически обоснованно в соответствии с требованиями «Нормы радиационной безопасности Украины (НРБУ-97) [1].

Результаты исследования и их обсуждение. Урановая промышленность Украины сосредоточена в основном в Днепропетровской и Кировоградской областях и представлена тремя действующими шахтами ГП «ВостГОК» («Ингульская», «Смолинская» и, начиная, с 2011 г. - «Новоконстантиновская»). Эти области расположены на Украинском кристаллическом щите, геохимический состав которого по всему массиву имеет повышенное содержание естественных радионуклидов (ЕРН) уран-радиевого и ториевого рядов. При ведении горных работ и технологического процесса первичной переработки уранового сырья они негативно влияют на окружающую среду и человека. Актуальность радиоэкологических проблем особенно характерна для Приднепровского региона, где, начиная с 50-х годов прошлого столетия, велась добыча и переработка уранового сырья (ГП «ВостГОК», г. Желтые Воды, шахта «Первомайская», г. Кривой Рог, производственное объединение «Приднепровский химический завод», г. Каменское) (рис. 1) [8].

Рис. 1. Размещение хвостохранилищ на территории бывшего ПО «ПХЗ»:

а - схема: № 1 - «Западное»; № 2 - «Центральный Яр»; № 3 - «Юго-восточное»; № 4 - «Днепропетровское»;
б - общий вид хвостохранилища «Днепропетровское»

Внешняя среда. Шахта «Ингульская» ГП «ВостГОК» (далее – шахта «Ингульская») создана в 1968 г. на базе Мичуринского месторождения, представленного рудными телами сложной морфологии, которые прослеживаются до глубины 500 м с тенденцией к резкому выклиниванию в глубину. Очистные работы начаты в 1976 г. Отработка месторождения осложняется тем, что над значительной частью рудных залежей протекает река Ингул. К настоящему времени геологические запасы Мичуринского месторождения в значительной части погашены, а в отработку вовлечены руды, расположенные в 6 км от действующей промышленной площадки ствола «Северный».

Горно-геологическая характеристика этого месторождения аналогична Мичуринскому, но рудные тела прослеживаются до глубины свыше 1000 м. Так как рудные тела расположены под городом Кропивницкий, практически исключается возможность строительства по выдаче и переработке руды непосредственно над месторождением. Поэтому выдачу руд осуществляют по транспортному штреку протяженностью 6,2 м, проложенному на глубине 300 м, и стволу «Северный» [9].

Шахта «Смолинская» ГП «ВостГОК» (далее – шахта «Смолинская») образована в 1976 г. на базе месторождения, которое вскрыто на южном фланге основными стволами «Главный» и «Вспомогательный», пройденными до горизонта 460 м, которые предназначены для выдачи горной массы, спуска – подъема людей, материалов, оборудования, для вентиляции, откачки подземных вод на поверхность; на северном фланге – стволом шахты «Вентиляционная», пройденным до горизонта 280 м. Характеристика отходов добычи и переработки урановых руд приведена в табл. 1.

В состав ГМЗ входят цех основного производства, участки кислотного и известкового хозяй-

ства, хранилища отходов первичной переработки урановой руды в балке «Щ» (основное) и «КБЖ» (резервное). Технологическая схема переработки предусматривает измельчение, сернокислотное выщелачивание, сорбцию, экстракцию, фильтрацию, прокалку и затаривание уранового концентрата. В результате гидрометаллургической переработки руды образуются отходы крупностью 0,074 мм, которые в виде пульпы транспортируются по магистральным трубопроводам в хвостохранилище наливного типа балки «Щ», а его дамбовые воды используются в технологическом процессе.

Твердые радиоактивные отходы (далее – ТРО), образующиеся в результате производственной деятельности ГМЗ, складировались на специально организованных площадках. ТРО в виде металлолома, загрязненного радиоактивными веществами (далее – РВ), складировались в охраняемой зоне территории ГМЗ, а строительный и промышленный мусор – в пределах хвостохранилища «Щ» (табл. 2).

Складирование хвостовой пульпы осуществлялось в хвостохранилища «КБЖ» и «Щ» (табл. 3). Под хвостохранилище использован отработанный карьер бурых железняков, состоящий из малой и большой чаш глубиной соответственно 10-15 и 60-65 м. Сегодня хвостохранилище «КБЖ» выведено из эксплуатации и рекультивируется. Действующее хвостохранилище «Щ» состоит из двух секций, разделенных плотиной, и эксплуатируется с 1959 г. Складирование материала осуществляется гидроналивом в обе секции с образованием поверхностного слоя воды в виде прудов-отстойников. Ограждающие дамбы имеют высоту от 7 до 44 м общей протяженностью около 8 км, мощность слоя хвостов – до 30 м. При верхней отметке дамб 138,3 м, заполнение хвостохранилища достигает уровня 135,1 м [10].

Таблица 1

Характеристика отходов добычи и переработки урановых руд

Наименование показателей	Шахта	
	«Ингульская»	«Смолинская»
Плотность, т/м ³	2,05	1,95
Среднее содержание, Бк/кг		
радий-226	245...2599	858...4415
торий-232	1,2...1934	40...403
калий-40	250...5000	500...9750
Удельная альфа-активность, Бк/кг	10853	7610
МЭД гамма-излучения, мкР/ч	23...671	186...417
Плотность потока альфа-частиц, α-частиц, см ² · мин	0,1...5,2	0,1...1,6
β-частиц, см ² · мин	30...450	25...540
Суммарная активность, Бк	118,4×10 ¹¹	1,6×10 ¹³

Характеристика площадки для складирования загрязненного РВ

Наименование показателей	Металлолом	Строительный и промышленный мусор
Площадь хранилища, м ²	1500	-
Проектная вместимость, т	700	276×10 ³
Общее количество отходов, т	136	10660
Годовое поступление, т	131	1010
Суммарная активность, Бк	320×10 ⁶	24×10 ⁹
Удельная эффективная активность, Бк/кг	2,36×10 ³	2,25×10 ³

Таблица 3

Характеристика хвостохранилищ «КБЖ» и «Щ»

Наименование показателей	Хвостохранилище	
	«КБЖ»	«Щ»
Площадь земельного отвода, га	137,2	614,9
Площадь зеркала хвостохранилища, га	55,6	250,6
Проектный объем, млн м ³	12,4	40,7
Количество заскладированных отходов, млн т	15,9	27,7
Суммарная активность заскладированных отходов, Бк	93,3×10 ¹²	282,6×10 ¹²
Удельная активность хвостов, Бк/кг	5,9×10 ³	10,2×10 ³

Для контроля распространения подземных вод, их химического состава в пределах санитарно-защитной зоны и зоны наблюдения хвостохранилища создана режимная сеть скважин. Два раза в год проводятся замеры уровня подземных вод и отбор проб воды на химический и радиохимический анализ. За каждый год приводится отчетность, выполняется анализ характера миграции сульфатов и нитратов по данным режимных наблюдений. Работы выполняются гидрогеологической службой ГП «ВостГОК». Проводятся также мероприятия по предотвращению пыления хвостового материала из сухих пляжей чаши хвостохранилища путем покрытия их суглинком мощностью до 0,5 м и по укреплению низовых откосов дамб.

Основными факторами воздействия шахт на воздушную и водную среду является эксплуатация подземного и надземного шахтных комплексов и шахтный водоотлив, приводящая к нарушению гидрогеологического, гидрохимического

и гидродинамического режимов поверхностных и подземных вод и радиационному загрязнению компонентов окружающей среды (табл. 4).

Поверхностные воды района шахты «Ингульская» представлены реками Ингул и ее притоком - рекой Бианка, шахты «Смолинская» - ручьем, протекающим в балке Курникова и притоком реки Кильтень. При максимальном шахтном водоотливе ущерб поверхностному стоку р. Ингул в пределах развития депрессионной воронки составляет около 8 %, что свидетельствует о незначительном влиянии производственной деятельности на гидрогеологический режим поверхностных вод. На химический состав поверхностных вод оказывают воздействие атмосферные осадки и стоки установки очистки шахтных вод, сбрасываемые в гидрографическую сеть. Промышленные площадки и отвальные поля урановых месторождений не оборудованы закрытой системой сбора и очистки ливневых и талых вод. Атмосферные осадки по лоткам автомобильных проездов и по

Таблица 4

Содержание ЕРН в водах р. Ингул и р. Курниково

Наименование компонентов	Содержание ЕРН, Бк/м ³			
	Ингул		Курниково	
	Выше сброса	Ниже сброса	Выше сброса	Ниже сброса
Уран природный, мг/дм ³	0,03	0,05	0,60	0,22
Радий-226	0,23×10 ³	0,28×10 ³	0,93×10 ²	4×10 ²
Торий-230	0,07×10 ³	0,06×10 ³	1,00×10 ²	1,4×10 ²
Свинец-210	0,52×10 ³	0,40×10 ³	2,29×10 ²	3,6×10 ²
Полоний-210	0,08×10 ³	0,07×10 ³	1,30×10 ²	1,5×10 ²

рельефу местности попадают непосредственно в гидрографическую сеть. Фильтруясь через радиоактивные породы отвалов, атмосферные осадки загрязняются естественными радионуклидами, вследствие процессов выщелачивания и несут загрязнение в поверхностные воды [11].

Воды шахты «Ингульская» очищаются на установках очистки. Эффективность очистки достигает 70 %. Суммарный водоприток подземных вод в горные выработки колеблется в пределах 360...430 м³/ч, из них около 100–120 м³/ч поступает из штрека Коноплянского горизонта 280 м, соединяющего Мичуринское месторождение. Участие в обводнении Мичуринского месторождения принимают и инфильтрующиеся воды р. Ингул. В меженный период водоприток в горные выработки составляет 170...190 м³/ч, а во время весеннего снеготаяния и при прохождении паводка водоприток повышается до 220...230 м³/ч. Длина депрессионной воронки по простиранию превышает 9 км, а ее ширина колеблется от 1,5 до 3 км. В центре депрессионной воронки величина понижения уровня подземных вод составляет 200...250 м.

Воды шахты «Смолинская» очищаются методом отстаивания и сбрасываются в водоток балки Курникова (рис. 2).

Под воздействием шахтного водоотлива водонесный комплекс рыхлых отложений на большей части территории промышленной площадки

Рис. 2. Установка очистки вод на шахте «Смолинская» (общий вид)

шахты «Смолинская» дренирован и в настоящее время развит в пределах поймы балки Курникова. Питание горизонта происходит за счет инфильтрации поверхностных вод прудов. Согласно существующей системе мониторинга подземных вод по сети разведочных скважин и колодцев (всего 50 колодцев, расположенных в близлежащих селах) гидродинамический и гидрохимический режимы водоносных горизонтов стабилизировались и на радиационную обстановку в районе расположения шахты «Ингульская» влияния не оказывают. Основное влияние водоотлив шахты «Смолинская» оказывает на водоносный горизонт кристаллических пород докембрия и их коры выветривания.

Мониторинг окружающей среды. Водоприток подземных вод шахты «Смолинская» составляет 280 м³/ч. Водоносный горизонт Ватутинского месторождения был осушен в 1970–1987 гг., депрессионная воронка имела размеры по простиранию 2,6 км, вкрест простирания – 1,2 км. Водоприток шахтных вод составляет 0,076 м³/с. Пройдя очистку, они сбрасываются в ручей. Объем сбрасываемых в поверхностные воды очищенных шахтных вод более чем в 2 раза превышает естественный расход ручья (0,029 м³/с). Шахтные диффузоры, вентиляционные установки радиометрического обогащения руды, отвалы пустых пород и забалансовых руд по содержанию полезного компонента являются основными источниками выбросов в атмосферный воздух, содержащих ЕРН, радон и дочерние продукты его распада (табл. 5).

Максимально возможная суммарная индивидуальная дозовая нагрузка на население, проживающее в зоне влияния шахт «Ингульская», составляет 0,951, «Смолинская» – 0,722 м³/год. Система мониторинга на промышленных площадках горных предприятий обеспечивает контроль: выбросов рудной пыли шахтным диффузором, рудо-обогажительной фабрики (далее – РОФ), пылеобразованием пустых пород и забалансовых руд; качества шахтных вод до и после очистки перед сбросом в гидрографическую сеть; содержания ЕРН в поверхностных водах и донных и

Таблица 5

Характеристика выбросов загрязняющих веществ

Наименование показателей	Шахты	
	«Ингульская»	«Смолинская»
Разрешенный годовой выброс по пыли рудной, т/год	42,137	92,392
Фактический годовой выброс:		
– пыль рудная, т/год	8,698	6,499
– суммарная альфа-активность, Бк/год	4,65×10 ⁸	5,1×10 ⁸
– уран природный, т/год	2,28×10 ⁻³	4,4×10 ⁻³
– радий-226, Бк/год	4,62×10 ⁸	2,8×10 ⁸

рыхлых отложениях; радиоактивного загрязнения воздушной среды и почв на промышленной площадке, в пределах санитарно-защитной зоны (далее – СЗЗ) и зоны наблюдения (далее – ЗН) (рис. 3) [12; 13].

ГМЗ в процессе производственной деятельности приводит к радиационному загрязнению компонентов окружающей среды: водной и воздушной. Основными факторами воздействия на окружающую среду являются: цех основного производства – выбросы пыли рудной, содержащей уран и продукты его распада; хвостохранилищ «КБЖ» и балки «Щ» – вынос и разнос пыли с поверхностей сухих пляжей; пульпопровода – пролив хвостовой пульпы на поверхность прилегающей к пульпопроводу территории в случае нарушения его целостности [14; 15]. Основными поверхностными водотоками в районе являются реки Желтая и Зеленая. Они протекают в 3 и 5 км, соответственно, от цеха основного производства ГМЗ и хвостохранилища «КБЖ». Хвостохранилище «Щ» расположено в 0,5 км от р. Желтая. Техногенные воды в гидрографическую сеть не

сбрасываются. Атмосферные осадки, переходящие в поверхностный сток, на территории цеха основного производства полностью улавливаются системой ливневого водоотвода и направляются в хвостохранилище «Ш». Воды поверхностного стока отводятся от хвостохранилища «КБЖ» и «Ш» нагорными канавами и, не смешиваясь с техногенными водами, попадают в поверхностные водотоки. Таким образом, воды рек Желтой и Зеленой не испытывают поверхностного загрязнения от цеха основного производства и хвостохранилищ (табл. 6).

Максимальная эффективная индивидуальная дозовая нагрузка на население от действующих объектов ГП «ВостГОК» не превышает 0,12 м³/год, что соответствует нормам НРБУ-97 [1]. Разрешенный годовой выброс по рудной пыли составляет 11,574 т, а фактический – 4,812 т. Мониторинг позволяет контролировать влияние ГМЗ, хвостохранилищ «КБЖ» и «Щ» на водную среду района. Вместе с тем предлагается расширить сеть мониторинга: создать 4 наблюдательных поста (по 2) на реках Желтая и Зеленая в пределах зон

Рис. 3. Принципиальная схема организации радиационного мониторинга

Характеристика радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха

Наименование объекта	Массовая концентрация пыли, мг/м ³	Суммарная альфа-активность, Бк/м ³
Промплощадка ГМЗ	0,189	$2,5 \times 10^{-3}$
Промплощадка «КБЖ»	0,49	$3,0 \times 10^{-3}$
Промплощадка балки «Щ»	0,49	$2,0 \times 10^{-3}$
СЗЗ ГМЗ	0,1	$1,2 \times 10^{-3}$
СЗЗ балки «Щ»	0,2	$2,0 \times 10^{-3}$
Жилая застройка г. Желтые Воды	0,06	$6,3 \times 10^{-4}$

наблюдения; восстановить наблюдательные скважины на территории ГМЗ, восстановить и пробурить дополнительные скважины для уточнения площади загрязнения подземных вод и распространения водоносных горизонтов [16; 17]. Контроль условий труда и мониторинг за урановыми объектами осуществляется Центральной пылегазо-дозиметрической лабораторией (ЦПГДЛ), в состав которой входят физико-химические лаборатории шахт ГП «ВостГОК». Ее основные задачи – осуществлять контроль: радиационной обстановкой на шахтах, ГМЗ, на территории их промплощадок и во внешней среде; соблюдения предельно допустимых санитарных норм степени радиоактивного загрязнения на рабочих местах; индивидуальных уровней внешнего и внутреннего облучения персонала и радиоактивность твердых и жидких отходов. Мониторинг объектов окружающей природной среды, радиационной обстановки в населенных пунктах осуществляется посредством радиометр-дозиметров МКС-01Р, ДКС-96, дозиметров ДБГ-01Н, ДКС-90Н (в целях локализации радиоактивно загрязненных участков – радиометров СРП-68-01 и СРП-88Н), радиометров радона РА-09, радиометрических установок САС-5, гамма-спектрометров на базе анализатора «Nokia» LP-4900B с ДГДК-80В. Средства измерений и вспомогательное оборудование разработаны и серийно выпускаются фирмами «Тетра» и «Позитрон GmbH» (г. Желтые Воды, Украина) и проходят госповерку [18; 19].

Технологические и планировочные мероприятия. Технологические мероприятия предусматривают: реконструкцию установки очистки от урана и естественных радионуклидов шахтных вод и стоков дождевой канализации; применение многоступенчатого орошения выдаваемого воздуха на вентиляционных горизонтах; реконструкцию фильтра главной вентиляторной установки; восстановление систем аспирации в местах переработки горной массы; применение в производстве систем разработки, обеспечивающих селективную выемку руды, снижение показателя разубоживания; отработку запасов, обеспечивающих при минимальных объемах добычи потребность в готовой продукции, с переводом

неотрабатываемых запасов в условно-балансовые; сортировку горной массы в шахте и использование ее для погашения пустот. Внедрение технологической селективной выемки полезного ископаемого, достигаемой за счет уменьшения высоты этажа и отдельной выемки горной массы из контура рудных тел, позволит сократить объем выдаваемой горной массы на 15...20 %, (фактическое разубоживание руды достигает 25...30 %) [20; 21].

Планировочные мероприятия предусматривают: организацию ливневой канализации для сбора поверхностных и профильтрованных через отвалы вод и подачи их на установку очистки шахтных вод; изоляцию поверхности отвалов почво-растительным слоем, препятствующим пылевыделению и миграции радионуклидов от воздействия атмосферных осадков; рекультивацию загрязненных радионуклидами в процессе производственной деятельности локальных участков общей площадью 20 тыс. м². В частности на Желтоводской промплощадке предусматривается создание лесозащитных насаждений в санитарно-защитных зонах ГМЗ, «КБЖ» и хвостохранилища «Щ» (общая площадь 30 га); завершение работ по рекультивации хвостохранилища «КБЖ».

Технологические мероприятия предусматривают: покрытие поверхностей «сухих» пляжей хвостохранилища «Щ» суглинком (по мере необходимости); реконструкцию систем газоочистки в отделениях приема, измельчения и сорбции; организацию второй ступени очистки газов от рудной пыли и аэрозолей в отделении выщелачивания ГМЗ; «мокрое» доулавливание пыли в газах и их охлаждение после прокаточных печей и шнека подсушки в печном отделении ГМЗ; устройство систем орошения в складах руды и узлах ее перегрузки; использование гидропылеподавляющих систем для уменьшения пыления «сухих» пляжей хвостохранилища «Щ»; устройство установки жидкостной дезактивации оборудования на площадке складирования металлолома, загрязненного радиоактивными веществами; организация «сухого» в иммобилизованном виде складирования хвостов вместо традиционного наливного способа, используемого в хвостохранилище «Щ» (рис. 4).

Рис. 4. Схема утилизации твердых отходов от подземной добычи урановой руды в балке:

а, б – продольное и поперечное сечения: 1 – супесь; 2 – суглинок; 3 – дренажная канава; 4 – основание балки; 5 – антифильтрационный слой из глины; 6 – отвал пустой породы; 7 – сорбционный слой из суглинка мощностью 0,5 м; 8 – гидроизоляция из глины; 9 – биопроникающий дренажный слой щебня; 10 – гидроизоляционный слой суглинка мощностью 1,5 м; 11 – плодородная почва мощностью 0,3 м; 12 – деревья (после нанесения плодородной почвы вся территория должна быть покрыта лесом)

С этой целью предусматривается разделение хвостовой пульпы на твердую и жидкую фазы. Жидкая фаза возвращается на ГМЗ в оборотный цикл, а твердая – после обезвоживания на фильтрах смешивается с цементом и в виде цементного раствора укладывается на предварительно подготовленную поверхность хвостохранилища высотой до 10 м. После достижения необходимой прочности массив рекультивируется. Планировочные и технологические мероприятия на Желтоводской промплощадке включают: создание лесозащитных насаждений в санитарно-защитных зонах ГМЗ, «КБЖ» и хвостохранилища «Щ» (общая площадь 30 га); завершение работ по рекультивации хвостохранилища «КБЖ». Покрытие поверхностей «сухих» пляжей хвостохранилища «Щ» суглинком (по мере необходимости); реконструкцию систем газоочистки в отделениях приема, измельчения и сорбции; организацию второй ступени очистки газов от рудной пыли и аэрозолей в отделении выпелачивания ГМЗ; «мокрое» доулавливание пыли в газах и их охлаждение после прокаточных печей и шнека подсушки в печном отделении ГМЗ; устройство систем орошения в складах руды и узлах ее перегрузки; использование гидропылеподавляющих

систем для уменьшения пыления «сухих» пляжей хвостохранилища «Щ»; устройство установки жидкостной дезактивации оборудования на площадке складирования металлолома, загрязненного радиоактивными веществами [22; 23].

Таким образом, повышение экологической безопасности в зоне влияния урановых объектов достигается за счет разработки и внедрения новых методов, технологий и технических средств, обеспечивающих возможность использования для закладки местных некондиционных материалов и отходов производства, уменьшение расхода вяжущего, снижение затрат на добычу уранового сырья. Технология укладки иммобилизованных хвостов горно-металлургических производств (ГМП) в хранилище наклонными слоями обеспечивает удаление накапливающейся жидкости в емкости хранилища по мере его заполнения [24; 25].

Направление дальнейших исследований.

Авторы отмечают целесообразность полного покрытия лесом всех загрязненных радионуклидами локальных участков, а также всех СЗЗ ГМЗ, «КБЖ» и балки «Щ», а также шахт «Ингульская», «Смолинская», и «Новоконстантиновская». Лес заменит гидропылеподавляющие системы для уменьшения пыления «сухих» пляжей, поскольку

ку в лесу ветра практически нет. Территории, где ПДК загрязнений превышена, необходимо изымать из хозяйственного использования и переводить в земли природно-заповедного фонда местного значения со сплошным залеснением и ограниченным посещением людьми. Возможно также перевести их под посев технических культур, а в водоемах запретить вылов рыбы, купание и др. Кроме того, нужно разработать научно-методические основы и технические средства для повышения плодородности и эффективности использования почв промышленных зон ГМП, а также дать оценку их влияния на окружающую среду и человека [26–28].

Выводы

1. Обосновано, что максимально возможная суммарная индивидуальная дозовая нагрузка на население, проживающее в зоне влияния шахт «Ингульская» составляет 0,951, «Смолинская» – 0,722 м³/год и максимальная эффективная индивидуальная дозовая нагрузка на население от действующих объектов ГП «ВостГОК» не превышает 0,12 м³/год, что соответствует нормам НРБУ-97.

2. Предложено все СЗЗ уранодобывающих и перерабатывающих производств засадить лесом с передачей их в природно-заповедный фонд для уменьшения газово-пылевого переноса РВ за их пределы.

3. Показано, что улучшение экологической обстановки на площадках горных предприятий достигается за счет проведения технологических, планировочных и инженерных мероприятий, предусматривающих: покрытие поверхностей «сухих» пляжей хвостохранилища «Щ» суглинком (по мере необходимости); реконструкцию систем газоочистки в отделениях приема, измельчения и сорбции; организацию второй ступени очистки газов от рудной пыли и аэрозолей в отделении выщелачивания ГМЗ и др.; организацию ливневой канализации для сбора поверхностных и профильтрованных через отвалы вод и подачи их на установку очистки шахтных вод; изоляцию поверхности отвалов почво-растительным слоем, препятствующим пылевыведению и миграции радионуклидов от воздействия атмосферных осадков; рекультивацию загрязненных радионуклидами в процессе производственной деятельности локальных участков общей площадью 20 тыс. м² и др.

4. Рекомендовано «сухое» в иммобилизованном виде складирование хвостов вместо традиционного наливного способа, который включает комплекс подготовки хвостов к складированию, состоящий из корпуса обезвоживания, складов обезвоженных хвостов и цемента, узла приготовления раствора, сгустителей, конвейерных гале-

рей и вспомогательных сооружений. При заполнении связанными хвостами всей существующей площади зеркала хвостохранилища на высоту 10 м и производительности ГМЗ до 1,5 млн т в год, продлевается срок его эксплуатации на 50 лет.

5. Предложен мониторинг объектов окружающей природной среды, радиационной обстановки в населенных пунктах осуществлять посредством приборов и автоматизированных систем нового поколения а также расширить сеть мониторинга: создать 4 наблюдательных поста (по 2) на реках Желтая и Зеленая в пределах зон наблюдения; восстановить наблюдательные скважины на территории ГМЗ, восстановить и пробурить дополнительные скважины для уточнения площади загрязнения подземных вод и распространения водоносных горизонтов

Работа выполнена по результатам доклада на XIV Международной научно-практической конференции «Экологическая безопасность: проблемы и пути решения» (г. Харьков, 10–14 сентября 2018 г.) [27].

Библиографический список / References

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) від 01.12.97 № 62. – К., 1997. – 127 с.

Norms of radiation safety of Ukraine (NRBU-97), 01.12.97, No. 62. Kyiv, 1997, 127 p. (In Ukraine).

2. Добыча и переработка урановых руд: монография / под общ. ред. А. П. Чернова. – К.: Адеф-Украина, 2001. – 238 с.

Chernova A. P. (ed.) (2001). *Dobycha i pererabotka uranovykh rud* [Mining and processing of uranium ores]. Kiev, Adef-Ukraine, 238 p. (In Ukraine).

3. Карамушка В. П. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд / В. П. Карамушка, Е. Н. Камнев, Р. З. Кузин. – М.: Горная книга, 2014. – 183 с.

Karamuschka V. P., Kamnev E. N., Kusin R. Z. (2014). *Rekultivazij obektov dobitchi i pererabotki uranovich rud*. Moscow: Gornaja kniga, 183 p. (In Russian).

4. Коваленко Г. Д. Радиоэкология Украины / Г. Д. Коваленко. – Х.: ИНЖЕК, 2013. – 344 с.

Kovalenko G. D. (2013). *Radioekologij Ukraine*. Kharkiv, INGEK, 344 p. (In Ukraine).

5. Лисиченко Г. В. Мировой опыт реабилитации урановых производств / Г. В. Лисиченко, В. Е. Ковач // Техногенно-экологическая безопасность и гражданская защита. – Кременчуг, 2011. – Вып. 6. – С. 4–12.

Lysychenko G. V., Kovach V. E. (2011). *Mirovoj opit rehabilitazii uranovich proizvodstv* [World experience of uranium production rehabilitation]. *Technogenno-ekologicheskaj besopasnost i zivilnaj saschita*, issue 6, pp. 4–12 (in Ukraine).

6. Ляшенко В. И. Радиационная и социальная защита населения в регионах уранодобывающих

и перерабатывающих производств Украины / В. И. Ляшенко // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 2. – С. 55–62.

Lyashenko V. I. (2013). *Radiazionnaja i sozialnaja zaschita naselenij v regionach uranodobyvayuschyh i pererabatyvayuschyh proizvodstv Ukrainy* [Radiation and Social protection of population in the regions and uranodobyvayuschyh pererabatyvayuschyh productions Ukraine]. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*, no. 2, pp. 55–62.

7. Ляшенко В. И. Повышение экологической безопасности в зоне влияния уранового производства / В. И. Ляшенко // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2015. – № 1. – С. 43–52.

Lyashenko V. I. (2015). *Povyschenie ekologitscheskoj bezopasnosti v sone vlijnij uranovogo proizvodstva* [Increase of ecological safety in the zone of influence of uranium production]. *Izv. VUZov. Geologij i rasvedka*, no. 1, pp. 43–52.

8. Ляшенко В. И. Радиационный мониторинг объектов урановой промышленности Украины / В. И. Ляшенко // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2015. – № 6. – С. 74–83.

Lyashenko V. I. (2015). *Radiacionnyj monitoring objektov uranovoj promischlennosti Ukrainy* [Radiation monitoring objects uranium industry of Ukraine]. *Izv. VUZov. Geologij i rasvedka*, no. 6, pp. 74–83.

9. Ляшенко В. И. Экологическая безопасность уранового производства в Украине / В. И. Ляшенко // Горный журнал. – 2014. – № 4. – С. 113–116.

Lyashenko V. I. (2014). *Ekologitscheskaja bezopasnost' uranovogo proizvodstva v Ukrainy* [Environmental safety of uranium production in Ukraine]. *Gornyj zhurnal*, no. 4, pp. 113–116.

10. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 145-р від 15.03.2006 р. «Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2030 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80>

Cabinet of Ministers of Ukraine no 145-p of 15.03.2006. On approval of the Energy Strategy of Ukraine until 2030. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/145-2006-%D1%80> (in Ukraine).

11. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 616-р – редакція від 31.05.2017 р. «Про схвалення Концепції реформування системи державного нагляду (контролю) у сфері охорони навколишнього природного середовища».

Rosporjdgjenj Kabinetu Ministriv Ukrainy no.616-r - redakcij vid 31.05.2017 r. "Pro schvalennj Konzepzii reformuvannj sistemi dergavnogo nahljdu (kontroly) u sferi ochoroni navkolischnygo prirodnogo seredovischa" (in Ukraine).

12. Санитарные правила 2.6.1.2612–10. Основные санитарные правила обеспечения радиаци-

онной безопасности (ОСПОРБ–99/2010) (с изм. от 16.09.2013 г.) / Минздрав России, 2010. – 79 с.

Minsdrav Rossii, *Sanitarnie pravila 2.6.1.2612–10. Osnovnie sanitarnie pravila obespechenij radiacionnoj bezopasnost' I* (OSPORB–99/2010) (s ism. ot 16.09.2013 g.) (2010) [2.6.1.2612–10 rules. Basic rules sanytarnye Provision radiation safety (OSPORB–99/2010) (amended from 09.16.2013)], 79 p. (In Russian).

13. Ляшенко В. И. Екологічна безпека уранового виробництва / В. И. Ляшенко, Ф. П. Топольний, М. І. Мостіпан, Т. С. Лісова. – Кіровоград: КОД, 2011. – 240 с.

Lyashenko V. I., Topolnia F. F., Mostipan M. I., Lisova T. S. (2010). *Ekologitscheskaja bezopasnost' uranovogo proizvodstva* [Environmental safety of uranium production]. Kirovograd, KOD, 215 p. (In Ukraine).

14. Стусь В. П. Экология окружающей среды и безопасность жизнедеятельности населения в промышленном регионе / В. П. Стусь, В. И. Ляшенко // Экология и промышленность. – 2011. – № 2. – С. 23–31.

Stus' V. P., Lyashenko V. I. (2011). *Ecologia okruschajschej sredi i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti naselenia v promischlennom regione* [Ecology of the surrounding area and the safety of the livelihoods of the population in the most developed region]. *Ecologia i promischlennost'*, no. 2, pp. 23–31.

15. Сердюк А. М. Екологія довкілля та безпека життєдіяльності населення у промислових регіонах України / А. М. Сердюк, В. П. Стусь, В. І. Ляшенко. – Дніпропетровськ: Пороги, 2011. – 486 с.

Serduk A. M., Stus' V. P., Lyashenko V. I. (2011). *Ecologia dovkiij ta bespeka schitedijlnosti naselenj u promislovich regionach Ukrainy* [Ecology of the environment and life safety of the population in industrial regions of Ukraine]. Dnipropetronsk: Porogi, 486 p. (In Ukraine).

16. Стусь В. П. Безопасность жизнедеятельности населения в уранодобывающих регионах Украины / В. П. Стусь, В. И. Ляшенко // Безопасность жизнедеятельности. – 2016. – № 6. – С. 16–21.

Stus' V. P., Lyashenko V. I. (2013). *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti naselenia v uranodobivajschich regionach Ukrainy* [Safety of life of the population in uranium-producing regions of Ukraine]. *Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*, no. 12, pp. 41–47.

17. Стусь В. П. Повышение безопасности жизнедеятельности населения в промышленных регионах / В. П. Стусь, В. И. Ляшенко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 5. – С. 198–215.

Stus' V. P., Lyashenko V. I. (2017). *Povyschenie bezopasnosti zhiznedejatel'nosti naselenia v promischlennich regionach* [Increasing the safety of

the population's life in industrial regions]. *Gornij informacionno-analiticheskij biulleten'*, no. 5, pp. 198-215.

18. Ляшенко В. И. Повышение радиационной безопасности на основе надежного системного и приборного обеспечения / В. И. Ляшенко, С. П. Зонон, Г. Д. Коваленко // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 11-15 вересня 2017 р.)*. – Х.: Райдер, 2017. – С. 263-274.

Lyashenko V. I., Sonov S. P., Kovalenko G. D. (2017). *Povischnie radiatsionnoy bezopasnosti na osnove nadeschnogo sistemnogo i pribornogo obespetchenij* [Increase of radiation safety on the basis of reliable system and instrumentation]. Kharkov: Rajder, pp. 263-274 (in Ukraine).

19. Ляшенко В. И. Повышение радиационной безопасности на основе надежного системного и приборного обеспечения / В. И. Ляшенко, С. П. Зонон, Ф. Ф. Топольный, Г. Д. Коваленко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2017. – № 6 (309). – С. 81-88.

Lyashenko V. I., Sonov S. P., Topolnia F. F., Kovalenko G. D. (2017). *Povischnie radiatsionnoy bezopasnosti na osnove nadeschnogo sistemnogo i pribornogo obespetchenij* [Increase radiation safety on the basis of reliable system and instrumentation]. *Metalurgicheskaj i gornorudnaj promischlenost'*, no. 6 (309), pp. 81-88.

20. Ляшенко В. И. Повышение экологической безопасности и защита населения в уранодобывающих регионах Украины. Проблемы и пути их решения / В. И. Ляшенко, В. П. Стус, Т. С. Лисовая // *Маркшейдерия и Недропользование*. – 2018. – № 3 (95). – С. 41-48.

Lyashenko V. I., Stus' V. P., Lisova T. S. (2018). *Povischnie ekologicheskoy bezopasnosti i zaschita naselenia v uranodobivajschich regionach Ukraini. Problemi i puti ich reschenij* [Increasing the safety of the population's life in industrial regions]. *Markshejderij i Nedropol'sovanie*, no. 3 (95), pp. 41-48.

21. Kulik L., Stemann H. (2014). Ecology and biodiversity protection in the Rhenish lignite mining area. *World of Mining – Surface & Underground*. – Vol. 66 (3). – P. 143-152.

22. Lauer N. E., Hower J. C., Hsu-Kim H., Taggart R. K., Vengosh A. (2015). Naturally occurring radioactive materials in coals and coal combustion residuals in the united states // *Environmental Science & Technology*. – Vol. 49, no. 18. – P. 11227-11233.

23. Pulz K. (2014). Meeting the challenges and implementing the management objectives of lignite mining rehabilitation. *World of Mining – Surface & Underground*. – Vol. 66 (3). – P. 153-159.

24. Wang C., Feng Q., Sun R., Liu G. (2015). Radioactivity of Natural Nuclides (40K, 238U, 232Th,

226Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China // *Minerals*. – No. 5. – P. 637-646.

25. Коваленко Г. Д. Оценка радиационной опасности хвостохранилищ Приднестровского химического завода для населения / Г. Д. Коваленко, Н. С. Дурасова // *Ядерная и радиационная безопасность*. – 2015. – № 3. – С. 49-53.

Kovalenko G. D., Durasova N. S. (2015). Estimation of radiation hazard of the dump ponds of Nuclear and radiation safety. No. 3, pp. 49-53.

26. Дворецкий А. И. Вплив уранової промисловості Придніпров'я на стан довкілля. Проблеми та шляхи їх вирішення / А. І. Дворецкий, В. І. Ляшенко, В. П. Стус, Г. Д. Коваленко // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: зб. наук. статей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 10-14 вересня 2018 р.)* / УКРНДІЕП. – Х.: ФОП Столярова І. П., 2018. – С. 156-165.

Dvorezkij A. I., Lyashenko V. I., Stus' V. P., Kovalenko G. D. (2018). *Povischnie radiatsionnoy bezopasnosti na osnove nadeschnogo sistemnogo i pribornogo obespetchenij* [Increase of radiation safety on the basis of reliable system and instrumentation]. *Sbornik trudov XIV Megdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferenzii*, 11-15.08.2017. Kharkov, Stoliarova I. P., pp. 156-165 (in Ukraine).

27. Ляшенко В. И. Повышение экологической безопасности горного производства на основе использования отходов добычи и переработки рудного сырья / В. И. Ляшенко, В. З. Дятчин, И. А. Лисовой // *Экология и промышленность России*. – 2018. – Т. 22, № 4. – С. 4-10.

Lyashenko V. I., Dyatchin V. Z., Lisovoj I. A. (2018). Increase of ecological safety of mining production on the basis of the use of waste from extraction and processing of ore sorea. *Ecology and industry of Russia*. Vol. 22, no. 4, pp. 4-10.

28. Дворецкий А. И. Вплив уранової промисловості на стан довкілля та населення / А. І. Дворецкий, В. І. Ляшенко, Ф. Ф. Топольний, Г. Д. Коваленко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2018. – № 4 (313). – С. 99-109.

Dvorezkij A. I., Lyashenko V. I., Topolnia F. F., Kovalenko G. D. (2018). Influence of uranium industry on the environment and population. *Metalurgicheskaj i gornorudnaj promischlenost'*, no. 4 (313), pp. 99-109.

Мета. Підвищення екологічної безпеки в зоні впливу уранового виробництва на основі оцінки його впливу на навколишнє середовище і населення, розробки та впровадження інженерно-технічних рішень і заходів, спрямованих на зменшення впливу радіаційних та інших забруднюючих факторів.

Методика. Радіометричні вимірювання експозиційної дози й інтенсивності γ-випромінювання, вимі-

рювання радіоактивності γ - і β - вимірювання, потужності експозиційної дози γ - вимірювання, визначення потужності поглиненої дози γ - вимірювання в повітрі, аналіз отриманих результатів, статистичний і математичний методи досліджень з використанням комплексного і системного підходів за стандартними і новими методиками.

Результати. Показано, що поліпшення екологічної обстановки на майданчиках гірничих об'єктів досягається за рахунок проведення планувальних заходів, що передбачають: організацію зливової каналізації для збору поверхневих і профільтованих через відвали вод, подачі їх на установку очищення шахтних вод; ізоляцію поверхні відвалів ґрунто-рослинним шаром, що перешкоджає пилвиділенню і міграції радіонуклідів від впливу атмосферних опадів; рекультивацію забруднених радіонуклідами в процесі виробничої діяльності локальних ділянок загальною площею 20 тис. м².

Наукова новизна. Науково обґрунтовано, розроблено та впроваджено реабілітаційні заходи щодо мінімізації негативних наслідків на навколишнє природне середовище та здоров'я людини від впливу радіаційних та інших факторів. Запропоновано СЗЗ урановидобувних і переробних підприємств, а також відвали і сухі пляжі хвостосховищ засадити лісом, деревами та кущами, що значно зменшить перенесення РВ за межі виробничих територій.

Практична значущість. Запропоновано моніторинг об'єктів навколишнього природного середовища, радіаційної обстановки в населених пунктах здійснювати за допомогою приладів і автоматизованих систем нового покоління.

Ключові слова: екологічна безпека, населення, урановидобувні регіони, природоохоронні заходи.

Purpose. Improving environmental safety in the zone of influence of uranium production based on an assessment of its impact on the environment and population, the development and implementation of engineering solutions and measures aimed at reducing the impact of radiation and other polluting factors.

Methodology. Radiometric measurements of exposure dose and γ -radiation intensity, measurements of γ - and β -radioactivity, γ -radiation exposure dose rate, determination of the γ -absorbed dose rate in the air, analysis of the results, statistical and mathematical methods of research using integrated systems approaches according to standard and new methods

Findings. It is shown that the improvement of the environmental situation at the sites of mountain sites is achieved through the implementation of planning activities that include: organizing storm sewers to collect surface and filtered water through the dumps, and feed them to the mine water treatment plant; isolation of the surface of the dumps by the soil and vegetative layer, which prevents dust emission and migration of radionuclides from the effects of precipitation; recultivation of contaminated with radionuclides in the process of production activities of local areas with a total area of 20 thousand square meters.

Originality. Rehabilitation measures to minimize negative effects on the environment and human health from the effects of radiation and other factors have been scientifically substantiated, developed and implemented. The proposed SPZ of uranium mining and processing enterprises, as well as dumps and dry beaches planting tailings with forest, trees and shrubs, which will significantly reduce the transfer of radioactive substances outside the production areas.

Practical value. It is proposed to monitor the environment, the radiation situation in human settlements by means of instruments and automated systems of the new generation.

Key words: environmental safety, population, uranium mining regions, environmental protection measures.

Рекомендована к публикации
д. с.-х. н. Н. Н. Харитоновым

Поступила 26.11.2018