

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ УРАНОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.И. Ляшенко, Т.В. Чекушина, И.А. Лисовой, Т.С. Лисовая

**Государственное предприятие "Украинский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт промышленной технологии", г. Желтые Воды, Украина,
Институт проблем комплексного освоения недр РАН,
Уманский национальный университет садоводства, г. Умань, Украина,
Публичное акционерное общество "ВИТАМИНЫ", г. Умань, Украина**

Показано, что улучшение экологической обстановки на площадках горных объектов достигается благодаря проведению 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 пылевыведению и миграции радионуклидов от воздействия атмосферных осадков; рекультивацию загрязненных радионуклидами в процессе производственной деятельности локальных участков общей площадью 20 тыс. м². Научно обоснованы, разработаны и внедрены реабилитационные мероприятия по минимизации отрицательных последствий на окружающую природную среду и здоровье человека от воздействия радиационных и других загрязняющих факторов.

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

Environmental Safety in the Zone of Influence of Uranium Production

V.I. Lyashenko, T.V. Chekushina, I.A. Lisovoy, T.S. Lisovaya

**State Enterprise "Ukrainian Research and Development and Survey Institute of Industrial Technology",
52204 Zholti Vody, Ukraine
Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, 111020 Moscow, Russia
Uman National University of Horticulture, 20305 Uman, Ukraine
Public Joint Stock Company "VITAMINY", 20300 Uman, Ukraine**

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: the organization of storm sewers to collect surface and filtered through the dumps of water, supply them to the mine waters treatment plant; isolation of the surface of the dumps by the soil and vegetation layer, which prevents dust emission and migration of radionuclides from the effects of precipitation; recultivation of contaminated radionuclides in the process of production activities of local areas with a total area of 20 thousand m². Rehabilitation measures to minimize negative effects on the environment and human health from the effects of radiation and other polluting factors have been scientifically substantiated, developed and implemented.

Keywords: environmental safety, population, uranium mining regions, environmental protection measures

DOI: 10.18412/1816-0395-2019-03-60-65

Уранодобывающие предприятия имеют особенности, связанные с обеспечением радиационной безопасности, поскольку в процессе добычи и переработки урановых руд в окружающую среду поступают естественные радионуклиды. Основные источники радиоактивного загрязнения окружающей природной среды — горнодобывающие предприятия: рудные склады; отвалы пустой породы; гидromеталлургический

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 [1].

Урановая промышленность Украины сосредоточена в основном в Днепропетровской и Кропивницкой областях и представлена тремя действующими шахтами ГП "ВостГОК" ("Ингульская", "Смолинская" и "Новоконстантиновская" — начиная с 2011г.). Эти области расположены на Украинском кристаллическом щите, геохимический состав которого по всему массиву имеет повышенное содержание естественных радионуклидов (ЕРН) уран-радиевого и ториевого рядов. Проведение горных работ и технологический процесс первичной переработки рудного сырья негативно влияют на окружающую среду и человека. Актуальность радиоэкологических проблем особенно характерна для Приднепровского региона, где начиная с 50-х гг. прошлого столетия велась добыча и переработка рудного сырья (ГП "ВостГОК", г. Желтые Воды, шахта "Первомайская", г. Кривой Рог, производственное объединение "Приднепровский химический завод", г. Каменское).

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". По горно-геологической характеристике это месторождение аналогично Мичуринскому, но рудные тела прослеживаются до глубины свыше

1000 м. Так как рудные тела расположены под городом Кропивницкий, практически исключается возможность строительства горных объектов по выдаче и переработке руды непосредственно над месторождением. Поэтому выдачу руд осуществляют по транспортному штреку протяженностью 6,2 км, пройденному на глубине 300 м, и стволу "Северный".

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. Характеристики отходов добычи и переработки урановых руд приведены в табл. 1.

В состав ГМЗ входят цех основного производства, участки кислотного и известкового хозяйства, хранилища отходов первичной переработки руды в балке "Щ" (основное) (рис. 1) и "КБЖ" (резервное) (рис. 2). Технологическая схема переработки предусматривает измельчение, сернокислотное выщелачивание, сорбцию, экстракцию, фильтрацию, прокалку и затаривание 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 (табл. 2).

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 эксплуата-



Рис. 1. Общий вид действующего хвостохранилища в балке "Щ" по складированию продуктов гидрометаллургической переработки руд

Fig. 1. General view of the existing tailing dump in the beam SHCH by storing products of hydrometallurgical processing of ores



Рис. 2. Горно-техническая рекультивация на хвостохранилище "КБЖ" (фото)

Fig. 2. Mining and technical recultivation at the KBZH tailing dump (photo)

ции и рекультивируется. Действующее хвостохранилище "Щ" состоит из двух секций, разделенных плотиной, и эксплуатируется с 1959 г. Складирование материала проводится гидрона-

Таблица 1. Характеристика отходов добычи и переработки урановых руд
Table 1. Characterization of waste mining and processing of uranium ores

Показатель	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, см ² /мин:		
α-частиц	0,1–5,2	0,1–1,6
β-частиц	30–450	25–540
Суммарная активность, Бк	118,4·10 ¹¹	1,6·10 ¹³

Таблица 2. Характеристика хвостохранилищ "КБЖ" и "Ц"

Table 2. Characteristic of KBZH and SHCH tailing dumps

Показатель	Хвостохранилища	
	"КБЖ"	"Ц"
Площадь, га:		
земельного отвода	137,2	614,9
зеркала хвостохранилища	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

Таблица 3. Содержание естественных радионуклидов (ЕРН) в водах рек Ингул и Курниково, Бк/м³

Table 3. The content of natural radionuclides (NRN) in the waters of Ingul and Kunikovo rivers, Bq/m³

Радионуклиды	Р. Ингул	Р. Курниково
Уран природный*	0,03/0,05	0,6/0,22
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	1,0·10 ² /1,4·10 ²
Свинец-210	0,52·10 ³ /0,4·10 ³	2,29·10 ² /3,6·10 ²
Полоний-210	0,08·10 ³ /0,07·10 ³	1,3·10 ² /1,5·10 ²

Примечание. Числитель – выше сброса, знаменатель – ниже сброса.

*Содержание мг/дм³.

ливом 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.

Для контроля за распространением подземных вод, их химическим составом в пределах санитарно-защитной зоны (СЗЗ) и зоны наблюдения (ЗН) 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, анализируется характер 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 мощ-

ностью до 0,5 м и по укреплению низовых откосов дамб.

Основные факторы воздействия шахт на воздушную и водную среду — эксплуатация подземного и надземного шахтных комплексов и шахтный водоотлив, приводящий к нарушению гидрогеологического, гидрохимического и гидродинамического режимов поверхностных и подземных вод и радиационному загрязнению окружающей среды (табл. 3).

Поверхностные воды района шахты "Ингульская" представлены р. Ингул и ее притоком — р. Бианка, шахты "Смолинская" — ручьем, протекающим в балке Курникова, и притоком р. 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 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.

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 Ми-

чуринское 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 (Кировоградщина).

Под воздействием шахтного водоотлива водоносный комплекс рыхлых отложений на большей части территории промышленной площадки 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" не влияют. 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 вдоль 2,6 км, поперек — 1,2 км. Водоприток шахтных вод составляет 0,076 м³/с.

После очистки 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. 4).

Максимально возможная суммарная индивидуальная дозовая нагрузка на население, проживающее в зоне влияния шахт "Ингульская", составляет 0,951 мЗв/год, "Смолинская" — 0,722 мЗв/год. Система мониторинга на промышленных площадках горных предприятий обеспечивает контроль: выбросов рудной пыли шахтным диффузором и рудо-обогащательной фабрики (далее — "РОФ"); пылеобразования пустых пород и забалансовых руд; качества шахтных вод до и после очистки перед сбросом в гидрографическую сеть; содержания ЕРН в поверхностных водах, донных и рыхлых отложениях; радиоактивного загрязнения воздушной среды и почв на промышленной площадке в пределах СЗЗ и ЗН.

ГМЗ в процессе производственной деятельности приводит к радиационному загрязнению окружающей среды: водной и воздушной. Основные источники воздействия на окружающую среду: цех основного производства — выбросы рудной пыли, содержащей уран и продукты его распада; хвостохранилища "КБЖ" и балки "Щ" — вынос и разнос пыли с поверхностей сухих пляжей; пульпопровод — пролив хвостовой пульпы на поверхность прилегающей к пульпопроводу территории в случае нарушения его целостности.

Основными поверхностными водотоками в районе являются р. Желтая и р. Зел-

еная. Они протекают соответственно в 3 и 5 км 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 "Щ". Воды поверхностного стока отводятся от хвостохранилища "КБЖ" и "Щ" нагорными канавами и, не смешиваясь с техногенными водами, попадают в поверхностные водотоки. Таким образом, воды р. Желтой и р. Зеленой не испытывают поверхностного загрязнения от цеха основного производства и хвостохранилищ (табл. 5).

Максимальная эффективная индивидуальная дозовая нагрузка на население от действующих объектов ГП "ВостГОК" не превышает 0,12 мЗв/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 четыре наблюдательных поста (по два на р. Желтая и р. 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 [2].

Вышеуказанные технологии и технические средства позволили реализовать ряд новых технических решений. При этом сохранены поверхностные объекты и жилые дома при отработке рудных залежей под рекой "Ингул" и под жилой застройкой г. Кропивницкий (Украина). Это способствовало

Таблица 4. Характеристики выбросов загрязняющих веществ

Table 4. Pollutant emission characteristics

Показатель	Шахты	
	Ингульская	Смолинская
Разрешенный выброс по пыли рудной, т/год	42,137	92,392
Фактический выброс:		
пыль рудная, т/год	8,698	6,499
суммарная альфа-активность, Бк/год	$4,65 \cdot 10^8$	$5,1 \cdot 10^8$
уран природный, т/год	$2,28 \cdot 10^{-3}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$
радий-226, Бк/год	$4,62 \cdot 10^8$	$2,8 \cdot 10^8$

Таблица 5. Характеристики радиоактивного загрязнения атмосферного воздуха

Table 5. Characteristics of radioactive air pollution

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

не только росту производительности труда, концентрации и интенсификации подземных работ, но и значительному снижению выхода пустых пород от проходки горных выработок, уменьшению отчуждения земель под отвалы пустых пород [3].

Выбор эффективных способов закрепления пылящих поверхностей

После проведения лабораторных испытаний и выбора наиболее эффективных способов закрепления пылящих поверхностей исследования были продолжены с использованием специальных кювет, находящихся под открытым небом (рис. 3).

Закреплению подвергали хвосты в кюветах с помощью закрепителей, показавших себя наиболее эффективными. Исследования были расширены за счет применения в качестве склеивающих добавок лигносульфанатов. Здесь же проводили опыты по исследованию грунтосмеси, состоящей из почвосмеси (глины), семян



Рис. 3. Закрепление пылящих поверхностей в кюветках с хвостами химическое (а) и обработанными окатышами (гранулами) на основе грунтосмесей и специально подготовленным составом (б). Общий вид
Fig. 3. Fixing of dusting surfaces in cuvettes with chemical tailings (a) and treated pellets (granules) on the basis of soil mixtures and specially prepared composition (b). General form

многолетних трав, минеральных и органических удобрений, пленкообразующих материалов и мульчирующих добавок (опилки, резаная солома, вода), которые дали положительные результаты. Промышленный эксперимент проводился непосредственно на южной части действующего хвостохранилища "Щ". В условиях хвостохранилища на полигоне, включающем 10 участков размером 2,0×1,0 м, испытывали три способа закрепления: химический; грунтосмесями в виде окатышей; грунтосмесями в виде специально подготовленного раствора.

Загрязнения вокруг хвостохранилищ требует внедрения природоохранных мероприятий. Так, целесообразно озеленить СЗЗ путем насаждения деревьев и кустов, устойчивых к повышенной загазованности и запыленности, которые являются естественными сорбентами (каштан конский обыкновенный, клен ясенелистный, тополь пирамидальный, липа крупнолистная, дуб великопорошный, береза бородавчатая и кусты — сирень обыкновенная, скумпия, спирея Бумальда, жимолость обыкновенная и декоративные растения — роза, ель и другие) [5].

Предполагается также вдоль транспортных путей (авто- и железнодорожных) создание защитных лесополос, территории же, где уровень загрязне-

ний превышает допустимые величины, необходимо перевести под посев технических культур, а в водоемах с возможным превышением ПДК загрязняющих веществ запретить вылов рыбы, купание и другие мероприятия. Предлагается провести более детальное исследование наличия загрязнения в объектах окружающей среды на прилегающих территориях к хвостохранилищам и степень воздействия их на окружающую среду и человека.

Направление дальнейших исследований

Авторы отмечают целесообразность полного покрытия лесом всех загрязненных радионуклидами локальных участков, объектов СЗЗ ГМЗ, "КБЖ" и балки "Щ", а также шахт Ингульская, Смоленская и Новоконстантиновская. Лес заменит гидропылеподавляющие системы для уменьшения пыления "сухих" пляжей, поскольку 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 залесением и ограниченным посещением людей. Возможно также перевести их под посев технических культур, а в водоемах — запретить вылов рыбы, купание и др. Кроме того, необходимо 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 [6–9]. При этом широкомасштабно внедрить автоматизированные комплексные системы управления горными работами и ресурсами типа K-MINE® и КСУП КАИ®.

Таким образом, повышение экологической безопасности в зоне влияния урановых объектов достигается благодаря разработке и внедрению 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 ГМП в хранилище наклонными слоями обеспечивает удаление накапливающейся жидкости в емкости хранилища по мере его заполнения [4].

Заключение

1. Установлено, что максимально возможная суммарная индивидуальная дозовая нагрузка на население, проживающее в зоне влияния шахт "Ингульская", составляет 0,951, "Смолинская" — 0,722 мЗв/год. Максимальная эффективная индивидуальная дозовая нагрузка на

население от действующих объектов ГП "ВостГЭК" не превышает 0,12 мЗв/год, что соответствует нормам НРБУ-97.

2. Показано, что улучшение экологической обстановки на площадках горных предприятий достигается благодаря проведению планировочных мероприятий, предусматривающих: организацию ливневой канализации для сбора поверхност-

ных и профильтрованных через отвалы вод и подачи их на установку очистки шахтных вод; изоляцию поверхности отвалов почворастительным слоем, препятствующим пылевыведению и миграции радионуклидов от воздействия атмосферных осадков; рекультивацию загрязненных радионуклидами в процессе производственной деятельности локаль-

ных участков общей площадью 20 тыс. м².

3. Рекомендовано "сухое" складирование хвостов вместо традиционного наливного способа. 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.

В работе принимали участие и оказывали содействие С.А. Безродный, В.Н. Пухальский, П.М. Куча, В.В. Синчук, А.В. Копанев, В.А. Жуков и др. (ГП "Восточный ГЭК"); Ю.Н. Тархин, Н.А. Худошина, С.В. Давыдов, Б.В. Карпенко, Ю.Н. Сорока, А.И. Молчанов и др. (ГП "УкрНИПИИпромтехнологии") и др.

Литература

1. **Норми** радіаційної безпеки України (НРБУ-97) від 01.12.97 № 62. К., 1997. 127 с.
2. **Ляшенко В.И.** Экологическая безопасность уранового производства в Украине. Горный журнал. 2014. № 4. С. 113–116.
3. **Стусь В.П., Ляшенко В.И.** Повышение безопасности жизнедеятельности населения в промышленных регионах. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 5. С. 198–215.
4. **Ляшенко В.И., Стусь В.П., Лисовая Т.С.** Повышение экологической безопасности и защита населения в уранодобывающих регионах Украины. Проблемы и пути их решения. Маркшейдерия и Недропользование. 2018. №3(95). С. 41–48.
5. **Kulik L., Stemann H.** Ecology and biodiversity protection in the Rhenish lignite mining area. World of Mining Surface & Underground. 2014. Vol. 66(3). P. 143–152.
6. **Lauer N.E., Hower J.C., Hsu-Kim H., Taggart R.K., Vengosh A.** Naturally occurring radioactive materials in coals and coal combustion residuals in the united states. Environmental Science & Technology. 2015. Vol. 49. No 18. P. 11227–11233.
7. **Pulz K.** Meeting the challenges and implementing the management objectives of lignite mining rehabilitation. World of Mining-Surface & Underground. 2014. Vol. 66(3). P. 153–159.
8. **Wang C., Feng Q., Sun R., Liu G.** Radioactivity of Natural Nuclides (⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China. Minerals. 2015. № 5. P. 637–646.
9. **Ляшенко В.И., Дятчин В.З., Лисовой И.А.** Повышение экологической безопасности горного производства на основе использования отходов добычи и переработки рудного сырья. Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 4. С. 4–10.

References

1. **Normi** radiatsiinoї bezpeki Ukraїni (NRBU-97) vid 01.12.97 № 62. K., 1997. 127 s.
2. **Lyashenko V.I.** Ekologicheskaya bezopasnost' uranovogo proizvodstva v Ukraine. Gornyi zhurnal. 2014. № 4. S. 113–116.
3. **Stus' V.P., Lyashenko V.I.** Povyshenie bezopasnosti zhiznedeyatel'nosti naseleniya v promyshlennykh regionakh. Gornyi informatsionno-analitchesiki byulleten'. 2017. № 5. S. 198–215.
4. **Lyashenko V.I., Stus' V.P., Lisovaya T.S.** Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti i zashchita naseleniya v uranodobyvayushchikh regionakh Ukrainy. Problemy i puti ikh resheniya. Marksheideriya i Nedropol'zovanie. 2018. №3(95). S. 41–48.
5. **Kulik L., Stemann H.** Ecology and biodiversity protection in the Rhenish lignite mining area. World of Mining Surface & Underground. 2014. Vol. 66(3). P. 143–152.
6. **Lauer N.E., Hower J.C., Hsu-Kim H., Taggart R.K., Vengosh A.** Naturally occurring radioactive materials in coals and coal combustion residuals in the united states. Environmental Science & Technology. 2015. Vol. 49. No 18. P. 11227–11233.
7. **Pulz K.** Meeting the challenges and implementing the management objectives of lignite mining rehabilitation. World of Mining-Surface & Underground. 2014. Vol. 66(3). P. 153–159.
8. **Wang C., Feng Q., Sun R., Liu G.** Radioactivity of Natural Nuclides (⁴⁰K, ²³⁸U, ²³²Th, ²²⁶Ra) in Coals from Eastern Yunnan, China. Minerals. 2015. № 5. P. 637–646.
9. **Lyashenko V.I., Dyatchin V.Z., Lisovoi I.A.** Povyshenie ekologicheskoi bezopasnosti gornogo proizvodstva na osnove ispol'zovaniya otkhodov dobychi i pererabotki rudnogo syr'ya. Ekologiya i promyshlennost' Rossii. 2018. T. 22. № 4. S. 4–10.

В.И. Ляшенко – канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Государственное предприятие "Украинский научно-исследовательский и проектно-испытательский институт промышленной технологии", 52204 Украина, Днепрпетровская обл., г. Желтые Воды, пр. Свободы 37, e-mail: vilyashenko2017@gmail.com • Т.В. Чекушина – канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, 111020 Россия, г. Москва, Крюковский туп. 4, e-mail: tanija_ch@mail.ru • И.А. Лисовой – канд. техн. наук, заместитель декана, Уманский национальный университет садоводства, 20305 Украина, Черкасская обл., г. Умань, ул. Институтская 1 • Т.С. Лисовая – соискатель, Публичное акционерное общество "ВИТАМИНЫ", 20300 Украина, Черкасская обл., г. Умань, ул. Ленинской Искры, 31

V.I. Lyashenko – Cand. Sci. (Eng.), Senior Research Fellow, State Enterprise "Ukrainian Research and Development and Survey Institute of Industrial Technology", 52204 Ukraine, Dnipropetrovsk region, Zholti Vody, Svobody Ave. 37, e-mail: vilyashenko2017@gmail.com • T.V. Chekushina – Cand. Sci. (Eng.), Leading Research Fellow, Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources, 111020 Russia, Moscow, Kryukovsky bind pass 4, e-mail: tanija_ch@mail.ru • I.A. Lisovoy – Cand. Sci. (Eng.), Associate Dean, Uman National University of Horticulture, 20305 Ukraine, Cherkasy region, Uman, Institutskaya Str. 1 • T.S. Lisovaya – external doctorate student, Public Joint Stock Company "VITAMINY", 20300 Ukraine, Cherkasy region, Uman, Leninskaya Iskra Str. 31