

matrix is applied. It reveals the causal relationships between geoecological impact factors and landslide processes.

**Practical implications.** The proposed methodology for assessing of landslide risks in natural slopes can be applied for organizing large-scale geo-ecological monitoring and making decisions on minimizing risks from development of exogenous geological processes.

**Keywords:** *method of the landslide risk assessment for natural slopes, gully-ravine network, checklist, Leopold matrix, Harrington function*

УДК 613.31:546.13

© Ю.М. Рець

## ОЦЕНКА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ УРАНОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПОСЛЕ ИХ ЗАКРЫТИЯ

© Yu. Rets

## ESTIMATION OF THE RADIOECOLOGICAL STATE OF URANIUM-BREAKING ENTERPRISES AFTER THEIR CLOSING

Проведен анализ радиационно-загрязненных объектов. Выполнена оценка радиоэкологического состояния объектов уранодобывающих предприятия после закрытия на примере Приднепровского химического завода г. Каменское и шахты ООО "Восток Руда" г. Желтые Воды. Выполнены расчеты эффективных доз облучения работников на промплощадках.

Проведений аналіз радіаційно-забруднених об'єктів. Виконано оцінку радіоекологічного стану об'єктів урановидобувних підприємства після закриття на прикладі Придніпровського хімічного заводу м Кам'янське та шахти ТОВ "Схід Руда" м. Жовті Води. Виконано розрахунки ефективних доз опромінення працівників на проммайданчиках.

**Вступление.** На Украине разведка урана началась в 1944 и привела к открытию 21 месторождения. Многие из месторождений находятся внутри водораздела бассейна Днепра, в то время как отдельные находятся в бассейнах рек Южного Буга и Северского Донца. Первым заводом по переработке урановой руды был Приднепровский химический завод (ПХЗ), запущенный в 1948 на базе руд, поставляемых из стран Восточной Европы. ПХЗ расположен в нескольких километрах от реки Днепр в г. Каменское (бывший Днепродзержинск). Он прекратил работу в 1991. Гидрометаллургический завод в Желтых Водах запущен в 1959 для переработки руды из региона и работает в настоящее время.

Украина имеет значительные ресурсы урановых руд (1,9% мировых запасов урановой руды). По объемам запасов урана Украина занимает десятое место в мире, первое в Европе и входит в первую десятку ведущих уранодобывающих стран мира. В стране имеется 12 детально разведанных урановых эндо-

генных месторождений, 4 крупнейших – в Кировоградской области. Смолинская урановая шахта (поселок Смолино Кировоградской области, Ватутинское месторождение, глубина 640м) выдаёт 60% урана Украины.

При разработке урановых месторождений в окружающую среду вместе с отходами поступают радиоизотопы всех трех радиоактивных семейств – урана-238, урана-235 и тория-232, но радиоактивность в основном обусловлена семейством урана-238. Уровень радиоактивности отходов, которые поступают в окружающую среду, разный для различных рудников (месторождений). Он зависит от исходного содержания урана в руде и активности геохимических процессов, которые протекали на месторождении до его разработки [1]. Обычно на скальных месторождениях Украины все радионуклиды находятся в равновесии с родоначальником ряда.

Радиоактивные элементы присутствуют в рудничной атмосфере в газообразной и аэрозольных фазах. В каждом из радиоактивных семейств урана и тория образуются газообразные нуклиды – радон ( $^{222}\text{Rn}$  (радон),  $^{220}\text{Rn}$  (торон),  $^{219}\text{Rn}$  (актинон)). Наиболее радиационно-опасным является радон-222. Имея период полураспада 3,82 суток, радон-222 может распространяться на значительные расстояния от места образования и создавать в атмосфере высокие концентрации. Торон и актинон, с периодами полураспада 54,5 и 3,92 мин соответственно, как правило, не образуют в воздухе значительных концентраций и в обычных условиях при оценке радиационной опасности не берутся во внимание.

Из других радиоактивных элементов, которые присутствуют в рудничной атмосфере, одни связаны с процессами выемки руд (уран, радий и др.), другие – с распадом радона, который выделился в атмосферу горных выработок (полоний, висмут, свинец).

**Целью работы** является анализ радиационно-загрязненных объектов и оценка радиэкологического состояния уранодобывающих предприятий после их закрытия.

**Основные результаты исследований радиационного загрязнения на площадках. Производственное объединение «Приднепровский химический завод»** (далее – ПО «ПХЗ», г. Каменское). Общая площадь площадки завода, на которой проводилась переработка урановой руды – 260 га. Наибольшая концентрация промышленных мощностей – в ее южной части, которая занимает 115 га. Там расположено более 300 строений разного назначения, большинство из которых в очень плохом конструкционном состоянии.

На территории южной промплощадки бывшего ПО "ПХЗ" расположены также хвостохранилища «Западное», «Центральный Яр» и «Юго-Восточное», в которых размещены отходы переработки урановых руд.

Площадь территории, на которой расположены строения и сооружения, составляет 82718 м<sup>2</sup>. Общая площадь промплощадки – 518150 м<sup>2</sup>.

В течении 2010-2016 гг. были выполнены радиэкологические исследования на хвостохранилищах «Западное», «Центральный Яр», «Юго-Восточное» и «Днепровское», а также возле строения 103.

На этих объектах были измерены мощность эквивалентной дозы гамма-излучения, а также объемная активность радона в воздухе и активность естественных радионуклидов в аэрозолях атмосферного воздуха [2].

**Расчет эффективных доз облучения работников на промплощадке бывшего ПО «ПХЗ».**

По методике были рассчитаны эффективные дозы облучения персонала. Общая эффективная доза на работников определяется таким образом [3]:

$$E_{total} = E_{ext} + E_{inh} + E_{Rn-222,j} + E_{Ing,Soil,j} \quad (1)$$

где  $E_{total}$  – общая эффективная доза на работников, Зв;

$E_{ext}$  – эффективная доза от внешнего гамма-излучения, Зв;

$E_{inh}$  – эффективная доза от ингаляционного пути облучения, Зв;

$E_{Rn-222,j}$  – эффективная доза от облучения продуктами распада радона-222, Зв;

$E_{Ing,Soil,j}$  – эффективная доза от перорального поступления радионуклидов, Зв.

Результаты расчета эффективных доз облучения персонала приведены в табл. 1.

Таблица 1

Эффективные дозы коэффициенты облучения персонала на территории объектов исследований на промплощадке

Площадка	Способ облучения работника, мкЗв				Общая эффективная доза, мкЗв
	внешнее облучение	внутреннее облучение			
		от вдыхания радионуклида ряда урана	от радона и продуктов его распада	от перорального поступления радионуклидов	
Хвостохранилище «Западное»	209,1	4,147	784,992	0,222	998,462
Хвостохранилище «Юго-Восточное»	147,9	7,149	774,384	0,297	929,732
Хвостохранилище «Центральный Яр»	2463,3*	7,003*	1400,256*	0,213*	3870,772*
	229.5	7,003	1400,256	0,213	1636,972
Территория возле сооруж. 103, 104.	321,3	8,507	615,264	0,308	945,380
Хвостохранилище «Днепровское»	249,9	4,877	307,632	0,181	562,591

*Примечание.* \*С учетом в исходных данных – максимальных значений, которые находятся в центре хранилища.

Оценки доз показали, что в большинстве мест, где были проведены исследования годовая суммарная эффективная доза от внутреннего и внешнего облучения находится в пределах 1 мЗв. Согласно Государственных санитарных норм и правил «Гигиеническая классификация труда» [4]: все эти места на территории промышленной площадки относятся к классу условий труда *Допустимый и Вредный (3.1)*.

Исключение составляют некоторые территории, где дозы составляют 3 и более мЗв. К ним можно отнести места на хвостохранилище «Центральный яр» и небольшие территории, где в грунте есть протечки растворов от выщелачивания заскладированных руд. В этом случае эти рабочие места могут быть отнесены к классу условий труда *Вредные (3.3-3.4)*.

**Желтоводская площадка шахты ООО «Восток Руда»**

Содержание природных радионуклидов в горных породах Западного пласта измерялось специально, так как в справочной литературе отсутствуют данные по радиоактивности этих пород. В табл. 2 приведены результаты измерений содержания природных радионуклидов в рудах и горных породах Западного пласта на полупроводниковом гамма-спектрометре с детектором фирмы ORTEC (США).

Таблица 2

Содержание природных радионуклидов в рудах и породах Западного пласта, Бк/кг

Наименование горной породы и место отбора	Активность природных радионуклидов, Бк/кг						
	U-238	Th-230	Ra-226	Pb-210	Po-210*	Th-232	K-40
Магнетит - амфиболовые сланцы штрек транспортный, гор.513 м, наклонный съезд с гор.475 на гор.545 (р-н гор.513 м).	Среднее						
	4,1±1,8	5,0±2,5	4,3±2,3	4,12±0,77	4,12±0,77	3,5±1,6	329±107
Железистые кварциты ЗП, гор. 513 м, орт буровой, западный контакт со слюд. сланцами.	Среднее						
	2,6±1,1	<5,9	1,81±0,80	2,0±1,1	2,0±1,1	1,29±0,77	147±80
Слюдянистые сланцы, гор. 513 м, орт буровой 96+8, на западном контакте, на забое.	Среднее						
	23,8±2,5	23,2±3,5	22,8±6,8	19,3±5,6	19,3±5,6	30,6±6,4	1212±384

*Примечание.* \*Содержание радионуклида принято равновесным со свинцом-210

Результаты измерений мощности эквивалентной дозы внешнего гамма излучения и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона-222 и радона-220 (торона) в воздухе района провальной воронки приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерений мощности эквивалентной дозы гамма-излучения и эквивалентной равновесной объемной активности (ЭРОА) радона-222 и радона-220 (торона) в воздухе района провальной воронки

№ п/п	Место измерения	МЭД, мкЗв/час	ЭРОА радона-222, Бк/м <sup>3</sup>	ЭРОА радона-220, Бк/м <sup>3</sup>
1	Северная часть	0,161±0,032	<5,0	0,64±0,32
2	Восточная часть	0,147±0,030	<5,0	<0,5
3	Западная часть	0,162±0,033	<5,0	0,66±0,33
4	Южная часть	0,171±0,034	<5,0	<0,5

При обследовании не обнаружены уровни ЭРОА радона-222, радона-220 (торона), мощности эквивалентной дозы гамма-излучения, превышающие референтные значения, установленные «Основными санитарными правилами обеспечения радиационной безопасности Украины» [5] для рабочих мест. По методике были рассчитаны эффективные дозы облучения работников

Результаты расчета эффективных доз облучения персонала приведены в табл. 4.

Таблица 4

Эффективные дозы облучения работников в воздухе района провальной воронки

Способ облучения работника, мкЗв				Общая эффективная доза, мкЗв
Внешнее облучение	внутреннее облучение			
	От вдыхания радионуклида ряда урана	От радона и продуктов его распада	От перорального поступления радионуклидов	
127,5	6,00	26,52	0,213	151,237

**Выводы.** Таким образом, в результате выполнения работы была сделана оценка радиэкологического состояния бывших уранодобывающих предприятий после их закрытия. Рассчитанные эффективные дозы облучения показали, что на Желтоводская площадка шахты ООО «Восток Руда» ситуация находится в безопасном состоянии и она может эксплуатироваться по другому направлению.

Эффективные дозы облучения работников на промплощадке бывшего ПО «ПХЗ» превышают дозу в 1 мЗв и на ней необходимо еще выполнить комплекс рекультивационных мероприятий.

### Перечень ссылок

1. Добыча и переработка урановых руд в Украине: Монография. – К.: "АФЕД-Украина". – 2001. – С. 238.
2. Рець Ю.М. Оцінка радіаційного стану забруднених об'єктів на промисловому майданчику колишнього підприємства по переробці уранових руд для обґрунтування меж санітарно-захисних зон. Збірник наукових праць НРУ-Д. – Дніпро: Національний гірничий університет. – 2017. – № 50. – С. 316-326.
3. Методика расчета дозовых нагрузок на персонал производств, занятых работой с сырьем, содержащим повышенные концентрации естественных радионуклидов/ Сорока Ю.Н., Молчанов А.И., Беднарик О.Н., Кривошей Л.А., Гагауз Ф.Г.//Сборник научных трудов. – Севастополь: СИЯЭиП. – 2000. – вып. 3. – С. 132-137.
4. ДСанПін. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. – К. – 2014.
5. ОСПУ-2005. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України. – К. – 2005.

### ABSTRACT

**Purpose.** The aim of the work is to analyze radiation-contaminated sites and assess the radioecological state of uranium mining enterprises after their closure.

**The methods** The method of field dosimetric measurements and laboratory spectrometric analysis was used.

**Findings.** As a result of the work, an assessment was made of the radioecological condition of the former uranium mining enterprises after their closure. The calculated effective doses of irradiation have shown that the situation on the Zheltovodskaya site of the Vostok Ruda mine is in a safe state and can be operated in a different direction.

Effective radiation doses of workers at the industrial site of the former "PCP" PA exceed the dose of 1 mSv and it is necessary to perform a complex of remediation measures on it.

**The originality.** An assessment was made of the radioecological condition of former uranium mining enterprises after their closure effective doses of radiation are calculated.

**Practical implications.** This method can be used to calculate the effective radiation doses of workers at the industrial site.

**Keywords:** *volume activity, equivalent dose, gamma, uranium facilities, industrial site.*