

УДК 556.314:622.012.2 (477.6)

Особенности процессов миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбасса

И. В. Удалов, А. В. Кононенко

Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, Харьков, Украина, e-mail: igorudalov8@gmail.com; kononenko_alina01@ukr.net

Дан анализ особенностей процессов миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбасса на примере шахты «Пролетарская» и Светличанского водозабора. Установлено негативное влияние в процессе эксплуатации шахты «Пролетарская» на качество подземных вод Светличанского водозабора, которое особенно остро проявилось на Правобережной группе скважин. Определены основные факторы, определяющие миграцию естественных радионуклидов в подземных водах исследуемой территории. Выявлено общее ухудшение качества подземных вод, проявившееся в увеличении минерализации, наличии загрязнения подземных вод Cl, Fe и Mn, тяжелыми металлами, радионуклидами. Определено, что «мокрая» консервация шахты «Пролетарская» интенсифицировала процессы газовой миграции в породном массиве и создала предпосылки для загрязнения подземных вод ^{222}Rn . Предлагается в зоне санитарной охраны Светличанского водозабора и примыкающего к ней шахтного поля шахты «Пролетарская» проводить комплексный мониторинг состояния геологической среды, включающий постоянные наблюдения и контроль за гидрогеологическими и геомеханическими процессами, а также миграцией шахтных газов и ^{222}Rn .

Ключевые слова: шахта, радон, загрязнение, миграция, мониторинг, подземные воды

Features of processes migration of the natural radionuclides in the undergroundwater at the liquidation of coal mines in the North-Eastern Donbass

I. V. Udalov; A. V. Kononenko

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, e-mail: igorudalov8@gmail.com; kononenko_alina01@ukr.net

The article is analyzed features of processes migration of natural radionuclides in the underground water at the liquidation of coal mines of North-Eastern Donbass on the example of mine “Proletarian” and Svitlichanskiy of water intake. It is revealed, that exactly ^{222}Rn is the most widespread source of natural radioactivity both on the whole in Ukraine and in the Donbass. It is noted that the closure of coal enterprises and avtoreabilitatsionny rise of underground water that accompanies them, has a regional scale. Analysis of hydrogeological conditions and processes occurring in the underground environment, speaks of the danger of radioactive contamination ^{226}Ra and ^{222}Rn of the underground water. The results of the ecological and radiological research areas abandoned mines lead to the conclusion that on the whole territory of the North-Eastern Donbass radiation situation is normal. At the same time are fixed local areas with high concentration of natural radionuclides present in the zones of influence of the major tectonic disturbances (Severodonetskiy, Chehirovskiy and Diagonal thrusts). It is said that the studies in the Almazno-Marevskiy geological and industrial district of the North-Eastern Donbass indicates the presence of a high content of the natural radionuclides (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{222}Rn) in the mine atmosphere, soil, surface and groundwater, as well as in the waste coal located at the territory of the former mine fields of mines, “Luganskaya”, “Proletarian” and G. Kapustin. It is shown that the main factors determining migration of the natural radionuclides in the underground water are the way they are received into the aquifer and the physical and the chemical properties of both the underground water and the rock mass. It is established, ^{222}Rn concentration in the water is depends on the concentration of the parent radioactive elements in the coal-bearing strata washed it, the emanation coefficient, fracture rock mass and velocity of underground water flow. Besides the presence of natural radionuclides in the underground water of the water intakes also is noted the high content of Cl, Mn, Fe. It is noted that filling out space mines with highly salinity water downstream, deep aquifers carbon, inevitably leads decrease in quality (increase salinity, occurrence heavy metals, natural radionuclides, etc.) of the upper cretaceous underground water aquifer exploited Svitlichanskiy water intake. At the same time fixation ^{222}Rn in the water wells Svetlichanskiy water intake is associated with a pulling up of pollution the water intake by funnel depression. In conclusion, in the area of sanitary protection of the water intake Svitlichanskiy and adjacent by “Proletarian” mine field is proposed to conduct a comprehensive monitoring of the geological environment, including constant monitoring and control of the hydro-geological and geomechanical processes, as well as the migration of mine gas and ^{222}Rn .

Keywords: mine, radon, pollution, migration, monitoring, underground water

Введение. Несмотря на огромное количество работ, связанных с оценками последствий «мокрой» консервации угольных шахт Донбасса и их влиянием на окружающую природную среду (ОПС), некоторым вопросам уделено недостаточное внимание. Одним из таких вопросов является сложная радиационно-экологическая ситуация, возникшая на некоторых угольных шахтах Северо-Восточного Донбасса при их закрытии. Закрытие шахт активизировало радиологические исследования территории шахтных полей закрывающихся шахт, подземных вод, а также отходов угледобычи, находящихся в породных отвалах. Определено, что в настоящее время на угольных шахтах Северо-Восточного Донбасса скопилось более 150 тыс. м³ отходов с техногенно повышенной естественной радиоактивностью. Анализ исследований [Seminozhenko, 2011] показывает, что в отходах угледобычи присутствуют такие элементы как: ²³²Th, ⁴⁰K, ²²⁶Ra и ²²²Rn. Отмечено, что именно ²²²Rn является наиболее распространенным источником естественной радиоактивности в Украине. Установлено, что на его долю приходится более 70 % годовой дозы облучения населения. При этом длительное воздействие ²²²Rn на организм человека опасно тем, что может спровоцировать возникновение рака легких. Исследования Научного центра радиационной медицины Украины подтверждают, что 8,5–9 тысяч летальных случаев при заболевании раком легких возникает за счет наличия ²²²Rn в воздухе производственных и жилых помещений [Kovalenko, 2001]. Однако особую тревогу вызывают участвовавшие случаи фиксации ²²²Rn в подземных водах водозаборов промышленных предприятий, находящихся в зоне влияния ликвидированных угольных шахт. Кроме того, наличие ²²²Rn наблюдается в родниках, используемых местным населением для питьевых целей.

Анализ литературных источников [Serdjuk, 2000; Котов, 2004] показывает, что наличие ²²²Rn в подземных водах для территории Украины не является новостью. Бальнеологические свойства ²²²Rn широко используются в санаторно-курортном лечении как в Карпатах, так и в центральной части страны. Однако реструктуризация шахт на Донбассе позволила рассматривать эту проблему в региональном масштабе. Замечено, что в связи с закрытием шахт и сопровождающим ее региональным подъемом уровней подземных вод существует опасность радиационного загрязнения подземных вод ²²⁶Ra и ²²²Rn. Прогнозируется, что значительная часть населения, используя местные

источники в питьевых целях (колодцы, скважины, родники), находится в зоне риска и может получить опасные, с радиационной точки зрения, воды.

В связи с тем, что в исследуемом районе запасы кондиционных питьевых вод катастрофически уменьшаются, выявление особенностей процесса миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбасса является крайне важной и актуальной задачей.

Анализ публикаций. Анализ литературных источников показывает, что более 40 % территории Украины является радоноопасной. Аналогичные данные зафиксированы и при исследовании содержания ²²²Rn в подземных водах. Усредненная величина объемной активности ²²²Rn в подземных водах для регионов, расположенных в зоне Украинского кристаллического щита, равна 261 Бк/дм³ (максимальная величина равна 2 660 Бк/дм³ для Черкасского региона). Для регионов, расположенных вне этого щита, усредненная объемная активность ²²²Rn в подземных водах равна 37 Бк/дм³ [Kovalenko, 2001]. То, что ²²²Rn представляет опасность не только для шахтеров, было впервые выявлено в конце 50-х годов XX века. Первые исследования загрязненности рудничной атмосферы, шахтных вод ²²²Rn были проведены в горных выработках рудников Шнееберг (Германия) и Иоахимсталль (Чехословакия) в 1939–1940 годах. Исследования проводились в связи с предположением, что ²²²Rn является причиной рака легких у горнорабочих. Оказалось, что среднее содержание ²²²Rn на этих рудниках составляло 1·10⁻⁹ кюри/дм³ в рудничной атмосфере. Но лишь в 1977 году научным комитетом ООН по воздействию атомной радиации ²²²Rn был определен как основной источник опасности для населения.

В Украине масштабные исследования по изучению влияния закрывающихся шахт на ОПС стали проводиться только в 90-е гг. XX в., в связи с реструктуризацией угольных шахт Северо-Восточного Донбасса. Анализ этих данных позволяет сделать вывод, что на всей территории Донбасса радиационная ситуация находится в пределах нормы. Однако данные некоторых исследователей подтверждают, что существуют локальные территории с повышенным содержанием естественных радионуклидов, находящихся в зонах влияния крупных тектонических нарушений [Taranyuk, 2007].

Комплекс работ, проведенных в Алмазно-Марьевском геолого-промышленном районе

(ГПР) Северо-Восточного Донбасса, свидетельствует о наличии повышенных содержаний естественных радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{222}Rn) в рудничной атмосфере, грунтах, поверхностных и подземных водах, а также в отходах угледобычи, находящихся на территории шахтных полей шахт «Луганская», «Пролетарская» и имени Г. Г. Капустина.

Кроме того изучением поставленной проблемы занимались как отечественные, так и зарубежные авторы. Следует отметить работы А. Ф. Горюхова, Г. З. Задары, М. В. Бабаева, И. В. Удалова, В. Н. Ермакова, О. А. Улицкого и др., которые комплексно изучали процессы, возникшие при «мокрой» консервации угольных шахт в Донбассе.

Значительное внимание изучению радоновой проблемы было уделено в работах зарубежных авторов – В. И. Уткина, И. Е. Старика, О. С. Меликовой в России, Е. С. Иванкина в Казахстане, К. Винтера, Х. Айхера, Ф. Хесбрюгге в Германии, Р. Робинсона, К. Паркера в Англии.

Цель статьи. Описать процессы миграции естественных радионуклидов в подземных водах в условиях «мокрой» консервации угольных шахт на территории Северо-Восточного Донбасса.

Материал и методы исследований. В основу данной статьи положены результаты анализа научной литературы и фондовой документации. Исследования, результаты которых приведены в статье, выполнялись в соответствии с методикой эколого-гидрогеологического изучения состояния территорий и методикой оценки экологического состояния территорий, загрязненных вследствие закрытия угольных шахт. Обе методики разработаны Украинским научно-исследовательским институтом экологических проблем и утверждены Министерством экологии и природных ресурсов Украины.

По некоторым родниковым выходам подземных вод, поверхностным водотокам, скважинам и водопроводной сети определялось содержание ^{222}Rn в воде. Анализы проводились эманометром «Радон».

Выполненные работы по определению мощности дозы гамма-излучения с поверхности почв и суммарной удельной активности пород горных отвалов проводились у поверхности земли радиометром СРП-88Н. Между точками опробования велось сплошное прослушивание гамма-фона. С терриконов шахтных полей отбирались точечные пробы горных пород на определение суммарной

(^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K) удельной активности. Определение тяжелых металлов в почвах проводилось методом атомной абсорбции.

Результаты и их анализ. Реструктуризация угольной промышленности Украины, проводившаяся в 90-е годы XX века, и сопровождавшая ее «мокрая» консервация угольных шахт привели к существенным нарушениям характеристик геологической среды (ГС), которые в ряде случаев имеют региональный масштаб. В результате долговременной угледобычи процессы ухудшения качества подземных вод в Северо-Восточном Донбассе неуклонно прогрессируют. Следствием этих процессов является региональное изменение структуры и объема водоотлива, формирование зон подъема уровней и изменений химического состава подземных и поверхностных вод, появление в водах естественных радионуклидов и другие процессы перестройки геологических, гидрогеологических и экологических параметров ГС [Gavrilenko, 2004].

В качестве примера проанализируем радиационно-экологическую ситуацию, сложившуюся на Светличанском (1-м Донецком) водозаборе после закрытия шахты «Пролетарская». Отмечено, шахта «Пролетарская» является наиболее ярким примером комплексного техногенного воздействия на все компоненты ОПС. Особенно показательно фиксируется ее влияние на качество подземных вод как в процессе работы шахты, так и после ее закрытия. Отметим, что шахта расположена в зоне санитарной охраны Светличанского водозабора, самого крупного на территории Северо-Восточного Донбасса (запасы воды 150 тыс. м³/сут).

Показано, что закрытие шахты «Пролетарская» путем «мокрой» консервации не только усложнило радиационно-экологическую обстановку в исследуемом районе, но и в целом повлияло на состояние ОПС в районе размещения Светличанского водозабора.

Анализ литературных источников показал [Ban'kovskaja, 2010; Gavrilenko, 2004; Novikov, 2002; Mironenko, 1988], что основными факторами, определяющими миграцию естественных радионуклидов в подземных водах, являются пути их поступления в водоносный горизонт и физико-химические свойства как самих подземных вод, так и породного массива. Кроме того, необходимо принять во внимание гидрогеологические условия района исследований, особенности тектонического строения, гидродинамическую обстановку в породном массиве, а также косвен-

ные показатели, определяющие наличие и миграцию естественных радионуклидов в подземных водах (повышенное содержание Mn и Fe в водах глубоких горизонтов карбона). Отдельно необходимо отметить наличие низкоактивных радиевых отходов угледобычи с техногенно повышенной естественной радиоактивностью на поверхности промплощадки и шахтного поля шахты «Пролетарская». При этом, по нашему мнению, основной комплекс факторов активизации миграции естественных радионуклидов связан с автореабилитационным подъемом уровней подземных вод, а также с переориентацией воздействия техногенных факторов на формирование специфических эколого-гидрогеологических условий.

Анализ геологической, гидрогеологической, тектонической информации по району исследований позволяет сделать вывод, что строение территории сложное [Martynov, 1963]. Исследуемая территория разбита системой мелких и крупных тектонических нарушений: Северо-Донецким, Диагональным и Чехировским надвигами, Диагональным сбросом, сбросом А-Б и др., и оперяющими их зонами дробления (рис.). Вследствие этого мы получаем хорошо проницаемую трещинную среду, интенсивно промывающуюся восходящими потоками при автореабилитационном подъеме уровня подземных вод. При этом поступающие в подработанную толщу воды смачивают и размывают имеющиеся в ней трещины, способствуют развитию процесса обрушения пород в выработки, активизируя вторичную миграцию естественных радионуклидов. Трещиноватые зоны, оперяющие зоны разломов, приобретают хорошие коллекторские свойства. В них происходит скопление ^{226}Ra , и, как следствие, ^{222}Rn , а также повышается коэффициент эманирования. Как результат, тектонические нарушения превращаются в радононосные подводящие структуры. При этом «мокрая» консервация шахт косвенно активизирует газовую миграцию в подземных водах [Udalov, 2016].

Известно, что основным источником поступления ^{222}Rn в подземные воды являются угольные горизонты района, в особенности на участках шахтных выработок, где окислительная среда способствует интенсивному переходу ^{238}U и ^{226}Ra , а вместе с ними и эманаций $^{226}\text{Ra} - ^{222}\text{Rn}$, из угольных пластов в подземные воды. В частности, это подтверждается высокой радиоактивностью иловых отложений в местах мытья вагонеток и в отстойниках шахтных вод на шахте «Пролетар-

ской». По данным исследований [Udalov, 2005], мощность гамма-излучения с поверхности составляет 380–400 мкР/ч, а на глубине 0,3 м достигает 700 мкР/час. При этом высокое содержание ^{222}Rn в воде связано с нахождением естественных радионуклидов ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra в угленосной толще района. Кроме этого, согласно теории Е. С. Щепотьевой, важную роль в обогащении подземных вод ^{226}Ra играет процесс диффузии. Отмечено, что диффузия проходит крайне медленно, поэтому изначально застойный режим водообмена при высокой минерализации вод способствовал обогащению их ^{226}Ra . При смене весьма затрудненного режима водообмена условиями интенсивного водообмена, обогащенные ^{226}Ra воды в результате начавшихся сорбционных процессов образуют на стенках и заполнителях тектонических выводящих трещин интенсивно эманлирующие коллекторы ^{226}Ra , которые обогащают воды не только ^{226}Ra , но и ^{222}Rn . Установлено, концентрация ^{222}Rn в водах зависит от концентрации материнских радиоактивных элементов в угленосных толщах, омываемых ею, коэффициента эманирования, трещиноватости породного массива и скорости движения потока подземных вод [Rudnev, 1990].

Установлено, что после вскрытия шахтой «Пролетарская» на глубине 680 м высокоминерализованных подземных вод наблюдается увеличение техногенной нагрузки на подземные воды верхнемелового водоносного горизонта, эксплуатируемого Светличанским водозабором. Оценено, что заполнение выработанного пространства шахт водами нижележащих, глубоких водоносных горизонтов карбона неминуемо ведет к ухудшению качества (увеличению минерализации, появлению тяжелых металлов, естественных радионуклидов и т. д.) подземных вод верхнемелового водоносного горизонта. Замечено, что фиксация ^{222}Rn в водозаборных скважинах Светличанского водозабора связана с подтягиванием загрязнения депрессионной воронкой водозабора. Характерно, что в дальнейшем этот процесс только усиливается. При этом образование обширной депрессионной воронки привело не только к ослаблению механических свойств массива как объекта хозяйственного освоения, но и его естественных защитных свойств за счет увеличения техногенной зоны аэрации, нарушения естественного водообмена и режима влажности горных пород. Вместо этажно расположенных водоносных горизонтов, разделенных водоупорами, образовался обезвоженный массив, работающий как единая трещиноватая

Схематический разрез

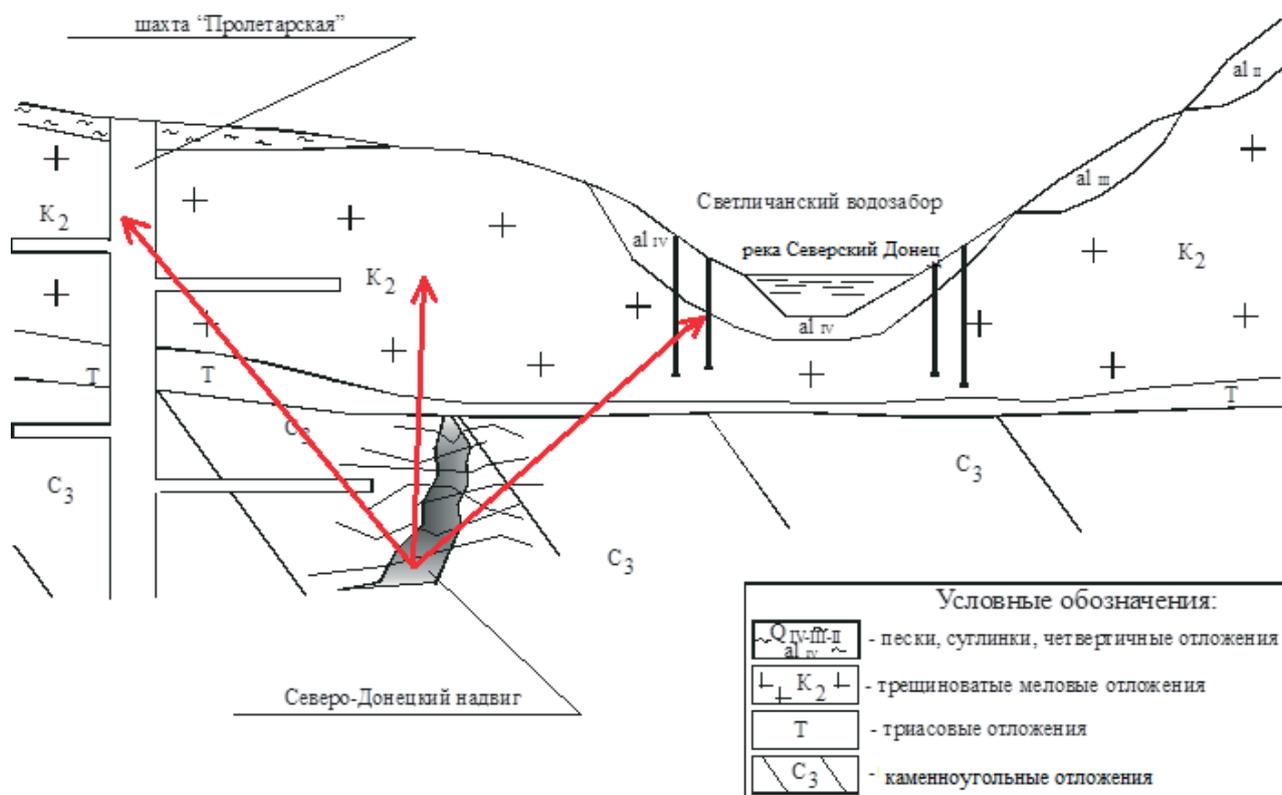


Рис. Влияние Северо-Донецкого надвига на геолого-гидрогеологическую ситуацию в районе размещения шахты «Пролетарская» и Светличанского водозабора

зона [Udalov, 2005]. Таким образом, обширная депрессионная воронка Светличанского водозабора создает дополнительные предпосылки для миграции ^{222}Rn и высокоминерализованных подземных вод к эксплуатационным скважинам водозабора, что приводит к появлению ^{222}Rn в водах, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Кроме того, в связи с выходом высокоминерализованных вод карбона на поверхность проводятся исследования по оценке их качества и возможности использования населением в хозяйственно-питьевых целях. При этом фиксируется наличие ^{222}Rn (в концентрациях до $2\,500\text{ Бк/дм}^3$) в воде некоторых родников в районе расположения бывших шахт «Пролетарская», «Луганская». Отмечено, что появление родников в ранее осушенных, в процессе работы шахтного водоотлива, породах является прямым следствием «мокрой» консервации шахты «Пролетарская». Помимо родников, наличие ^{222}Rn установлено и в эксплуатационных скважинах Светличанского водозабора: в воде Правобережной группы скважин (скважина № 30 – 150 Бк/дм^3), в воде Песочной группы скважин (скважина № 2 – 200 Бк/дм^3). Фиксация

^{222}Rn в скважинах Светличанского водозабора свидетельствует об усилении газовой миграции и подходе «фронта» загрязнения к водозаборным скважинам.

Кроме наличия естественных радионуклидов, в подземных водах Светличанского водозабора также зафиксировано повышенное содержание Cl, Mn, Fe. Необходимо отметить, что наличие в шахтных водах шахты «Пролетарская» повышенного содержания Fe и Mn косвенно говорит о повышенном содержании в шахтных водах естественных радионуклидов. К сожалению, в процессе работы шахтного водоотлива подобные исследования не проводились, но литературные данные подтверждают, что повышенное содержание в подземных водах глубоких водоносных горизонтов, например, карбона, Fe и Mn характерно для пород с повышенными концентрациями ^{226}Ra . Эти породы представляют собой узколокальные образования, обогащенные солями радия по стенкам водопроводящих трещин, так называемые «эманулирующие коллекторы».

Указано, что радиометрический контроль шахтных полей, ликвидированных угольных

шахт показал наличие на промплощадке шахты «Пролетарская» около 22 тыс. м³ долгоживущих низкоактивных радиевых отходов на поверхности шахтного поля, с активностью 46,15 Ки/км² [Seminozhenko, 2005]. Это, в свою очередь, дало толчок к более детальному изучению выявленных аномалий. Отмечено, что в пруде-отстойнике активность отходов составила 14,89 Ки/км²; при этом они располагаются в пределах 3-го пояса зоны санитарной охраны Светличанского водозабора. Доказано, что интенсивно загрязняются радионуклидами грунты вследствие рассеивания радиоактивных пород в процессе добычи, переработки, транспортировки, откачек шахтной воды, содержащей радионуклиды. Суммируя, можно заключить, что систематический сброс на поверхность шахтных вод с повышенным содержанием радионуклидов ведет к их накоплению в поверхностном слое почвы. Основная масса радиоактивного вещества остается в пахотном (плодородном) слое почвы 25–30 см, что обусловлено его высокими сорбционными свойствами, в связи с насыщенностью органическими веществами. Также следует отметить, что в непосредственной близости от потока содержание ²²⁶Ra на порядок превышает содержание ²³⁸U. По-видимому, слабо-растворимые соли радия быстрее выпадают в осадок и сорбируются почвой. Загрязненные участки земной поверхности являются вторичными источниками радиационной опасности для населения, т. е. образуются дополнительные цепочки миграции радионуклидов: «почва–вода–человек» и «вода–почва–животные–человек» и др. [Nesmejanov, 1962].

Кроме естественных, на территории закрывающихся угольных шахт присутствуют и искусственные радионуклиды – ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr, накопление которых в почво-грунтах связано с Чернобыльской катастрофой. Выявлено, что концентрация ¹³⁷Cs в почво-грунтах исследуемого района составляет 18–55 кБк/м² (0,5–1,5 Ки/км²). Для сравнения, радиоактивное загрязнение по ¹³⁷Cs в г. Чернобыль составляет 9,0 Ки/км², в поселках зоны радиоактивного отчуждения (ПЗРО «Б») – 3,7 Ки/км². Обычные фоновые концентрации ¹³⁷Cs в почво-грунтах равны 0,1–0,2 Ки/км². По нормам радиационной безопасности Украины [NRBU-97/D-2000, 2000] в аварийных ситуациях решение о переселении людей с загрязненной территории принимается при плотности радиоактивного излучения только по ¹³⁷Cs в 400 кБк/м² (11 Ки/км²). Таким образом, содержание ¹³⁷Cs в почво-грунтах исследуемой

территории превышает фоновые значения в 5–10 раз, что предполагает его повышенные концентрации в продуктах питания [Udalov, 2005].

Показано, что закрытие и ликвидация угольной шахты «Пролетарская» привело к стойкому ухудшению радиационно-экологической обстановки в районе исследований. «Мокрая» консервация шахты создает предпосылки для ухудшения качества подземных вод верхнемелового водоносного горизонта, используемого для питьевого водоснабжения местным населением (родники), и централизованного водоснабжения. Кроме изменения макро- и микрокомпонентного состава подземных вод, также отмечается возможность появления в них естественных радионуклидов, в частности ²²²Rn. Помимо этого, появились данные исследований, позволяющие говорить о наличии ²²²Rn в родниках некоторых городов Украины. В крупных городах, таких как Харьков, в связи с перестройкой большое количество промышленных предприятий перестало функционировать и, как следствие, перестали функционировать водозаборные сооружения на этих предприятиях. Предприятия стали использовать сеноман-нижнемеловую воду, что привело к автореабилитационному подъему вод и, как следствие, появлению в некоторых родниках, имеющих питание не инфильтрационное, а техногенное – ²²²Rn.

Выводы. Проанализированы особенности процессов миграции естественных радионуклидов в подземных водах при ликвидации угольных шахт Северо-Восточного Донбасса на примере шахты «Пролетарская» и Светличанского водозабора. Охарактеризованы геологические, гидрогеологические, тектонические особенности территории исследований. Определено, что «мокрая» консервация шахты «Пролетарская» интенсифицировала процессы газовой миграции и создала угрозу загрязнения подземных вод ²²²Rn. Выяснено, что шахта «Пролетарская» оказывала влияние на качественный состав подземных вод, эксплуатируемых Светличанским водозабором. Зафиксировано загрязнение подземных вод тяжелыми металлами, естественными радионуклидами, Cl, Fe и Mn.

Установлено, что сложившиеся за десятилетия условия эксплуатации шахт обусловили значительную техногенную нагрузку на ОПС в угледобывающих регионах. Доказано, что массовое закрытие шахт приводит к возникновению комплекса явлений и процессов, негативных в радиационно-экологическом аспекте. Эти явления и их последствия в настоящее время являются малои-

зученными, трудно прогнозируемыми и почти не управляемыми. Поэтому комплекс мер по изучению, прогнозу и предупреждению неблагоприятных изменений состояния ОПС, а также по ускорению реабилитации отдельных ее компонентов (подземных вод), нарушенных за многолетний период функционирования шахт, должен быть постоянным и системным. По нашему мнению, необходимо проводить системные широкомасштабные исследования влияния «мокрой» консервации шахт на качество и гидродинамические характеристики подземных вод в районах широкомасштабного закрытия шахт.

Библиографические ссылки

- Ban'kovskaja V. M., Ban'kovskij A. L., 2010. Prognozirovanie izmenenij gidrogeologicheskoy obstanovki pri zatoplenii likvidirovannyh ugol'nyh shaht [Predicting changes of the hydrogeological conditions at flooding abandoned coal mines]. *Hydrogeology and Karst: Interuniversity collection of scientific articles*, 17, 7–13 (in Russian).
- Gavrilenko Ju. N., Ermakov V. N., 2004. Tehnogennyye posledstviya zakrytija ugol'nyh shaht Ukrainy: Monografija [Anthropogenic effects of the closure of coal mines in Ukraine: Monograph]. Donetsk, "Nord-Press", 631 (in Russian).
- Komov I. L., 2004. Osnovnyye problemy radonovoj bezopasnosti [The main problems of Radon Safety]. K. : Logos, 351 (in Russian).
- Kovalenko G. D., Rudja K. G., 2001. Radiojekologija Ukrainy [Radioecology of Ukraine]. K. : CPI, Kiev University, 154 (in Russian).
- Martynov A. A., Hnykin V. I., 1963. Tektonika Dneprovsko-Donetskoj vpadiny i Donbassa [Tectonics of the Dnieper-Donets depression and Donbass]. *Pr. UkrNIGRI*, 3, 35–64 (in Russian).
- Mironenko V. A., Mol'skij E. V., Rumynin V. G., 1988. Izuchenie zagryznenija podzemnyh vod v gornodobyvajushhijh rajonah [The study of undergroundwater pollution in mining areas]. L. : Nedra, 279 (in Russian).
- Nesmejanov A. N., 1962. Radioaktivnye izotopy v prirode [Radioactive isotopes in the nature]. M. : Znanie, 1, 38 (in Russian).
- NRBU-97/D-2000. Normy radiatsionnoj bezopasnosti Ukrainy, 2000. Dopolneniye: Radiatsionnaya zashchita ot istochnikov potentsialnogo oblucheniya [NRBU-97/A-2000. Radiation Safety Standards of Ukraine. Supplement: Radiation protection from potential exposure sources]. Kiev : MOZ Publ., 84 (in Russian).
- Novikov V. V., Shal'skij G. G., Danchuk P. A., Tokunova T. V., 2002. Faktory, opredeljayushhie stepen' vozdejstvija gornogo proizvodstva na okruzhajushhuju sredu [Factors determining the impact of mining operations on the environment]. Collection of scientific works. DGMI, Alchevsk, 15, 63–67 (in Russian).
- Rudnev A. V., 1990. Radiacionnaja jekologija [Radiation ecology]. M. : Publishing house of the Moscow State University, 87 (in Russian).
- Seminozhenko V. P., Staliskij D. V., Kasimov A. M., 2011. Promyshlennyye othody: problemy i puti reshenija [Industrial waste: problems and solutions]. H. : Publishing house «Industry», 544 (in Russian).
- Serdjuk A. M., Sikorenko-Gusar V. V., Stoljarchuk T. A., Kurochkin I. A., 2000. Problemy radioaktivnogo zagryznenija vody v Ukraine [The problems of radioactive contamination of the water in Ukraine]. *Hygiene of populated areas*, 36, 514–520 (in Russian).
- Serdjukova A. S., Kapitonov Ju. T., 1975. Izotopy radona i produkty ih raspada v prirode [Isotopes of radon and its decay products in nature]. M. : Atomizdat, 295 (in Russian).
- Shvedov V. P., Shirokov S. I., 1962. Radioaktivnoe zagryznenie vneshnej sredy [Radioactive contamination of the environment]. M. : Gosatomizdat, 275 (in Russian).
- Taranyk O. O., Smec' O. V., Kanin V. O., 2007. Harakterystyka vugil'nyh gaziv Donbasu u zonah tektonichnoi' porushenosti za danymy izotopnyh doslidzhen' na prykladi shahty im. A.F. Zasyad'ka ta Chervonolymans'ka [Characteristics of the Donbass coal gas in zones of tectonic disturbance according isotope research on the example of mine. A. F Zasyadko and Chervonolymanska]. *Ecological problems. D. : DonNTU*, 1–2, 85–89 (in Ukrainian).
- Udalov I. V., 2006. Aktivizacija migracii gazov pri zakrytii ugol'nyh shaht (na primere shahty «Proletarskaja» Luganskoj oblasti) [Activation of gas migration at the closing of coal mines (for example, mine «Proletarian» Luhansk region)]. Collection of scientific papers. Special edition "Chemistry, Chemical Engineering and Environment." Kh. : NTU "KPI", 12, 156–161 (in Russian).
- Udalov I. V., Kononenko A. V., 2016. Osnovni peredumovy znyzhennja jakosti pytnyh pidzemnyh vod krejdyanyh vodozaboriv Shidnoi' Ukrainy [The main prerequisites decline of the quality of drinking groundwater in the cretaceous water intakes of the Eastern Ukraine]. *Bulletin of Kharkiv National University. Series of "Geology. Geography. Ecology"*, 44 (in Ukrainian).
- Udalov I. V., 2005. Osobennosti tehnogenogo zagryznenija podzemnyh vod (na primere Svetlichanskogo vodozabora) [Features of technogenic pollution of undergroundwater (for example,

Svetlichanskii water intake)]. Collection of scientific papers. Special edition «Chemistry, Chemical Engineering and Environment». Kh. : NTU «KPI», 27, 115–121 (in Russian).

Udalov I. V., Kononenko A. V., 2016. Vlijanie tektonicheskikh uslovij na aktivizaciju processov migracii radona pri zakrytii shaht Severo-Vostochnogo Donbassa [Influence of tectonic conditions on the activation process of radon migration at the closing of the mines of the North-East Donbass]. Scientific-practical conference “Modern problems of geology” devoted to V.P. Makrydin (Kharkiv, 26-28 May 2016). Kh. : KhNU Karazin, 113–115 (in Russian).

Udalov I. V., Reshetov I. K., 2005. Radiacionno-jeologicheskaja obstanovka na zakryvajushhi-

hsja shahtah Stahanovskogo regiona Luganskoj oblasti [Radiation-ecological conditions of closing mines Stakhanov region at Lugansk region]. The problems of environmental protection and ecological safety: Coll. Science. Works. USRI-EP. Kh. : WA “Ryder”, 48–57 (in Russian).

Udalov I. V., 2016. Transformacija geologicheskoy sredy pod vlijaniem tehnogennyh processov v uslovijah Severo-Vostochnogo Donbassa: monografija [The transformation of the geological environment influenced by technological processes in the North-East Donbass : monograph]. Kh. : KhNU imeni V. N. Karazin, 180 (in Russian).

Поступила в редакцию 27.09.16