DOI: 10.21870/0131-3878-2016-25-4-126-136

Картирование территории Гомельской, Могилёвской и Витебской областей по комплексному радоновому показателю и объёмной активности радона в жилых зданиях

Чеховский А.Л., Дроздов Д.Н.

УО «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины»,
Гомель, Республика Беларусь

В работе представлено сопоставление картографических данных, полученных двумя разными методами: практическим измерением объёмной активности радона в помещениях жилых зданий и расчётным методом согласно совокупности факторов, оказывающих влияние на объёмную активность радона (комплексный радоновый показатель), которое проводилось на территории трёх областей Республики Беларусь: Гомельской, Могилёвской и Витебской. Для составления карты объёмной активности радона в жилых зданиях использовалось около 2000 измерений объёмной активности радона, полученных с помощью интегральных трековых радиометров радона. При составлении карты по комплексному радоновому показателю использовался ряд факторов, обуславливающих объёмную активность радона, в тех же населенных пунктах, где проводилось практическое измерение радона. Показано, что наиболее неблагоприятная радоновая обстановка наблюдается для Могилёвской области в Круглянском, Шкловском, Горецком, Бельничском, Могилёвском, Дрибинском районах; для Витебской области – в Верхнедвинском, Россонском, Миорском, Шарковщинском, Глубокском, Докшицком, Толочинском, Шумилинском районах, где могут находиться критические зоны радоноопасности. По обоим представленным методам были получены схожие результаты, не имеющие достоверных различий. Наиболее целесообразно применение комплексного радонового показателя с целью снижения финансово-временных затрат и сужения площади исследований до территории потенциальных критических зон радоноопасности, и последующее полномасштабное исследование среднегодовых значений объёмной активности радона на данных территориях. Метод комплексного радонового показателя способствует также большей информативности процесса исследования радоновой обстановки, учитывая ряд радиэкологических и геологических особенностей местности.

Ключевые слова: радон, объёмная активность, дочерние продукты распада, картирование территории, критическая зона радоноопасности, комплексный радоновый показатель, жилое здание, интегральный трековый радиометр радона, полномасштабные исследования, радионуклиды, эффективная доза.

Введение

В контексте аварии на Чернобыльской АЭС основой для принятия управленческих решений являлось значение доз облучения населения, которые регистрировались в периодически разрабатываемых каталогах доз, выпускаемых с промежутком в несколько лет. По данным Каталога-2009, число населенных пунктов (НП), в которых средняя годовая эффективная доза облучения населения от чернобыльских радионуклидов равна или превышает 1 мЗв/год, составляет 193 из 2613 всех НП, находящихся на загрязнённых территориях [1]. По данным последнего Каталога-2014, это количество снизилось до 72 из 2396 [2]. При этом уровень облучения радоном и его дочерними продуктами распада (ДПР) имеет постоянное значение. По данным Публикации № 115 МКРЗ [3] и «Основным нормам безопасности МАГАТЭ» [4] установлен референтный уровень по среднегодовой объёмной активности (ОА) радона 300 Бк/м^3 для жилых домов, что соответствует годовой эффективной дозе порядка 10 мЗв. Необходимо подчеркнуть, что на территории Гомельской, Могилёвской и Витебской областей имеются локальные регионы с неблагоприятной радо-

Чеховский А.Л.* – аспирант; Дроздов Д.Н. – доцент, к.б.н. УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины».
*Контакты: 246038, Республика Беларусь, Гомель, ул. Свиридова, 32. Тел.: +375 (44) 766-54-36; e-mail: chehovskii@mail.ru.

новой обстановкой, где возможно превышение указанного уровня, что создает существенную дозовую нагрузку на население. Таким образом, дополнительное изучение радоновой обстановки и выделение наиболее проблемных территорий с большими значениями объемной активности радона (а значит и эффективной дозой) является очень важным.

В Публикации № 65 МКРЗ были рассмотрены подходы к оценке радоновой опасности и радиационной защите от радона и его ДПР [5]. Одним из основных тезисов Публикации № 65 МКРЗ является необходимость разработки критериев для оценки радоноопасных зон. Известно, что основным источником поступления радона в воздух помещений является почва [6]. Учитывая это, можно провести картирование территории по радоновой опасности с использованием показателей, определяющих концентрации радона в жилых зданиях, и выделить наиболее радоноопасные зоны, где необходимо проведение полномасштабных исследований среднегодовых значений ОА радона. Такой подход является актуальным в случае недостатка ресурсов для проведения полномасштабных исследований, как, например, в Белоруссии.

Целью настоящей работы являлось картирование территории Гомельской, Могилёвской и Витебской областей по комплексному радоновому показателю, учитывающему ряд факторов, определяющих концентрацию радона; а также картирование объемной активности радона в жилых зданиях этих областей и сопоставление полученных картографических данных.

Материалы и методика исследований

Методика комплексного радонового показателя. Если принять, что основным источником поступления радона в воздух жилых зданий является почва [6], то можно считать, что поступление радона в жилые здания определяется, в основном, свойствами подстилающих пород. Исходя из этого, для поиска критических зон радоноопасности можно предложить величину, равную произведению значений факторов, обуславливающих наличие радона в почвах и породах в относительных единицах, которые представляют собой комплексный радоновый показатель (КРП) территории.

Так, одним из важнейших факторов, связанных с ОА радона, является запас урана в почвах. Принимая во внимание, что уран является материнской породой для образования радона, концентрации урана в почвах будут определять содержание радона и как следствие – его ОА. На основе геологической карты Белоруссии, на которой показано расположение пород с различным содержанием урана [7] получены данные, которые были нормированы на значение максимального содержания урана в породе (глина), принятое за 1.

Следующим показателем, определяющим ОА радона, является мощность экспозиционной дозы (МЭД). Колебания гамма-фона на местности определяются, в основном, радионуклидами естественных радиоактивных рядов урана и тория, а также ^{40}K . Соответственно с нарастанием концентрации урана и тория в почве будет нарастать концентрация и их ДПР, в том числе и радона. Учитывая, что газообразный радон стремится выйти на поверхность и располагается преимущественно в приземном слое почвы, некоторые ДПР радона будут также вносить вклад в МЭД. Таким образом, колебания МЭД будут опосредованно указывать на концентрацию радона (как напрямую, через вклад ДПР радона, так и опосредованно, через различные концентрации радионуклидов естественных радиоактивных рядов, в которые входит радон). Для того чтобы исключить влияние искусственных радионуклидов, выпавших на территории Белоруссии после аварии на Чернобыльской АЭС, в исследованиях использовались дочернобыльские кар-

ты МЭД [8, 9]. Полученные значения были нормированы на максимальную величину – 12 мкР/ч, принятую за 1. В настоящий момент МЭД не используется, однако, карты первоисточников разработаны в дочернобыльский период и отображают устаревшие величины (МЭД). При этом с учётом нормирования значения МЭД могут быть использованы без перевода в величины, принятые на данное время (поглощённая доза).

Необходимо также учитывать, что эксхалация радона зависит от проницаемости почвы, которая в свою очередь, в большей степени, зависит от коэффициента фильтрации радона в грунтах [10]. Исходя из того факта, что период полураспада ^{222}Rn составляет около 3,8 суток, скорость его прохождения через слой почвы имеет важное значение, и обуславливает конечную ОА радона в жилых зданиях. Полученные по картам [11] значения коэффициента фильтрации были нормированы на максимальную величину (песчано-гравийная смесь), принятую за 1.

Также важным фактором, определяющим концентрации радона, является уровень залегания первого от поверхности водоносного горизонта. При уровне в 1-2 м от поверхности почвенный радон почти полностью поглощается, а при уровне более 10 м весь выделенный радон остаётся в почвенном воздухе [12]. Значения глубины залегания первого водоносного горизонта были получены по гидрогеологической карте территории Белоруссии [13] и нормированы на максимальную величину – 10 м, принятую за 1.

Таким образом, КРП представляет собой произведение значений факторов, обуславливающих наличие радона в почвах и породах в относительных единицах: запас урана в почвах, мощность дозы дочернобыльского фона, проницаемость почв и пород для радона и глубину залегания первого водоносного горизонта. Данный радоновый показатель можно представить формулой:

$$R = U_{отн} \cdot M_{отн} \cdot F_{отн} \cdot W_{отн}, \quad (1)$$

где R – значение комплексного радонового показателя, отн. ед; $U_{отн}$ – нормированное значение запаса урана в почвах и породах, отн. ед.; $M_{отн}$ – нормированное значение мощности экспозиционной дозы, отн. ед.; $F_{отн}$ – нормированное значение коэффициента фильтрации радона в почве, отн. ед.; $W_{отн}$ – нормированное значение уровня залегания первого от поверхности водоносного горизонта, отн. ед.

Обоснование применения данных показателей приводится в работе [14]. На основе значений КРП можно выделить критические зоны радоноопасности, где ряд указанных факторов, определяющих концентрацию радона, будет способствовать формированию значительно более высоких ОА радона в жилых зданиях.

Методика по картированию объёмной активности радона в жилых зданиях. Для составления карты объёмной активности радона в жилых зданиях были использованы результаты исследований, проведённых ГНУ «Объединённый институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» (ГНУ ОИЭиЯИ – Сосны, г. Минск) в течение 2004-2015 гг. на территории 3-х областей Республики Беларусь: Гомельской, Могилёвской, Витебской [15, 16]. Исследования были выполнены по методике, позволяющей проводить мониторинг радона: «Методика определения объёмной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонметров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц» (МВИ.МН 1808-2002) [17]. В среднем, равномерность размещения дозиметров соответствует начальным европейским требованиям: ячейка 10 на 10 км [18]. Количество измерений по областям: Гомельская – 960 в 48 НП, Могилёвская – 585 в 89 НП, Витебская – 372 в 90

НП. Всего для составления карты было использовано 1917 измерений в 227 НП, в среднем по 7 измерений на НП.

Построение карт радоноопасности. Была сформирована пространственно-скоординированная база данных результатов измерений с применением программного продукта Excel 2003. С помощью встроенных формул обработка и расчёт необходимых для определения КРП данных проводили в автоматическом режиме, что оптимизировало проведение работы. База данных включала в себя ряд целевых позиций: географические координаты долготы и широты места измерения, значения КРП, ОА радона; и второстепенных позиций: порядковый номер измерения; значения 4 факторов, входящих в КРП в абсолютных и относительных величинах; полный адрес места измерения и т.д. Процедура построения карты радоноопасности по КРП и ОА радона в жилых зданиях была выполнена с применением программного продукта MapInfo10.5. Для построения тематических карт использовалась топооснова со слоями НП и границами районов и областей, на которую наносились (согласно географическим координатам) значения КРП или ОА радона в жилых зданиях. Построение карты проводилось соответствующими программными процедурами с нанесением на рабочую поверхность изолиний согласно 5 градациям значений КРП или ОА радона, указанных на легендах к рис. 1 и 2. Каждая из 5 градаций была раскрашена в контрастный цвет, причём на обеих картах цвета для соответствующих градаций были одинаковы, для облегчения возможного анализа и сопоставления двух построенных карт.

Результаты исследований и их обсуждение

Определение радоноопасности территории по комплексному радоновому показателю. На основании показателей, непосредственно влияющих на ОА радона (содержание урана в почвах, дочернобыльская МЭД, коэффициент фильтрации почв для радона, глубины залегания первого водоносного горизонта), были получены значения КРП. Разработанная карта радоноопасности Гомельской, Могилёвской и Витебской областей по КРП представлена на рис. 1. По карте была проведена комплексная оценка радоновой опасности районов Гомельской, Могилёвской и Витебской областей. Все районы Гомельской области имеют низкие значения КРП (до $50 \cdot 10^{-4}$ отн. ед.) и низкий уровень радоновой опасности. Это обусловлено достаточно однородными геологическими и экологическими условиями данной территории: малые значения МЭД (до 8 мкР/ч), небольшое и среднее содержание урана в почвах ($0-1 \cdot 10^{-3}\%$), поверхностное залегание первого водоносного горизонта (до 5 м), средние и высокие значения коэффициента фильтрации почвы (0,027-0,04 отн. ед.). Необходимо выделить Ветковский район, на севере которого значения КРП доходят до $70 \cdot 10^{-4}$ отн. ед., что обусловлено повышением содержания урана в почве до $1,75 \cdot 10^{-3}\%$, глубинами залегания первого водоносного горизонта до 10 м, резкими изменениями в коэффициенте фильтрации почвы (0,004-0,04 отн. ед.).

Районы, расположенные на юго-западе Могилёвской области, имеют сходные условия с районами Гомельской области и также характеризуются низким уровнем радоновой опасности (Глусский, Бобруйский, Осиповичский, Кировский, Кличевский). Районы на севере Могилёвской области, напротив, имеют большие значения КРП ($70-200 \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и более) и высокий уровень радоновой опасности (Круглянский, Шкловский, Горецкий, Бельничский, Могилёвский, Дрибинский районы). Это обусловлено высокими значениями МЭД (до 11 мкР/ч), значительным содержанием урана в почвах ($1,5-2 \cdot 10^{-3}\%$), средним и глубоким залеганием водоносного гори-

зонта (7,5-10 м и более), что позволяет радону беспрепятственно проходить через слой почвы. При этом низкие и средние значения коэффициента фильтрации радона в почве (0,004-0,027 отн. ед.) неспособны значительно уменьшить ОА радона. Остальные районы Могилёвской области (Мстиславский, Чаусский, Кричевский, Чериковский, Климовичский, Быховский, Славгородский, Краснопольский, Костюковичский, Хотимский районы) имеют средний уровень радоновой опасности с промежуточными значениями КРП ($40-80 \cdot 10^{-4}$ отн. ед.) и составляющих его показателей.

Рис. 1. Карта радоноопасности по комплексному радоновому показателю Гомельской, Могилёвской и Витебской областей.

Районы, расположенные преимущественно в центральной и восточной части Витебской области, имеют промежуточные значения КРП ($40-80 \cdot 10^{-4}$ отн. ед.) и средний уровень радоновой опасности (Полоцкий, Бешенковичский, Городокский, Витебский, Лиозненский, частично Дубровинский). Данные районы характеризуются следующими значениями показателей: МЭД – до 8 мкР/ч, содержание урана в почвах – $1,5-2 \cdot 10^{-3}\%$ и более, глубина залегания первого водоносного горизонта – 2,5-7,5 м, коэффициент фильтрации радона в почве – 0,004-0,04 отн. ед. Районы, расположенные в центральной, западной и юго-восточной части Витебской области (Верхнедвинский, Россонский, Браславский, Миорский, Шарковщинский, Поставский, Глубокский, Ушачский, Докшицкий, Лепельский, Чашникский, Сенненский, Толочинский, Шумилинский, Оршанский, частично Дубровинский), имеют большие значения КРП ($70-200 \cdot 10^{-4}$ отн. ед. и бо-

лее) и высокий уровень радоноопасности. Это обусловлено высокими значениями МЭД (до 12 мкР/ч), значительным содержанием урана в почвах ($1,5-2 \cdot 10^{-3}\%$ и более), глубоким залеганием первого водоносного горизонта (5-10 м и более) и значительным варьированием значений коэффициента фильтрации радона в почве (0,004-0,04 отн. ед.).

Показано, что наиболее неблагоприятная радоновая обстановка наблюдается для Могилёвской области – в Круглянском, Шкловском, Горецком, Бельничском, Могилёвском, Дрибинском районах; для Витебской области – в Россонском, Верхнедвинском, Миорском, Шарковщинском, Глубокском, Докшицком, Шумилинском, Толочинском (частично в других районах), где были зарегистрированы потенциальные критические зоны радоноопасности со значениями КРП от $100 \cdot 10^{-4}$ отн. ед., а местами – $200-300 \cdot 10^{-4}$ отн. ед.

Определение радоноопасности по картированию объёмной активности радона в жилых зданиях. На основе данных по измерению ОА радона в жилых зданиях [15-17] была разработана карта ОА радона в жилых зданиях Гомельской, Могилёвской и Витебской областей, которая приведена на рис. 2.

Рис. 2. Карта объёмной активности радона в жилых зданиях на территории Гомельской, Могилёвской и Витебской областей.

По карте была проведена оценка радоновой опасности районов Гомельской, Могилёвской и Витебской областей. Все районы Гомельской области имеют низкие значения ОА радона: 0-70 Бк/м³ с возможными единичными измерениями вплоть до 100 Бк/м³. В целом территория

Гомельской области достаточно однородна и имеет низкий уровень потенциальной радоноопасности.

Районы, расположенные на юго-западе Могилёвской области, имеют низкий уровень радоновой опасности: ОА радона находится в пределах 0-70 Бк/м³ с единичными измерениями вплоть до 100 Бк/м³ (Кличевский, Осиповичский, Кировский, Бобруйский, Глуский). Районы центральной и восточной части Могилёвской области имеют промежуточные значения, с повышением уровня ОА радона до 40-70 Бк/м³ и со значительными территориями вплоть до 150 Бк/м³ (Быховский, Чаусский, Славгородский, Чериковский, Краснопольский, Мстиславский, Кричевский, Климовичский, Костюковичский, Хотимский). Районы, расположенные на севере области, представляет зону потенциальной радоноопасности. На данной территории ОА радона находится в пределах 70-200 Бк/м³ с ограниченными областями вплоть до 400 Бк/м³ (Круглянский, Шкловский, Горецкий, Бельничский, Могилёвский и Дрибинский).

Районы, расположенные преимущественно в центральной и восточной части Витебской области, имеют значения ОА радона в пределах 40-70 Бк/м³ с возможными единичными измерениями как в меньшую сторону – 0-40 Бк/м³, так и в большую сторону – до 150 Бк/м³ (Полоцкий, Бешенковичский, Городокский, Витебский, частично Лиозненский и Дубровенский). Районы центральной, западной и юго-восточной части Витебской области характеризуется значениями ОА радона в интервале 70-100 Бк/м³, с возможными единичными измерениями в меньшую сторону – 40-70 Бк/м³, и значительными колебаниями ОА радона в большую сторону – до 200 Бк/м³, а также с ограниченными областями вплоть до 400 Бк/м³ (Верхнедвинский, Россонский, Браславский, Миорский, Шарковщинский, Поставский, Глубокский, Ушачский, Докшицкий, Лепельский, Чашникский, Сенненский, Толочинский, Шумилинский, Оршанский, частично Лиозненский и Дубровенский).

Показано, что наиболее неблагоприятная радоновая обстановка наблюдается для Могилёвской области – в Круглянском, Шкловском, Горецком, Бельничском, Могилёвском, Дрибинском районах; для Витебской области – в Россонском, Верхнедвинском, Миорском, Шарковщинском, Глубокском, Докшицком, Шумилинском, Толочинском районах, где были зарегистрированы потенциальные критические зоны радоноопасности со значениями ОА радона от 100 Бк/м³ до 400 Бк/м³.

Сопоставление полученных данных. Для статистического сопоставления радоноопасности по методу КРП и картированию ОА радона в жилых зданиях был проведён дисперсионный анализ данных результатов моделирования и экспериментальных исследований.

Учитывая, что КРП представлен факторами, оказывающими влияние на ОА радона, между КРП и ОА радона в жилых зданиях имеется сильная (коэффициент корреляции $r = 0,81 \pm 0,001$) достоверная ($t_{\text{эм}} = 810 > t_{\text{ст}} = 1,961$ при $p < 0,05$) корреляционная связь [14]. Было составлено уравнение линейной регрессии измеренных среднегодовых значений ОА радона в жилых зданиях НП Республики Беларусь, накопленных за период 2004-2015 гг. [15, 16] и КРП. Данное уравнение перехода от КРП к ОА радона имеет вид (2):

$$OA_{\text{изм}} = KPP \cdot 6200 + 40, \quad (2)$$

где $OA_{\text{изм}}$ – измеренные среднегодовые значения ОА радона в жилых зданиях НП Республики Беларусь, накопленные за период 2004-2015 гг., Бк/м³; KPP – комплексный радоновый показатель, отн. ед.

По представленному уравнению линейной регрессии, используя значения КРП, были восстановлены ожидаемые среднегодовые значения ОА радона в жилых зданиях и сопоставлены с

экспериментальными данными измерений среднегодовых значений ОА радона в жилых зданиях НП Республики Беларусь, накопленных за период 2004-2015 гг. [15, 16].

Для статистического сопоставления результатов моделирования и экспериментальных исследований был проведён дисперсионный анализ данных. Эмпирическое значение F-критерия Фишера значительно меньше его критического значения ($F_{\text{эпм}}=0,249 < F_{\text{крит}}=3,84$) при уровне значимости $p>0,05$. Это означает, что разница между выборками не значима. Статистические различия между модельными и практическими результатами отсутствуют.

Заключение

Методика по определению радоноопасности территории по комплексному радоновому показателю учитывает целый ряд факторов [14]. С его помощью можно определить географическое положение критических зон радоноопасности и составить тематические карты этих территорий без проведения дорогостоящих, длительных, широкомасштабных исследований. При этом для принятия конкретных решений по дальнейшему проведению противорадоновых контрмер необходимо в критических зонах радоноопасности провести детальные исследования среднегодовых значений ОА радона в жилых зданиях [3]. Согласно методике определения радоноопасности по картированию ОА радона в жилых зданиях специалистами ОИЭиЯИ проведён широкомасштабный мониторинг радона в воздухе зданий Гомельской, Могилёвской и Витебской областей, на основе которого составлена карта ОА радона в жилых зданиях [16]. Необходимо отметить, что результаты, полученные по обеим методикам, являются схожими, и каждая из них может быть использована для анализа радоновой обстановки. Это подтверждает и статистическая обработка результатов моделирования и экспериментальных исследований, согласно которой не обнаружено достоверных различий между результатами двух указанных подходов. По обеим методикам показано, что наиболее неблагоприятные условия по радону наблюдается для Могилёвской области в Круглянском, Шкловском, Горецком, Бельничском, Могилёвском, Дрибинском районах; для Витебской области в Верхнедвинском, Россонском, Миорском, Шарковщинском, Глубокском, Докшицком, Толочинском, Шумилинском районах (частично в ряде других районов). Наиболее целесообразным будет применение методики комплексного радонового показателя с целью снижения финансово-временных затрат и сужения площади исследований до территории потенциальных критических зон радоноопасности, и последующее исследование среднегодовых значений ОА радона на данных территориях.

Литература

1. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. Утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 7.07.2009 г. Гомель: РНПЦРМиЭЧ, 2009. 86 с.
2. Каталог средних годовых эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. Утв. Министром здравоохранения Республики Беларусь 17.09.2014 г. Гомель: РНПЦРМиЭЧ, 2014. 76 с.
3. Риск возникновения рака лёгкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявление по радону /Под ред. М.В. Жуковского, С.М. Киселева, А.Т. Губина; Перевод публикации 115 МКРЗ. М.: ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, 2013. 92 с.
4. Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Вена: Международное агентство по атомной энергии, 2015. 518 с.
5. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах /Под ред. М.В. Жуковского, А.В. Кружало; Перевод публикации № 65 МКРЗ. М.: Энергоатомиздат, 1995. 78 с.
6. **Бекман И.Н.** Радон: враг, врач и помощник. М.: МГУ, 2000. 205 с.
7. **Шагалова Э.Д.** Содержание урана-238 в почвах Беларуси //Почвоведение. 1986. № 2. С. 140-145.
8. Геохимические провинции покровных отложений БССР /Под ред. К.И. Лукашева. Минск: Наука и техника, 1969. С. 462-470.
9. **Булыгин Б.П., Карпов Э.Д., Куштысев А.А., Максимов М.М., Соколов В.И., Шкрабо И.В.** Инструкция по гамма-каротажу при массовых поисках урана. Утв. Мин. геологии СССР 01.09.81 г. Л.: Министерство геологии СССР, 1982. 101 с.
10. **Адушкин В.В., Дивков И.И., Кожухов С.А.** Поля почвенного радона в восточной части Балтийского щита //Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер. М.: Геос, 2005. С. 173-178.
11. **Беляшов А.В.** Оценка гидрогеологических параметров по данным геофизических исследований в скважинах: методическое руководство. Минск: Фонды геофизической экспедиции, 2008. 43 с.
12. Выполнение комплексной геофизической съёмки на площадке возможного размещения АЭС и прогноз миграции радионуклидов с подземными водами (Шкловско-Горецкий пункт, Кукшиновская площадка): Отчёт о НИР (закл.) /Бел. геофиз. экспед.; рук. А.В. Гаврилов. Минск, 2008. 257 с.
13. **Богомолов Г.В., Грипинский Н.М., Кралев М.Ф., Маляр Г.Г., Сверинский А.Н.** Гидрогеологическая карта четвертичных отложений Белорусской ССР. Минск: Институт геологических наук, 1963.
14. **Чеховский А.Л.** Обоснование применения компонентов радонового показателя для картирования радонового потенциала //Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. 2014. № 6 (87). С. 100-106.
15. **Карабанов А.К., Чунихин Л.А., Чеховский А.Л., Дроздов Д.Н., Ярошевич О.Я., Жук И.В., Конопелько М.В., Матвеев А.В.** Радон и дочерние продукты его распада в воздухе зданий на территории Беларуси //Природопользование: сб. научн. трудов. Вып. 27. Минск: Институт природопользования НАН Беларуси, 2015. С. 49-53.
16. **Карабанов А.К., Чунихин Л.А., Дроздов Д.Н., Чеховский А.Л., Жук И.В., Ярошевич О.И., Конопелько М.И.** Карта радонового риска Беларуси //Природные ресурсы. 2015. № 2. С. 73-78.
17. Методика определения объёмной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц. МВИ.МН 1808-2002. Минск, 2002. 18 с.
18. **Friedmann H.** Final results of the Austrian radon project //Health Physics. 2005. V. 89, N 4. P. 339-348.

Mapping territory of Gomel, Mogilev and Vitebsk regions for complex radon index and radon volume activity in residential buildings

Chekhovskij A.L., Drozdov D.N.

Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus

The paper presents comparison of two methods of data obtaining for creating maps of indoor radon concentration in radioactively contaminated settlements of Gomel, Mogilev, Vitebsk oblasts of Belarus, which are radon-hazard-potential areas. The data were obtained by direct measurement of radon volume activity in dwellings or by calculation of the complex radon index, the product of factors, expressed in relative units, determining radon presence in soil and subsurface material. For creating maps of indoor radon volume activity 2000 measurements using integrated track radon radiometers were made. For designing map with the use of calculated data sets of factors affecting bulk radon activity in the same areas were used. Radon-related adverse conditions in some settlements of Mogilev and Vitebsk oblasts are mapped out. When comparing data obtained by two methods, we did not find statistically significant difference. However, calculation of the complex radon index is the most appropriate approach, which allows reducing financial expenses, time and labor expenditures. It is the informative tool for research on presence of radon in earth material and indoor air with account of radio-ecological and geological features of the area.

Keywords: *radon, volume activity, radon progeny, mapping territory, radon-hazard-potential areas, complex radon index, dwelling, integral track radon radiometer, full-scale investigation, radionuclides, effective dose.*

References

1. Katalog srednih godovyh effektivnyh doz obluchenija zhitelej naselennyh punktov Respubliki Belarus' [Catalog of average annual effective doses to residents of Belarus settlements]. Utv. M-strom zdravoohranenija Respubliki Belarus' 7.07.2009 g. Gomel': RNPCRMiJeCh, 2009. 86 p.
2. Katalog srednih godovyh effektivnyh doz obluchenija zhitelej naselennyh punktov Respubliki Belarus' [Catalog average annual effective doses residents of Belarus settlements]. Utv. M-strom zdravoohranenija Respubliki Belarus' 17.09.2014 g. Gomel', RNPCRMiJeCh, 2014. 76 p.
3. ICRP, Publication 115. Lung Cancer Risk from Radon and Progeny and Statement on Radon. *Ann. ICRP*, 2010, vol. 40, no 1, pp. 1-64.
4. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. Viena, IAEA, 2014. 471 p.
5. ICRP, Publication 65. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. *Ann. ICRP*, 1993, vol. 23, no 2, pp. 1-45.
6. **Bekman I.N.** Radon: vrag, vrach i pomoshhnik [Radon is enemy, doctor and assistant]. Moscow, MGU, 2000. 205 p.
7. **Shagalova Je.D.** Soderzhanie urana-238 v pochvah Belarusi [The content of uranium-238 in soils of Belarus]. *Pochvovedenie – Soil*, 1986, no. 2, pp. 140-145.
8. Geohimicheskie provincii pokrovnyh otlozhenij BSSR [Geochemical Province of cover sediments BSSR]. Ed.: K.I. Lukashev. Minsk, Nauka i tehnika, 1969. pp. 462-470.
9. **Bulygin B.P., Karpov Je.D., Kushtysev A.A., Maksimov M.M., Sokolov V.I., Shkrabo I.V.** Instrukcija po gamma-karotazhu pri massovyh poiskah urana [Instructions gamma logging in mass seeking uranium]. Utv. Min. geologii SSSR 01.09.81 g. Leningrad, Ministerstvo geologii SSSR, 1982. 101 p.

Chekhovskij A.L.* – Postgraduate Student; **Drozdov D.N.** – Associate Professor, C. Sc., Biol. Skorina Gomel State University.

*Contacts: 32 Sviridova str., Gomel, The Republic of Belarus, 246038. Tel.: +375 (44) 766-54-36; e-mail: chehovskii@mail.ru.

10. **Adushkin V.V., Divkov I.I., Kozhuhov S.A.** Polja pochvennogo radona v vostochnoj chasti Baltijskogo shhita [Fields of soil radon in eastern part of Baltic Shield]. *Dinamicheskie processy v sisteme vnutrennih i vneshnih vzaimodejstvujushhih geosfer* [Dynamic processes in system of internal and external interacting between geospheres]. Moscow, Geos, 2005. pp. 173-178.
11. **Beljashov A.V.** Ocenka gidrogeologicheskikh parametrov po dannym geofizicheskikh issledovanij v skvazhinah: Metodicheskoe rukovodstvo [Evaluation of hydrogeological parameters according to geophysical explorations in holes: Methodological guide]. Minsk, Fondy geofizicheskoy jekspedicii, 2008. 43 p.
12. Vypolnenie kompleksnoj geofizicheskoy s#emki na ploshhadke vozmozhnogo razmeshhenija AJeS i prognoz migracii radionuklidov s podzemnymi vodami (Shklovsko-Goreckij punkt, Kukshinovskaja ploshhadka): Otchet o NIR (zakl.) [Implementation of an integrated geophysical survey at site of possible deployment nuclear power plants and forecast of radionuclide migration with groundwater (Shklovsko Gorki-point Kukshinovskaya area): Research report (bookmark)]. Bel. geofiz. jeksped; ruk. A.V. Gavrilov. Minsk, 2008. 257 p.
13. **Bogomolov G.V., Gripskij N.M., KraleV M.F., Maljar G.G., Sverinskij A.N.** Hidrogeologicheskaja karta chetvertichnyh otlozhenij Belorusskoj SSR [Hydrogeological map quaternary deposits of the Belorussian SSR]. Minsk, Institut geologicheskikh nauk, 1963.
14. **Chekhovskij A.L.** Obosnovanie primenenija komponentov radonovogo pokazatelja dlja kartirovanija radonovogo potencijala [Rationale use components radon index for mapping radon potential]. *Izvestija Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta imeni F. Skoriny – Proceedings of Skaryna Gomel State University*, 2014, no. 6 (87), pp. 100-106.
15. **Karabanov A.K., Chunihin L.A., Chehovskij A.L., Drozdov D.N., Jaroshevich O.Ja., Zhuk I.V., Konopel'ko M.V., Matveev A.V.** Radon i dochernie produkty ego raspada v vozduhe zdaniy na territorii Belarusi [Radon and its decay daughter products in air buildings on territory of Belarus]. *Prirodopol'zovanie – Use of natural resources*, vol. 27. Minsk: Institut prirodopol'zovanija NAN Belarusi, 2015. pp. 49-53.
16. **Karabanov A.K., Chunihin L.A., Drozdov D.N., Chekhovskij A.L., Zhuk I.V., Jaroshevich O.I., Konopel'ko M.I.** Karta radonovogo riska Belarusi [Radon risk map of Belarus]. *Prirodnye resursy – Natural Resources*, 2015, no. 2, pp. 73-78.
17. Metodika opredelenija ob'emnoj aktivnosti radona v vozduhe zhilyh i proizvodstvennyh pomeshhenij s ispol'zovaniem integral'nyh radonometrov na osnove tverdotel'nyh trekovyh detektorov al'fa-chastic [Method determination volume activity of radon in air residential and industrial buildings using integrated radonometrov based on solid-state track detectors of alpha particles]. MVI.MN 1808-2002. Minsk, 2002. 18 p.
18. **Friedmann H.** Final results of the Austrian radon project. *Health Physics*, 2005, vol. 89, no. 4, pp. 339-348.