

Определение критических зон радоноопасности по методу комплексного радонового показателя и картированию радонового риска

А.Л. ЧЕХОВСКИЙ

Затрагивается проблема естественного радиоактивного газа – радона. Проведено определение критических зон радоноопасности по методу комплексного радонового показателя и картированию радонового риска. Показано, что наиболее неблагоприятные условия по радону наблюдаются для Могилевской области в Круглянском, Шкловском, Горецком, Бельничском, Могилевском, Дрибинском районах; для Витебской области в Верхнедвинском, Россонском, Миорском, Шарковщинском, Глубокском, Докшицком, Толочинском, Шумилинском районах (частично в ряде других районов), где могут находиться критические зоны радоноопасности. По обоим представленным методиками были получены схожие результаты.

Ключевые слова: радон, объемная активность, картирование территории, критические зоны радоноопасности, комплексный радоновый показатель, радоновый риск.

The problem of the natural radioactive gas – radon is considered. A determination of critical areas by the method of complex radon indicator and mapping radon risk is given. It is shown that the most unfavorable conditions for radon are observed for the Mogilev region in Krugloe, Shklov, Gorki, Belynichi, Mogilev, Drybin areas; for the Vitebsk region in Verkhnedvinsk, Rossony, Miory, Sharkovshchina, Glubokoye, Dokshitsy, Tolochin, Shumilino areas (partially in several other areas), which may be critical areas of radon safety. For both techniques presented similar results were obtained.

Keywords: radon, volume activity, mapping the territory, critical areas radon, complex radon indicator, radon risk.

Введение. Проблема радиоактивного газа – природного радона, является важной проблемой биологии, экологии и радиационной медицины, непосредственно касающейся населения многих регионов мира, в том числе и Беларуси. Радон – благородный радиоактивный газ, образующийся в радиоактивной цепочке в процессе распада естественных радионуклидов семейств урана и тория. Согласно оценке Научного комитета по действию атомной радиации (НКДАР) ООН, радон и его дочерние продукты распада (ДПР) определяют примерно 2/3 годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации, и примерно половину дозы от всех источников радиации [1]. Наиболее значимым дозовым фактором является воздействие радона, содержащегося в воздухе помещений, на органы дыхания человека. При этом воздействие альфа-излучения на высокочувствительные клетки дыхательной системы повышает риск возникновения и развития рака легких [2]. По оценкам экспертов Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) облучение населения за счет радона обуславливает до 20 % общего количества заболеваний раком легких [3].

Принципиально новые подходы к оценке радоновой опасности и радиационной защите от радона и его ДПР были показаны в Публикации № 65 МКРЗ, 1993 г. [4]. Одним из основных тезисов данной публикации является необходимость введения понятия и критериев для оценки радоноопасных зон, что является очень важным в случаях недостатка ресурсов для проведения полномасштабных исследований, как, например, в Беларуси. Известно, что основным источником поступления радона в воздух помещений является почва [5]. В геологическом отношении около 40 % территории Республики Беларусь, преимущественно Север и Северо-Запад, рассматриваются как потенциально радоноопасные [6]. Учитывая это, можно провести картирование территории по радоновой опасности с использованием радиоэкологических показателей, определяющих концентрации радона, выделить наиболее радоноопасные зоны и предложить необходимые противорадоновые мероприятия. В полномасштабных исследованиях для выявления критических зон применяется картирование радонового риска, при использовании в качестве параметра объемной активности (ОА) радона в помещениях зданий или радонового потенциала при использовании ОА радона в почвенном воздухе [7].

Целью настоящей работы являлось картирование территории Гомельской, Могилевской и Витебской областей по комплексному радоновому показателю (КРП), учитывающему ряд факторов, определяющих концентрацию радона, а также картирование радонового риска и сопоставление полученных картографических данных.

Материалы и методика исследований. *Методика комплексного радонового показателя.* Если принять, что в сельских населенных пунктах преобладают одноэтажные деревянные строения с простыми фундаментами и деревянными полами, то можно считать, что поступление радона в помещение определяется, в основном, свойствами подстилающих пород. Исходя из этого, для поиска критических зон радоноопасности можно предложить величину, равную произведению значений факторов, обуславливающих наличия радона в почвах и породах в относительных единицах, которые представляют собой КРП территории.

Так, одним из важнейших факторов, связанных с ОА радона является запас урана в почвах и породах. 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 Беларуси, на которых показано расположение пород с различным содержанием урана [8] 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. Учитывая, что гамма-фон на местности определяется, в основном, радионуклидами 3-х естественных радиоактивных рядов уранов и тория, а также калия-40 (мощность дозы от которого принята постоянной) – колебания МЭД определяется концентрацией естественных радионуклидов в почвах. Таким образом, МЭД может опосредованно указывать на наличие радона. Для того чтобы исключить влияние искусственных радионуклидов, выпавших на территории Беларуси после аварии на Чернобыльской АЭС, в исследованиях использовались дочернобыльские карты МЭД [9], [10]. Полученные значения были нормированы на максимальную величину – 12 мкР/час, принятую за 1. Необходимо также учитывать, что эксхалация радона зависит от проницаемости почвы, которая в свою очередь, в большей степени, зависит от коэффициента фильтрации радона в грунтах [11]. Исходя из того факта, что период полураспада радона ^{222}Rn составляет около 3,8 суток, скорость его прохождения через слой почвы имеет важное значение, и обуславливает конечную ОА радона в помещениях зданий. Полученные по картам [12] 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 остается в почвенном воздухе [13]. Значения глубины залегания первого водоносного горизонта были получены по гидрогеологической карте территории Беларуси [14] и нормированы на максимальную величину – 10 м, принятую за 1.

Таким образом, КРП представляет собой произведение значений факторов, обуславливающих наличия 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 1:

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

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

Обоснование применения данных показателей приводится в работе [15]. На основе значений КРП можно выделить критические зоны радоноопасности, где ряд радиоэкологических показателей и факторов, определяющих концентрацию радона, будут способствовать формированию значительно более высоких ОА радона в помещениях зданий.

Методика по картированию радонового риска. Для составления карты радонового риска были использованы результаты исследований, проведенных ОИЭиЯИ (г. Минск, Сосны) в течение 2005–2014 гг. на территории 3-х областей Республики Беларусь: Гомельской, Могилевской, Витебской [16], [17]. Исследования были выполнены по методике, позволяющей проводить мониторинг радона: «Методики определения объемной активности радона в воздухе жилых и производственных помещений с использованием интегральных радонометров на основе твердотельных трековых детекторов альфа-частиц» (МВИ. МН. 1808-2002) [18]. В среднем, равномерность размещения дозиметров соответствует начальным европейским требованиям: ячейка 10 на 10 км [19]. Количество измерений по областям: Гомельская – 960 в 48 населенных пунктах (НП), Могилевская – 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 расчет необходимых для определения КРП данных проходила в автоматическом режиме, что значительно 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 радоновому риску была выполнена с применением программного продукта MapInfo10.5. Для построения тематических карт использовалась топооснова со слоями населенных пунктов и границами районов и областей, на которую наносились (согласно географическим координатам) значения КРП или радонового риска. Построение карты проводилось соответствующими программными процедурами с нанесением на рабочую поверхность изолиний согласно 5 градациям значений КРП или ОА радона, указанных на легендах к рисункам 1 и 2. Каждая из 5 градаций была раскрашена в контрастный цвет, причем 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 мощность экспозиционной дозы, коэффициент фильтрации почв для радона, глубинами залегания первого водоносного горизонта) были получены значения КРП. Разработанная карта радоноопасности Гомельской, Могилевской и Витебской областей по КРП представлена на рисунке 1. По карте была проведена комплексная оценка радоновой опасности районов Гомельской, Могилевской и Витебской областей. Все районы Гомельской области имеют низкие значения КРП (до 50×10^{-4} отн. ед.) и низкий уровень радоновой опасности. Это обусловлено достаточно однородными геологическими и экологическими условиями данной территории: малые значения МЭД (до 8 мкР/час), небольшое и среднее содержание урана в почвах ($0-1 \times 10^{-3} \%$), 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 70×10^{-4} отн. ед., что обусловлено повышением содержания урана в почве до $1,75 \times 10^{-3} \%$, глубинами залегания первого водоносного горизонта до 10 м, резкими изменениями в коэффициенте фильтрации почвы (0,004–0,04 отн. ед.).

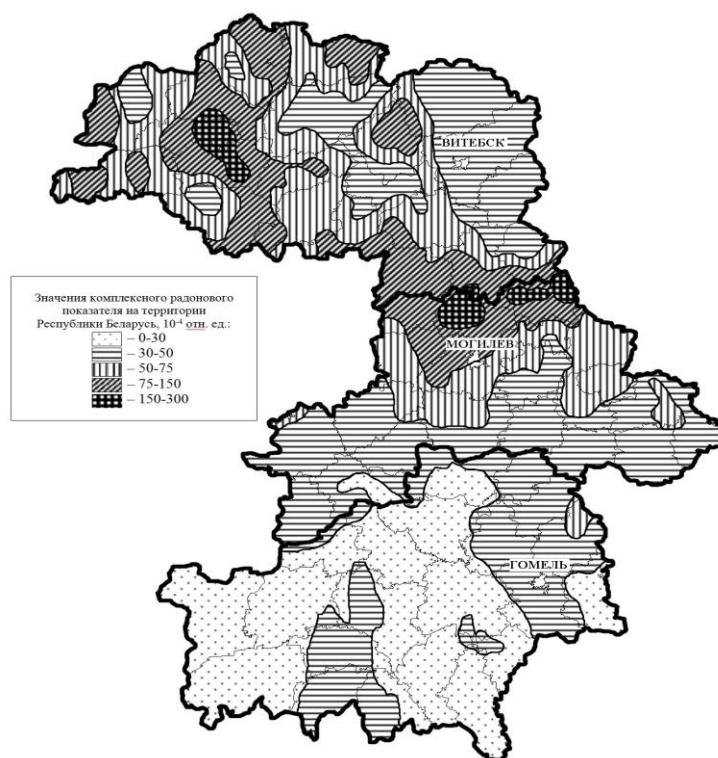


Рисунок 1 – Карта радоноопасности по комплексному радоновому показателю Гомельской, Могилевской и Витебской областей

Районы, расположенные на юго-западе Могилевской области, имеют сходные условия с районами Гомельской области и также характеризуются низким уровнем радоновой опасности (Глусский, Бобруйский, Осиповичский, Кировский, Кличевский). Районы на севере Могилевской области напротив, имеют большие значения КРП ($70-200 \times 10^4$ отн. ед. и более) и высокий уровень радоновой опасности (Круглянский, Шкловский, Горецкий, Бельничский, Могилевский, Дрибинский районы). Это обусловлено высокими значениями МЭД (до 11 мкР/час), значительным содержанием урана в почвах ($1,5-2 \times 10^{-3} \%$), средним и глубоким залеганием водоносного горизонта (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 Могилевской области (Мстиславский, Чаусский, Кричевский, Чериковский, Климовичский, Быховский, Славгородский, Краснопольский, Костюковичский, Хотимский районы) имеют средний уровень радоновой опасности с промежуточными значениями КРП ($40-80 \times 10^4$ отн. ед.) и составляющих его показателей.

Районы, расположенные преимущественно в центральной и восточной части Витебской области имеют промежуточные значения КРП ($40-80 \times 10^4$ отн. ед.) и средний уровень радоновой опасности (Полоцкий, Бешенковичский, Городокский, Витебский, Лиозненский, частично Дубровинский). Данные районы характеризуются следующими значениями показателей: МЭД (до 8 мкР/час), содержание урана в почвах ($1,5-2 \times 10^{-3} \%$ и более), глубина залегания первого водоносного горизонта (2,5–7,5 м), коэффициент фильтрации радона в почве (0,004–0,04 отн. ед.). Остальные 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, Оршанского, частично Дубровинский) имеет большие значения КРП ($70-200 \times 10^4$ отн. ед. и более) и высокий уровень радоноопасности. Это обусловлено высокими значениями МЭД (до 12 мкР/час), значительным содержанием урана в почвах ($1,5-2 \times 10^{-3} \%$ 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 Могилевской области – в Круглянском, Шкловском, Горецком, Бельничском, Могилевском, Дрибинском районах; для Витебской области – в Россонском, Верхнедвинском, Миорском, Шарковщинском, Глубокском, Докшицком, Шумилинском, Толочинском (частично в других районах), где были зарегистрированы критические зоны радоноопасности со значениями КРП от $100 \cdot 10^{-4}$ отн. ед., а местами $200\text{--}300 \cdot 10^{-4}$ отн. ед.

Определение радоноопасности по картированию радонового риска. На основе данных по измерению ОА радона в помещениях зданий была разработана карта радонового риска Гомельской, Могилевской и Витебской областей, которая приведена на рисунке 2.

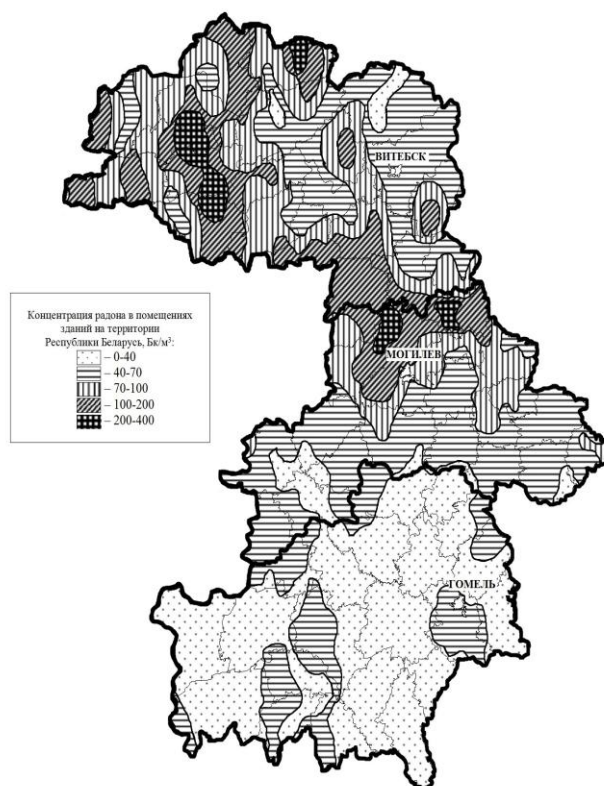


Рисунок 2 – Карта радонового риска Гомельской, Могилевской и Витебской областей

По карте была проведена оценка радоновой опасности районов Гомельской, Могилевской и Витебской областей. Все районы Гомельской области имеют низкие значения ОА радона: $0\text{--}70$ 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 Могилевской области имеют низкий уровень радоновой опасности: ОА радона находится в пределах $0\text{--}70$ Бк/м³ с единичными измерениями вплоть до 100 Бк/м³ (Кличевский, Осиповичский, Кировский, Бобруйский, Глуский). Районы центральной и восточной части Могилевской области имеют промежуточные значения, с повышением уровня ОА радона до $40\text{--}70$ 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 $70\text{--}200$ Бк/м³ с ограниченными областями вплоть до 400 Бк/м³ (Круглянский, Шкловский, Горецкий, Бельничский, Могилевский и Дрибинский).

Районы, расположенные преимущественно в центральной и восточной части Витебской области, имеют значения ОА радона в пределах $40\text{--}70$ Бк/м³ с возможными единичными измерениями как в меньшую сторону – $0\text{--}40$ Бк/м³, так и в большую сторону – до 150 Бк/м³ (Полоцкий, Бешенковичский, Городокский, Витебский, частично Лиозненский и Дубровен-

ский). 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, Шумилинского, Оршанского, частично Лиозненского и Дубровенского).

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

Заключение. Методика по определению радоноопасности территории по комплексному радоновому показателю (КРП) учитывает целый ряд факторов [15]. 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 противорадиационных контрмер необходимо в критических зонах радоноопасности провести детальные исследования среднегодовых значений ОА радона в помещениях зданий [3]. Согласно методике определения радоноопасности по картированию радонового риска специалистами ОИЭиЯИ проведен широкомасштабный мониторинг радона в воздухе зданий Гомельской, Могилевской и Витебской областей, на основе которого составлена карта радонового риска. Необходимо отметить, что результаты, полученные по обеим методикам, являются схожими, и каждая из них может быть использована для анализа радоновой обстановки. По обеим методикам показано, что наиболее неблагоприятные условия по радону наблюдается для Могилевской области в Круглянском, Шкловском, Горецком, Бельничском, Могилевском, 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 с картированием радонового риска. Также, методика комплексного радонового показателя будет способствовать большей информативности процесса исследования радоновой обстановки учитывая ряд радиологических и геологических особенностей местности.

Литература

1. Радиация. Дозы, эффекты, риск ; пер с англ. Ю.А. Банникова. – М. : Мир, 1990. – 79 с.
2. Радон и рак: информационный бюллетень / № 291. – Всемирная организация здравоохранения – М., 2005. – 4 с.
3. Риск возникновения рака легкого 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. Бунаряна ФМБА России, 2013. – 92 с.
4. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах / Публикация № 65 МКРЗ. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
5. Бекман, И.Н. Радон: враг, врач и помощник / И.Н. Бекман. – М. : МГУ, 2000. – 205 с.
6. Матвеев, А.В. Концентрации радона в почвенном воздухе на смежных площадях Белорусской антеклизы и Припятского прогиба (Беларусь) / А.В. Матвеев, Л.А. Нечипоренко, В.В. Лосич, А.П. Иваненко // Природопользование. – 2012. – Вып. 21. – С. 68–74.
7. Akerblom, G. The Radon Book / G. Akerblom, R. Clavensjo. – Stockholm : SSM, 1994. – 256 p.
8. Шагалова, Э.Д. Содержание урана-238 в почвах Беларуси / Э.Д. Шагалова // Почвоведение. – 1986. – № 2. – С. 140–145.

9. Лукашев, К.И. Геохимические провинции покровных отложений БССР / К.И. Лукашев // Академия наук Белорусской ССР. – Минск : Наука и Техника, 1969. – С. 462–470.
10. Булыгин, Б.П. Инструкция по гамма-каротажу при массовых поисках урана: утв. Мин. Геологии СССР 01.09.1981 г. / Б.П. Булыгин [и др.]. – СПб : Министерство Геологии СССР, 1982. – 101 с.
11. Адушкин, В.В. Поля почвенного радона в восточной части Балтийского щита / В.В. Адушкин, И.И. Дивков, С.А. Кожухов // Динамические процессы в системе внутренних и внешних взаимодействующих геосфер. – М. : Геос, 2005. – С. 173–178.
12. Беляшов, А.В. Оценка гидрогеологических параметров по данным геофизических исследований в скважинах: Методическое руководство / А.В. Беляшов [и др.]. – Минск : Фонды геофизической экспедиции, 2008. – 43 с.
13. Выполнение комплексной геофизической съемки на площадке возможного размещения АЭС и прогноз миграции радионуклидов с подземными водами (Шкловско-Горецкий пункт, Кукшиновская площадка) : Отчет о НИР (закл.) / Бел. геофиз. экспед ; рук. темы А.В. Гаврилов. – Минск, 2008. – 257 с.
14. Богомоллов, Г.В. Гидрогеологическая карта четвертичных отложений Белорусской ССР / Г.В. Богомоллов [и др.]. – Минск, 1963.
15. Чеховский, А.Л. Обоснование применения компонентов радонового показателя для картирования радонового потенциала / А.Л. Чеховский // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2014. – № 6 (87). – С. 100–106.
16. Отчет о НИР (закл.) / Объединенный Институт энергетических и ядерных исследований ; рук. О.И. Ярошевич. – Минск ; Гомельский областной Центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья ; рук. В.Н. Бортновский. – Гомель, 2008. – 170 с.
17. Карабанов, А.К. Радон и дочерние продукты его распада в воздухе зданий на территории Беларуси / А.К. Карабанов, Л.А. Чунихин, А.Л. Чеховский, Д.Н. Дроздов, О.Я. Ярошевич, И.В. Жук, М.В. Конопелько, А.В. Матвеев // Природопользование. – 2015. – Вып. 27. – С. 49–53.
18. Методика определения объемной 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.
19. Friedmann, H. Final results of the Austrian radon project / H. Friedmann // Health Physics. – 2005. – Vol. 89, № 4. – P. 339–348.