

УДК 550.835:546.296:528.946

Обоснование применения компонентов радонового показателя для картирования радонового потенциала

А.Л. ЧЕХОВСКИЙ

Исследуется проблема естественного радиоактивного газа – радона. Приведены данные о сильной достоверной связи предложенного радонового показателя с объемной активностью радона в помещениях зданий сельских населенных пунктов Гомельской, Могилевской и Витебской областей. Полученный радоновый показатель может использоваться для картирования территории по радоновому риску в крупномасштабном варианте.

Ключевые слова: радон, радоновый показатель, картирование территории, критические зоны радоноопасности.

The problem of natural radioactive gas – radon is investigated. The data on the strong significant correlation with the index of the proposed radon volume activity of radon in the buildings of rural settlements of Gomel, Mogilev and Vitebsk regions are presented. The resulting radon indicator can be used to map the territory for radon risk in a large-scale version.

Keywords: radon, radon index, mapping the territory, radon critical areas.

Введение. Проблема радиоактивного газа – природного радона является важной проблемой 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 определяют примерно 3/4 годовой индивидуальной эффективной дозы облучения, получаемой населением от земных источников радиации [1]. Наиболее значимым и распространенным дозовым фактором является воздействие радона, содержащегося в воздухе помещений. Радон, являясь компонентом воздуха, попадает в легкие человека при дыхании. Воздействие α -излучения на высокочувствительные клетки дыхательной системы – одна из причин возникновения рака. По оценкам экспертов Международной комиссии по радиационной защите (МКРЗ) облучение населения за счет радона обуславливает до 20 % общего количества заболеваний раком легких [2].

Существует три естественных радиоактивных изотопа радона: ^{222}Rn , или просто радон, образующийся в радиоактивном семействе урана-238, ^{220}Rn или торон, образующийся в семействе тория-232, и ^{219}Rn , или актион, образующийся в семействе урана-235. Эти изотопы имеют следующие периоды полураспада: 3,82 дня, 55 сек. и 4 сек. соответственно. В связи с этим ^{222}Rn , являясь наиболее долгоживущим изотопом радона, вместе с его ДПР вносят наиболее существенный вклад в облучение человека.

Проблемы облучения радоном с его дочерними продуктами распада (ДПР) и радиационной защиты на рабочих местах и в жилищах были рассмотрены в Публикации № 50 МКРЗ, 1987 г. и Публикации № 60 МКРЗ, 1990 г. [3], [4]. Принципиально новые подходы к оценке радоновой опасности и радиационной защите от радона и его ДПР были показаны в Публикации № 65 МКРЗ, 1993 г. [5]. 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 [6]. Учитывая это, можно провести картирование территории по радоновой опасности с использованием геологических показателей, определяющих концентрации радона, выделить наиболее радоноопасные зоны и предложить необходимые противорадоновые мероприятия.

Целью работы являлось обоснование применения сочетания некоторых показателей, определяющих наличие радона, выступающих в качестве радонового показателя, являющегося основой для картирования территории по радоновому риску в крупномасштабном варианте.

Материалы и методика исследований. Материалами для данной работы являлись результаты измерения объемной активности (ОА) радона в типичных помещениях сельских населенных пунктов 21 района Гомельской, 20 районов Могилевской и 15 районов Витебской области. Эти данные были получены при широкомасштабных обследованиях, выполненных специалистами НИИ морской и промышленной медицины (г. Санкт-Петербург) [7], специалистами ГУ «ГОЦГЭиОЗ» и ГНУ «ОИЭЯИ – Сосны» НАН Беларуси [8] 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) [9]. Измерения проводились в помещениях сельских одноэтажных зданий, в которых можно ожидать максимальные уровни ОА радона, поступающего в основном из почвы.

В исследованиях использовался целый ряд карт: дочернобыльские карты мощности экспозиционной дозы (МЭД) на территории Беларуси, составленные по результатам измерений специалистами «Белгеологии» в период 1969–1985 [10]; геологические карты Беларуси, на которых показано расположение пород и почв с различным содержанием урана [10]; данные по проницаемости различных пород для радона [11]; гидрогеологические карты территории Беларуси с глубинами залегания первого от поверхности водоносного горизонта [12].

Результаты исследований и их обсуждение. По материалам измерений ОА радона, проведенных в трех областях, были определены среднерайонные значения ОА радона по формуле:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}, \quad (1)$$

где C_i – измеренная i -я ОА в районе, Бк/м³;
 n – количество измерений ОА в районе.

Следует отметить, что ОА радона в помещениях жилых зданий является весьма вариативной величиной и во многом зависит от конструктивных особенностей и защитных свойств зданий. 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, можно предложить в качестве радонового показателя величину, равную произведению показателей, обуславливающих наличия радона в почвах и породах, в относительных единицах: мощность дозы дочернобыльского фона, запас урана в почвах, проницаемость почв и пород для радона, и глубину залегания первого водоносного горизонта. При добавлении каждого из перечисленных показателей к предыдущим ожидается увеличение коэффициента корреляции между радоновым показателем и ОА радона.

Так, одним из факторов, связанных с ОА радона, является МЭД. Учитывая, что гаммафон 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 определяются 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, значения которых были нормированы на максимальную величину – 12 мкР/час, принятую за 1. По картам МЭД были определены средневзвешенные значения относительного показателя МЭД для исследуемых районов Гомельской, Могилевской и Витебской областей, согласно выражению:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n M_i \cdot S_i}{S_{\text{района}}}, \quad (2)$$

где M – средневзвешенное значение относительной мощности экспозиционной дозы, отн. ед.;
 M_i – значение относительной мощности экспозиционной дозы на i -ой площади района, отн. ед.;
 S_i – площадь района со значением M_i , км²;
 n – количество территорий района с различными значениями M_i .

После определения значений относительного показателя МЭД был проведен корреляционный анализ данных для определения степени и характера связи получившихся значений МЭД и ОА радона в помещениях сельских зданий этих областей.

Коэффициент линейной корреляции, указывающий на связь средневзвешенных значений относительного показателя МЭД для исследуемых районов Гомельской, Могилевской, Витебской области и среднерайонных значений ОА радона, составил $r = 0,69$. Имеет место средняя по силе, прямая связь показателя МЭД и ОА радона для районов указанных областей. Эмпирическое значение t -критерия превышает статистическое значение, при уровне значимости $p < 0,05$ – корреляция является достоверной. График данной корреляционной связи представлен на рисунке 1.

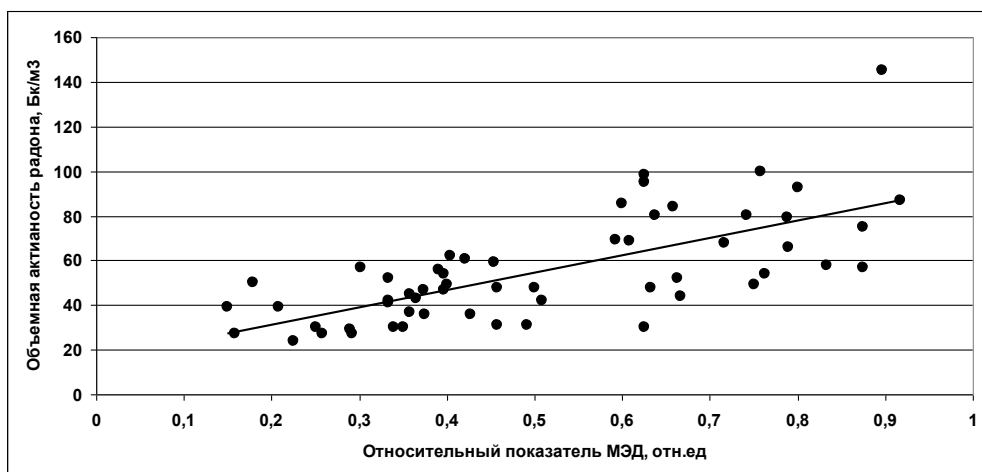


Рисунок 1 – Зависимость среднерайонных значений ОА радона в помещениях от средневзвешенных значений относительного показателя МЭД

Следующим показателем, определяющим 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.

Было выделено 9 геологических пород, существующих на территории Беларуси, различающихся по уровню содержания урана [13]. Эти данные были нормированы на значение максимального содержания урана в породе (глина), принятое за 1. Определены средневзвешенные значения относительного показателя запаса урана в почвах для каждого из районов по формуле:

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n U_i \cdot S_i}{S_{\text{района}}}, \quad (3)$$

где U – средневзвешенное значение относительного запаса урана для выбранного района, отн. ед.;

U_i – значение относительного запаса урана на i -ой площади района, отн. ед.;

S_i – площадь района со значением U_i , км²;

n – количество почв района с различными значениями U_i .

Полученный массив данных был добавлен в качестве множителя к значениям относительного показателя МЭД, и проведен корреляционный анализ данных для определения степени и характера связи получившихся значений радонового показателя (состоящего из средневзвешенных значений относительных показателей МЭД и запаса урана в почвах) и ОА радона в помещениях сельских зданий.

Коэффициент линейной корреляции полученного радонового показателя и среднерайонных значений ОА радона составил $r = 0,77$. Имеет место сильная прямая связь данного показателя и ОА радона для районов Гомельской, Могилевской и Витебской области. Эмпирическое значение t -критерия превышает статистическое значение, при уровне значимости $p < 0,05$ – корреляция является достоверной. График данной корреляционной связи представлен на рисунке 2.

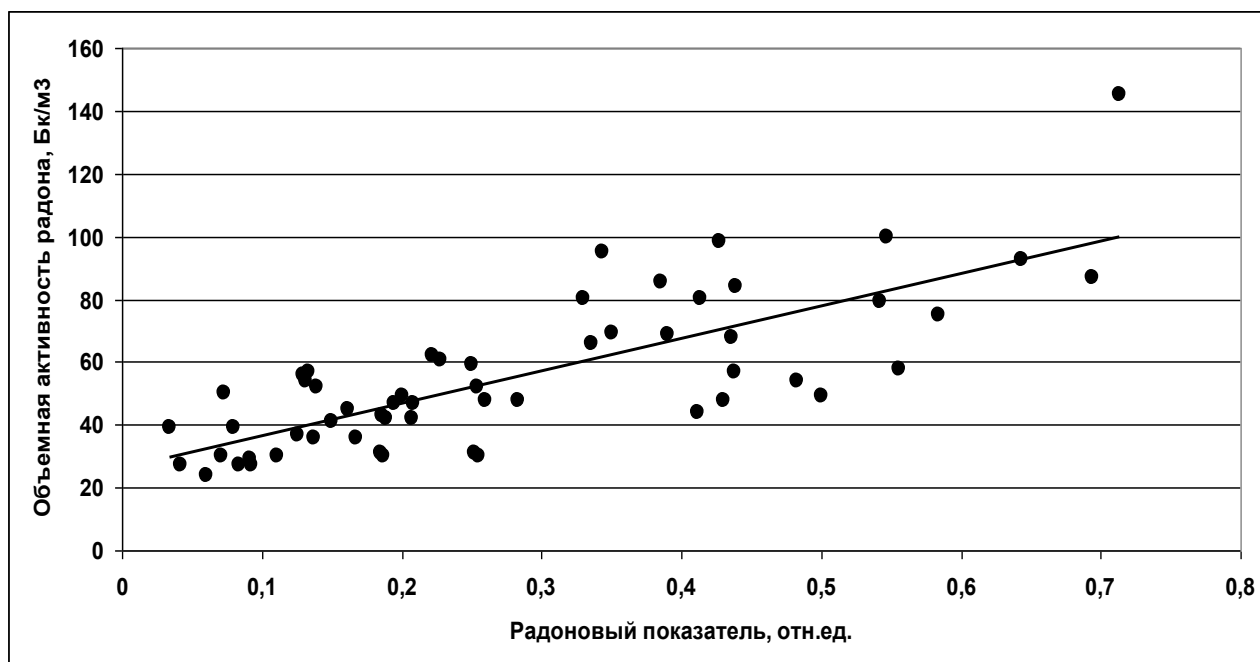


Рисунок 2 – Зависимость среднерайонных значений ОА радона в помещениях от радонового показателя ($M \cdot U$)

Необходимо также учитывать, что эксхалляция радона зависит от проницаемости почвы, которая в свою очередь в большей степени зависит от коэффициента фильтрации радона в грунтах [14]. Исходя из того факта, что период полураспада радона ^{222}Rn составляет около 3,8 суток, скорость его прохождения через слой почвы (которая определяется коэффициентом фильтрации) имеет важное значение и обуславливает конечную ОА радона в помещениях зданий.

Значения коэффициента фильтрации были нормированы на максимальную величину (песчано-гравийная смесь), принятую за 1. Определены средневзвешенные значения относительного показателя коэффициента фильтрации радона в почве для каждого из районов по формуле:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n F_i \cdot S_i}{S_{\text{района}}}, \quad (4)$$

где F – средневзвешенное значение относительного коэффициента фильтрации радона для выбранного района, отн. ед.;

F_i – значение относительного коэффициента фильтрации радона на i -ой площади района, отн. ед.;

S_i – площадь района со значением F_i , км²;

n – количество почв района с различными значениями F_i .

Значения показателя коэффициента фильтрации были добавлены в качестве множителя к полученному произведению средневзвешенных относительных показателей МЭД и запаса урана в почвах. После этого проведен корреляционный анализ для определения степени и характера связи получившихся значений радонового показателя (состоящего из средневзвешенных значений относительных показателей МЭД, запаса урана в почвах, коэффициента фильтрации) и ОА радона в помещениях сельских зданий. График данной корреляционной связи представлен на рисунке 3.

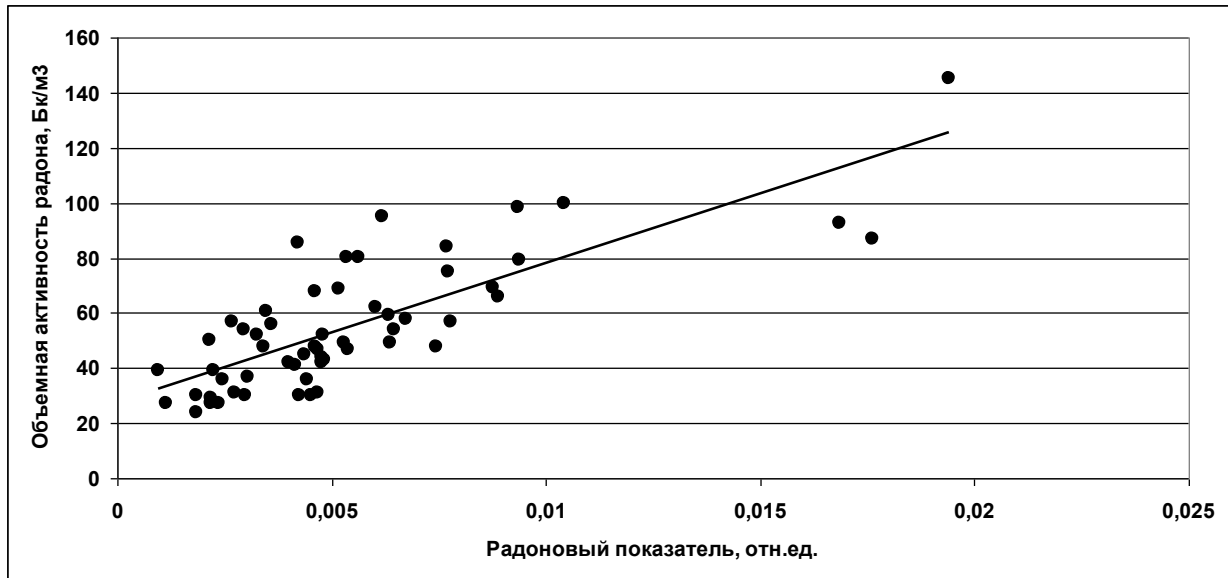


Рисунок 3 – Зависимость среднерайонных значений ОА радона в помещениях от радонового показателя ($M \cdot U \cdot F$)

Коэффициент линейной корреляции, указывающий на связь значений полученного радонового показателя для исследуемых районов Гомельской, Могилевской, Витебской области и среднерайонных значений ОА радона, составил $r = 0,79$. Имеет место сильная, прямая связь данного показателя и ОА радона для районов указанных областей. Эмпирическое значение t -критерия превышает статистическое значение при уровне значимости $p < 0,05$ – корреляция является достоверной.

Также, важным фактором, определяющим концентрацию 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 [15].

Значения глубины залегания первого водоносного горизонта были нормированы на максимальную величину (10 м), принятую за 1. После определены средневзвешенные значения относительного показателя уровня залегания первого водоносного горизонта для каждого из районов по формуле:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \cdot S_i}{S_{\text{района}}}, \quad (5)$$

где W – средневзвешенное значение относительного уровня залегания первого водоносного горизонта, отн. ед.;

W_i – значение относительного уровня залегания первого водоносного горизонта на i -ой площади района, отн. ед.;

S_i – площадь района со значением W_i , км²;

n – количество территорий района с различными значениями W_i .

Значения показателя уровня залегания первого водоносного горизонта были добавлены в качестве множителя к полученному произведению средневзвешенных относительных показателей МЭД, запаса урана в почвах, коэффициента фильтрации. После этого проведен корреляционный анализ для определения степени и характера связи получившихся значений радонового показателя (состоящего из средневзвешенных значений относительных показателей МЭД, запаса урана в почвах, коэффициента фильтрации, уровня залегания первого водоносного горизонта) и ОА радона в помещениях сельских зданий. График данной корреляционной связи представлен на рисунке 4.

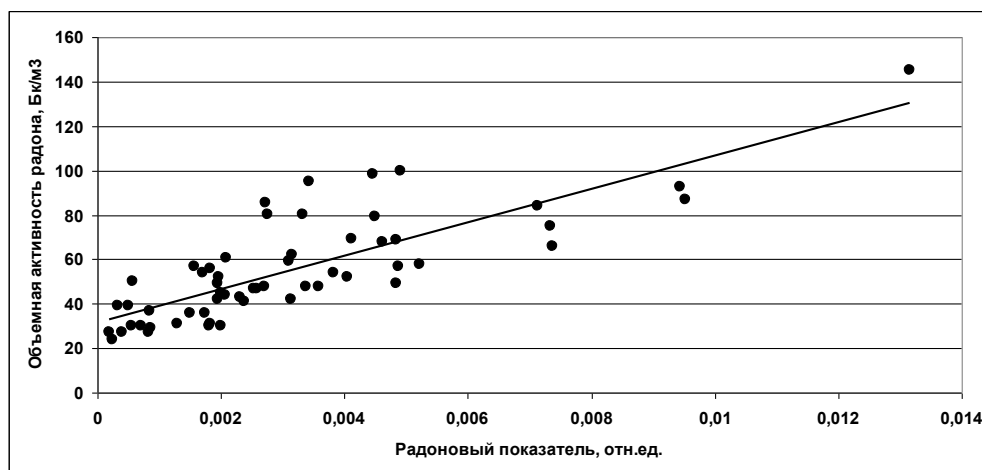


Рисунок 4 – Зависимость среднерайонных значений ОА радона в помещениях от радонового показателя ($M \cdot U \cdot F \cdot W$)

Коэффициент линейной корреляции, указывающий на связь значений полученного радонового показателя для исследуемых районов Гомельской, Могилевской, Витебской области и среднерайонных значений ОА радона, составил $r = 0,81$. Имеет место сильная, прямая связь данного показателя и ОА радона для районов указанных областей. Эмпирическое значение t -критерия превышает статистическое значение при уровне значимости $p < 0,05$ – корреляция является достоверной.

Заключение. Предложенный радоновый показатель имеет достаточно сильную и достоверную связь со значениями ОА радона в помещениях зданий. Данный показатель учитывает целый ряд факторов и приведенные корреляционные зависимости показывают, что увеличение числа показателей, определяющих наличие радона в почвах и породах, значительно повышает коэффициент корреляции радонового показателя и способствует более точной оценке ОА радона. Такой показатель служит основой для определения радоноопасности территории. С его помощью можно определить географическое положение критических зон радоноопасности и составить тематические карты этих территорий по радоновому риску. Однако для принятия конкретных решений по дальнейшему проведению противорадиационных мероприятий необходимо в критических зонах радоноопасности провести дополнительные исследования по определению среднегодовых значений ОА радона в помещениях зданий [2].

Литература

1. Радиация. Дозы эффекты риск : пер. с англ. Ю.А. Банникова. – М. : Мир, 1990. – 80 с.
2. Риск возникновения рака легкого при облучении радоном и продуктами его распада. Заявления 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.
3. ICRP Publication № 50. – Oxford : Pergamon Press, 1987. – 79 p.
4. ICRP Publication № 60. – Oxford : Pergamon Press, 1990. – 94 p.
5. Защита от радона-222 в жилых зданиях и на рабочих местах / Публикация № 65 МКРЗ. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 78 с.
6. Бекман, И.Н. Радон : враг, врач и помощник / И.Н. Бекман. – М. : МГУ, 2000. – 205 с.
7. Радоновый мониторинг Могилевской и Гомельской области Республики Беларусь : отчет о НИР (закл.) / Научно-исследовательский институт промышленной и морской медицины; рук. Э.М. Крисюк. – СПб., 1992. – 205 с.
8. Отчет о НИР (закл.) / Объединенный Институт энергетических и ядерных исследований; рук. О.И. Ярошевич. – Минск ; Областной Центр гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья ; рук. В.Н. Бортновский. – Гомель, 2005. – 170 с.
9. 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.

10. Karabanov, A.K. Impact of geological structures of Belarus on Radon Concentration in Air Workshop on Natural Radiation and Radon : Seminar on Radon, Stockholm, SSM, 25–27 January, 2009.
11. 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.
12. Богомолов, Г.В. Гидрогеологическая карта четвертичных отложений Белорусской ССР / Г.В. Богомолов [и др.]. – Минск, 1963. – 287 с.
13. McDonough, W.F. The Composition of the Earth / W.F. McDonough, S.S. Sun // Chem. Geol. – 1995. – № 1. – P. 223–253.
14. 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 / В.В. Адушкин, И.И. Дивков, С.А. Кожухов. – М. : Геос, 2005. – С. 173–178.
15. 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.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступила в редакцию 12.04.2014