

ISSN 1561-8323 (print)
УДК 550.42+551.1 (476)

Поступило в редакцию 20.02.2017
Received 20.02.2017

Академик Р. Г. Гарецкий, академик А. В. Матвеев, Г. И. Каратаев

Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

ТЕКТОНО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ РАДОНОАКТИВНОСТИ ПОРОД КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ФУНДАМЕНТА БЕЛАРУСИ

Установлена высокая степень корреляционно-генетической связи между объемной активностью радона (ОАР) основных типов пород кристаллического фундамента, геофизическими полями и основными тектоническими элементами. На основании этой связи построена карта радоноактивности фундамента с выделением трех типов территорий: с ОАР более 78200 Бк/м³, 50000–72900 Бк/м³ и 25700–44000 Бк/м³. В распределении ОАР проявляются как особенности состава пород, так и элементы структурного районирования фундамента.

Ключевые слова: радон, радоновая опасность, объемная активность радона, породы фундамента, геофизические поля

Academician Radim G. Garetsky, Academician Aleksey V. Matveyev, German I. Karatayev

Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

TECTONO-GEOPHYSICAL ZONING OF THE RADON ACTIVITY OF ROCKS OF THE CRYSTALLINE BASEMENT OF BELARUS

The high degree of correlation and genetic communications between radon volume activities (RVO), main types of crystalline basement rocks, geophysical fields, and main tectonic elements has been detected. Taking into account this correlation, a map of the radon activity of the basement was designed with three types of territory marking: with RVO more than 78200 Bq/m³, 50000–72900 Bq/m³ and 25700–44000 Bq/m³. The particular composition of rocks, as well as structural elements of zoning of the basement appeared in the RVO distribution.

Keywords: radon, radon contamination hazard, crystalline basement rocks, geophysical fields

Введение. Радонометрические исследования широко используются в мировой геологической практике. В результате этих работ установлено, что повышенные концентрации радона связаны с определенными интрузивными телами, залежами радиоактивных пород, разломами, с нефтяными месторождениями и т. д. **Общепризнано, что облучение от радона и многочисленных дочерних продуктов (ДПР) его радиоактивного распада (²¹⁴Pb, ²¹⁴Bi, ²¹⁰Bi, ²¹⁸Po, ²¹⁰Po и др.) составляет не менее половины дозы, получаемой среднестатистическим жителем Земли от всех источников ионизирующего излучения.** Все это свидетельствует о чрезвычайной важности и актуальности для любого региона выявления радоновых аномалий и оценки их влияния на экологическую обстановку и различные сферы хозяйственной деятельности. Наиболее серьезные работы по радоновой тематике выполнены в Бельгии, Великобритании, Германии, Италии, России, США, Украине, Чехии, Швеции, Норвегии и др. В этих странах построены разномасштабные карты радоновой опасности.

Радон и его ДПР достаточно широко изучаются и в Беларуси, в организациях Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды, Национальной академии наук Беларуси, Министерства по чрезвычайным ситуациям, в некоторых вузах страны. Выполненными работами показаны возможности использования радонометрических измерений при прогнозировании нефтяных залежей, выявлении трубок взрыва, определены параметры объемной активности радона (ОАР) для основных пород чехла и фундамента. Доказано, что наибольшие концентрации радона приурочены к породам кристаллического фундамента. Именно эти породы играют основную роль в формировании радоновых аномалий в подземных водах, а при относительно неглубоком залегании – и в приповерхностных грунтах [1; 2]. Радоновые аномалии также приурочены к зонам разломов.

К настоящему времени в полевых и лабораторных условиях определить значения концентраций радона удалось лишь для небольшого объема образцов различных типов пород фундамента в южной части Беларуси. Однако общеизвестно, что вещественные неоднородности фундамента

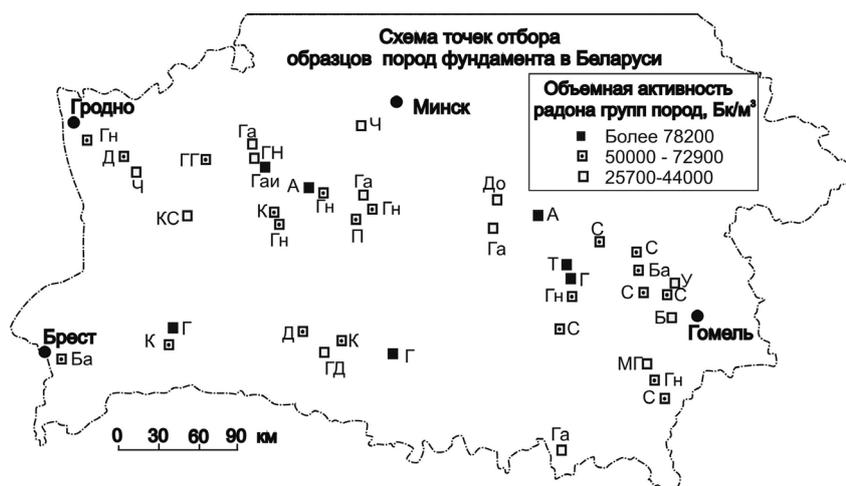
четко отражаются в гравитационном и магнитном аномальных полях, распределение которых в различных масштабах представлено для всей территории Беларуси. Геофизические поля также отражают разломную тектонику – установлена корреляция магнитных аномалий с радоноактивностью [3].

Поэтому для оценки радонопродуцирующего потенциала основных типов пород фундамента на всей территории Беларуси мы прибегли к методике выявления коррелятивно-генетических связей значений радоноактивности пород фундамента с геофизическими полями и рельефом поверхности фундамента и распространения затем найденной закономерности на всю территорию Беларуси.

Объемная активность радона в основных типах пород фундамента. Всего в лабораторных условиях было исследовано 48 образцов; схема отбора проб показана на рис. 1 [2]. Определенная по методике [4] удельная активность радона была пересчитана с использованием данных по плотности пород в средние величины объемной активности радона. Полученные результаты свидетельствуют, что наибольшие концентрации радона приурочены к гранитам (до 90700 Бк/м³), эффузивным аналогам кислых изверженных пород (трахириодациты) – до 135100 Бк/м³ и к сильно измененным габброидам – до 128400 Бк/м³. Минимальные значения ОАР (менее 20000 Бк/м³) установлены в некоторых слабоизмененных разновидностях габбро, базальтов и ультраосновных пород. С учетом полученных результатов большинство гранитоидов, трахириодацитов, диориты, измененные разновидности габбро, некоторые типы амфиболитов, сиенитов являются условно радоноопасными, так как ОАР в них превышает 50000 Бк/м³ [5]. Условно радоноопасными перечисленные породы считаются в связи с тем, что при значительных глубинах их залегания влияние этих пород на ОАР в почвенном воздухе является весьма проблематичным, по крайней мере вне зон разрывных нарушений.

Наиболее однородные разности кварцитов, базальтов, габбро, ультраосновных пород, ОАР в которых не превышает 20000 Бк/м³, с учетом условий залегания являются радонобезопасными, а остальные породы, слагающие фундамент, относятся к категории относительно радоноопасных.

В геологических контурах в соответствии с легендой к карте кристаллического фундамента [6] среди стратифицированной протерозойской толщи преобладают кварцитовидные песчаники; кварцевые риолиты, трахиандезиты, песчаники; риолиты, риодациты; порфириоды, кристаллические сланцы; плагиогнейсы, трахиандезиты, амфиболиты, кварциты; амфиболиты и кварциты. Архейские стратифицированные комплексы представлены амфиболитами, гнейсами; кристаллическими сланцами, гнейсами, кальцифирами; гнейсами; кристаллическими сланцами



Породы фундамента и объемная активность радона, в Бк/м³
 Г - Гранит, 73800-90700, 4; Д - Диорит, 65200-68200, 2; ГД - Гранодиорит, 48700, 1; С - Сиенит, 24000-70500, 6; Т - Трахириодацит, 83000-135100, 3; Га - Габбро, ГН-Габбро-Норит, 6000-41400, 8; Гаи - Габбро измененный, 83400-128400, 2; Б - Биотит-полевошпатовая порода, 18000, 1; МГ - Мигматит-гранит, 25800, 1; Гн - Гнейс, 27000-57500, 6; П - Пироксенит, 7200-53100, 3; Ба - Базальт, 5700-66900, 3; У - Ультраосновная порода, 25700, 1; А - Амфиболит, 24900-81800, 3; Ч - Чарнокит, 22400-34300, 3; К - Кварцит, 8600-66400, 2; До - Долерит, 8400, 1; КС - Кристаллический сланец, 38000, 1; ГГ - Гранито-гнейс, 72300, 1. Курсив - количество образцов

Рис. 1. Схема точек отбора пород фундамента в Беларуси

Fig. 1. Scheme of the selection points of basement rocks in Belarus

и гнейсами; гранулитами, гнейсами, кристаллическими сланцами. Из ультраметаморфических и интрузивных комплексов наибольшее распространение имеют сиениты и габбро; граниты и сиениты, монцодиориты; граниты, гранодиориты, диориты; граниты, гнейсограниты; граниты, гранитогнейсы; основные породы; гранитоиды; метагаббро, амфиболиты, метадиабазы; граниты, эндербиты, чарнокиты; бластомигониты.

Результаты расчетов ОАР для комплексов перечисленных пород приведены в таблице и на рис. 1.

Средняя объемная активность радона (Бк/м³) основных комплексов пород, которые выделены на карте кристаллического фундамента [6]

Mean volume activity of radon (Bq/m³) of the main complexes of rocks highlighted on the crystalline basement map [6]

Комплекс пород Rock complex	Объемная активность радона Radon volume activity
Кварцитоподобные песчаники	37500
Кварцевые риолиты, трахиандезиты, песчаники	67400
Риолиты, риодациты, порфиroidы, кристаллические сланцы	72900
Гнейсы, амфиболиты, кварциты	42000
Амфиболиты, гнейсы	36500
Кристаллические сланцы, гнейсы, кальцифиры	38400
Гнейсы	40200
Кристаллические сланцы, гнейсы	41500
Гранулиты, гнейсы, кристаллические сланцы	44000
Сиениты, габбро	42600
Граниты, сиениты, диориты	72900
Граниты, гранодиориты, диориты	78200
Граниты, гнейсограниты	72300
Граниты, гранитогнейсы	65300
Основные породы	25700
Гранитоиды	82600
Габбро, амфиболиты, диабазы	31700
Граниты	82600
Эндербиты	34300
Миллониты	50000

Анализ полученных данных показал, что наибольшие величины концентраций радона соответствуют площадям распространения гранитов, гранодиоритов и диоритов раннепротерозойского возраста (78200 Бк/м³), а также архей-нижнепротерозойских гранитоидов (82600 Бк/м³) и архейских пород кислого состава (82600 Бк/м³).

Наименьшие значения ОАР выявлены в верхнепротерозойских песчаниках (37500 Бк/м³), нижнеархейских амфиболитах, кристаллических сланцах и гнейсах (36500–38400 Бк/м³), а также в нижнеархейских габбро, амфиболитах, диабазах кореличского и анисимовского комплексов (31700 Бк/м³) и нижнепротерозойских основных породах (25700 Бк/м³).

При нанесении на геологическую карту фундамента образцов горных пород с рассчитанными значениями ОАР, учитывая довольно сложное чередование пород разного возраста и состава, было принято решение объединить близкие по характеристикам контуры в следующие группы: I – более 78200 Бк/м³, II – 50000–72900 Бк/м³ и III – 25700–44000 Бк/м³ (рис. 2).

Методы исследований. Для детализации данных по радонопродуцируемому потенциалу основных типов пород фундамента на всей территории Беларуси мы прибегли, как отмечено ранее, к широко используемой в геологии методике дискриминантного выявления коррелятивно-генетических связей между данными о радоноактивности пород фундамента (рис. 1), полученными по лабораторным определениям на небольшой площади, с геофизическими полями, рельефом поверхности фундамента, и распространению затем найденной закономерности на всю территорию Беларуси. Форма, интенсивность гравитационных и магнитных аномалий, в особенности в их сочетании, очень хорошо отражают внутреннюю структуру вещественных неоднородно-

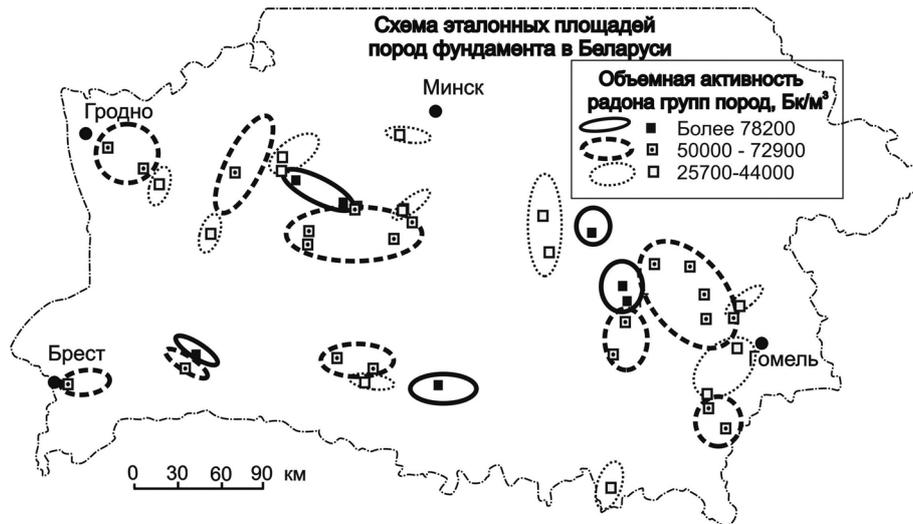


Рис. 2. Схема эталонных площадей пород фундамента в Беларуси

Fig. 2. Scheme of the reference areas of the basement rocks in Belarus

стей кристаллического фундамента. Поэтому мы предполагаем хорошую корреляцию этих геофизических полей с данными о радоноактивности пород фундамента, полученными А. В. Матвеевым [2] и М. И. Автушко [4]. Суть дискриминантного анализа в следующем.

Пусть заданы ряд групп элементов, относимых к разным классам, – в нашей задаче рассматриваются три класса радоноактивных групп (рис. 1, 2). При этом каждый элемент охарактеризован системой признаков. И пусть задан такого же рода упорядоченными признаками некий элемент, для которого необходимо узнать: к какому классу его можно отнести из априори заданной классификации. Такую задачу называют задачей дискриминантного анализа. Пусть для каждого класса изучаемой классификации заданы статистические выборки – эталонные данные. По этим выборкам (при определенных статистических условиях) для каждого класса строится собственная линейная функция, называемая дискриминантной. Для прогнозируемого элемента по его упорядоченной системе признаков по каждой из этих (будем говорить – эталонных дискриминантных функций) вычисляется совокупность линейных прогнозных дискриминантных функций и находится вероятность, соответствующая наибольшей дискриминантной функции, к классу которой и относится прогнозируемый элемент. Иначе говоря, множество линейных дискриминантных функций для заданной эталонной группы классов служат индикаторами классификации.

С геометрической точки зрения дискриминантные функции определяют гиперповерхности в n -мерном пространстве. Процедура построения линейной дискриминантной функции по эталонным выборкам для каждого класса строится так. Для каждого класса составляется матрица исходных данных (число признаков–количество элементов). По ним для каждого класса строится ковариационная матрица, а затем – объединенная дисперсионная матрица. По последней вычисляются обратные элементы, по которым, в свою очередь, вычисляются коэффициенты линейных дискриминантных функций для каждого класса. Кроме того, вычисляется статистика Махаланобиса для проверки гипотезы о том, что средние значения признаков одинаковы во всех группах для данной совокупности признаков [7].

Практическая компьютерная реализация процесса дискриминантного анализа выполнена С. В. Голобоковым в системе комплексной геологической интерпретации геофизических полей GEIA [8]. Для ее применения необходимо создать банк геолого-геофизических полей, используемых для изучения исследуемой классификации, матрицу исходных эталонных точек: координаты точек с известными значениями классов. Последовательность операций – подпрограмма DIANA – в программе GEIA такова: имя банка, моделирование и прогноз, классификация геологических объектов по полям, файл координат эталонов, перечень полей, оценка информативности и выбор признаков, построение решающего правила (дискриминантных функций), результаты анализа, прогноз.

Согласно выше указанному в качестве базы исходных полей нами взяты гравитационное и магнитное аномальные поля и рельеф поверхности фундамента. В каждой точке исследуемой площади в пределах некоторой априори заданной окрестности эти поля преобразуются в систему числовых статистических признаков: значение поля в узле (Z), региональное поле (R), локальное поле (L), дисперсия поля (D), энергетическая мощность поля (E), минимальный период локального поля (P), радиус автокорреляции (A), степень полосчатости поля (S), степень периодичности поля (T).

Эталонные выборки по введенным А. В. Матвеевым трем классам (группам) ОАР (рис. 2) составили: 1 класс – 75 точек, 2 класс – 85 точек, 3 класс – 58 точек. Введя в ЭВМ для всей территории Беларуси карты гравитационных и магнитных аномалий и рельефа фундамента и файл с координатами эталонных точек и значениями классов (no_123.txt), по программе DIANA получены следующие данные: закономерная связь ОАР с геофизическими полями оценена – для 1 класса – 89,3 %, для 2 класса – 81,2 %, для 3 класса – 81,0 %. В среднем – 83,8 %.

Отмечено, что основную роль в закономерности играет гравитационное поле (семь признаков из девяти) и его корреляция с рельефом фундамента. Магнитное поле отражает закономерность главным образом пятью признаками, характеризующими морфологию поля. Рельеф поверхности фундамента ярко проявляет себя лишь корреляцией с гравитационным полем и значением его локальной составляющей.

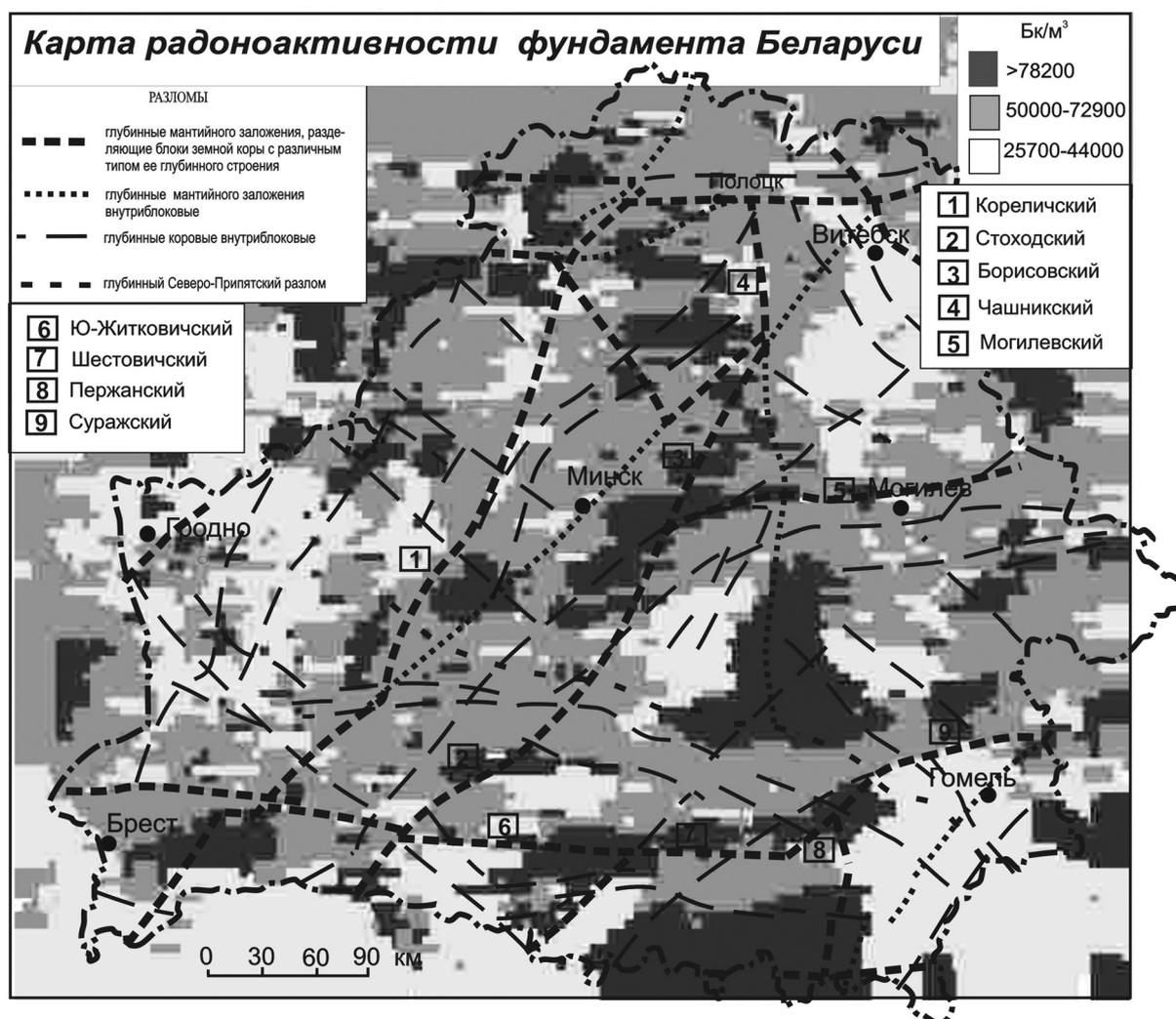


Рис.3. Карта радоноактивности фундамента Беларуси
Fig. 3. Map of the radon activity of the basement rocks in Belarus

Принимая полученные результаты взаимосвязи эталонных значений пород фундамента по ОАР с геофизическим полями в качестве коррелятивно-генетической закономерности с уровнем вероятности не ниже 0,75, построена карта радоноактивности фундамента в целом на всю территорию Беларуси (рис. 3).

Особенности распределения рассматриваемого показателя территории Беларуси тесно увязываются со структурным районированием и разломами фундамента.

Прежде всего отметим ярко бросающуюся картину разделения территории Беларуси по характеру ОАР на три меридионально вытянутые области: западную, центральную и восточную относительно глубинных разломов мантийного заложения соответственно Кореличского и Стоходского–Борисовского–Чашникского. При этом система разломов Стоходского–Борисовского–Чашникского является еще и границей, разделяющей две полосы линейно вытянутых локализованных систем: на западе – это участки с наиболее высокими значениями ОАР (более 78200 Бк/м³), а на востоке – с самыми низкими значениями ОАР (25700–44000 Бк/м³).

В западной области распространены все три типа ОАР в качестве в основном локализованных участков. Западная область почти целиком отвечает Белорусско-Прибалтийскому гранулитовому поясу, причем здесь преобладают средние значения ОАР (50000–72900 Бк/м³) с относительно небольшими участками наиболее высоких (>78200 Бк/м³) и совсем мелкими низких значений (25700–44000 Бк/м³).

В центральной области, соответствующей Центральнорусской шовной зоне с общим фоном средних значений ОАР (50000–72900 Бк/м³), четко фиксируется в восточной ее части полоса с высокими значениями ОАР.

В восточной области наблюдается мозаичное распределение ОАР. При этом в северной ее части, соответствующей позднепротерозойскому осадочно-вулканогенному слою и Оршанской впадине [9], распространены низкие значения ОАР (25700–44000 Бк/м³); в центре, между Могилевским и Южно-Житковичским–Пержанским–Суражским глубинными разломами выделяется крупная область, в центре которой распространены породы с наиболее высоким ОАР, на фоне пород с самыми низкими значениями ОАР. Южнее Гомеля распространены породы фундамента, обладающие низкими значениями ОАР. Они соответствуют в основном Брагинскому гранулитовому массиву. Участки и полосы с самыми большими значениями ОАР (более 78200 Бк/м³) часто распространены в зонах влияния глубинных разломов мантийного заложения.

Сопоставляя Карту радоноактивности фундамента Беларуси с Геологической картой фундамента Беларуси под редакцией Н. В. Аксаментовой [6], находим, что подавляющее большинство площадей, оцениваемых с весьма высокой радоноактивностью (свыше 78200 Бк/м³) приурочены к ультраметаморфическим и интрузивным комплексам разнообразных видов гранитоидов (гранитов, гнейсогранитов, гранодиоритов и пр.) в основном раннего протерозоя (PR₁).

Отметим также, что Крупный прямоугольный участок, контактирующий с Коростенским гранитоидным плутоном (площадь Ельск–Калинковичи), характеризуется наибольшими значениями ОАР (выше 78200 Бк/м³).

С учетом оценок радоноопасности грунтов, а также имея ввиду глубины залегания пород фундамента, можно предположить, что площади распространения пород с ОАР более 50000 Бк/м³ могут рассматриваться в качестве радоноопасных только в зонах активных на современном этапе разломов, а на остальной территории – при мощности перекрывающих пород чехла не более 30–50 м. Следует также подчеркнуть, что в целом фундамент Беларуси пока еще изучен явно недостаточно, поэтому необходимы более детальные исследования для усовершенствования схемы распределения ОАР кристаллических пород архейско-протерозойского возраста.

Список использованных источников

1. Матвеев, А. В. Радонопродуцирующий потенциал пород кристаллического фундамента территории Беларуси / А. В. Матвеев, М. И. Автушко // Природопользование: сб. науч. трудов. – Минск: Институт природопользования Беларуси, 2016. – Вып. 29. – С. 14–20.
2. Матвеев, А. В. Районирование территории Беларуси по степени радоновой опасности грунтов / А. В. Матвеев // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2016. – Т. 60, № 5. – С. 108–112.

3. Гарецкий, Р. Г. Отражение радоновых аномалий в магнитном поле и тектонических элементах Беларуси / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев, А. В. Матвеев // Геофиз. журн. – 2016. – Т. 38, № 5. – С. 40–48.
4. Автушко, М. И. Концентрация радона в приповерхностных грунтах на территории Солигорского геодинамического полигона (Беларусь) / М. И. Автушко, А. В. Матвеев // Літасфера. – 2010. – № 2 (33). – С. 98–105.
5. Реализация федеральной программы «Радон» в 1997 г. Анализ достоверности проведенных измерений. Оценка радоноопасности территории / Н. А. Манаков [и др.] // АНРИ. – 1998. – № 4. – С. 8–18.
6. Карта крышталічнага фундаменту. М 1 : 2000000 / Н. В. Аксентава [і інш.] // Нацыянальны атлас Беларусі. – Мінск, 2002. – С. 41.
7. Родионов, Д. А. Справочник по математическим методам в геологии / Д. А. Родионов. – М.: Недра, 1987. – 335 с.
8. Каратаев, Г. И. Методика построения физико-геологического разреза по комплексу геофизических полей / Г. И. Каратаев, С. В. Голобоков // Літасфера. – 2003. – № 2 (19). – С. 74–84.
9. Гарецкий, Р. Г. Тектоническое районирование фундамента северо-востока Беларуси / Р. Г. Гарецкий, Г. И. Каратаев // Докл. Нац. акад. наук Беларусі. – 2010. – Т. 54, № 5. – С. 95–99.

References

1. Matveyev A. V. Radonproducing potential of the crystalline basement rocks of the territory of Belarus. *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov* [Nature Management: Collection of scientific papers]. Minsk, Institute of Nature Management of Belarus, 2016, iss. 29, pp. 14–20 (in Russian).
2. Matveyev A. V. Division of the territory of Belarus into the regions with different radon contamination hazard levels of soils. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2016, vol. 60, no. 5, pp. 108–112 (in Russian).
3. Garetsky R. G., Karatayev G. I., Matveyev A. V. Reflectance of radon anomalies in magnetic field and tectonic elements of Belarus. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical Journal], 2016, vol. 38, no. 5, pp. 40–48 (in Russian).
4. Avtushko M. I., Matveyev A. V. The concentration of radon in the subsurface soils at the territory of Soligorsk geodynamic polygon. *Litasfera* [Lithosphere], 2010, no. 2 (33), pp. 98–105 (in Russian).
5. Manakov N. A., Tymchenko E. A., Ermoshin P. I., Tkachev Iu. V. The implementation of the Federal program «Radon» in 1997. The analysis of the reliability of the measurements. Assessing radon hazard territory. *ANRI*, 1998, no. 4, pp. 8–18 (in Russian).
6. Aksamentava N. V., Dankevich I. U., Naidziankou I. V., Pap A. M. *Crystalline basement map*. М 1 : 2000000. *The National Atlas of Belarus*. Minsk, 2002, pp. 41 (in Belarusian).
7. Rodionov D. A. *Handbook of mathematical methods in Geology*. Moscow, Nedra Publ., 1987. 335 p. (in Russian).
8. Karatayev G. I., Golobokov S. V. The methods of modelling a physical and geological section based on a complex of geophysical fields. *Litasfera* [Lithosphere], 2003, no. 2 (19), pp. 74–84 (in Russian).
9. Garetskii R. G., Karataev G. I. Tectonic division into districts of the northeast of Belarus. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2010, vol. 54, no. 5, pp. 95–99 (in Russian).

Информация об авторах

Гарецкий Радим Гаврилович – академик, д-р геол.-минералог. наук, гл. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: natali@nature.basnet.by.

Матвеев Алексей Васильевич – академик, д-р геол.-минералог. наук, гл. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by.

Каратаев Герман Иванович – д-р геол.-минералог. наук, гл. науч. сотрудник. Институт природопользования НАН Беларуси (ул. Ф. Скорины, 10, 220114, Минск, Республика Беларусь). E-mail: german@nature.basnet.by.

Для цитирования

Гарецкий, Р. Г. Тектоно-геофизическое районирование радоноактивности пород кристаллического фундамента Беларуси / Р. Г. Гарецкий, А. В. Матвеев, Г. И. Каратаев // Докл. Нац. акад. наук Беларусі. – 2017. – Т. 61, № 3. – С. 97–103.

Information about the authors

Garetsky Radim Gavrilovich – Academician, D. Sc. (Geology), Chief researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: natali@nature.basnet.by.

Matveyev Aleksey Vasilievich – Academician, D. Sc. (Geology), Chief researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: matveyev@ecology.basnet.by.

Karatayev German Ivanovich – D. Sc. (Geology), Chief researcher. Institute for Nature Management of the National Academy of Sciences of Belarus (10, F. Skoryna Str., 220114, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: german@nature.basnet.by.

For citation

Garetsky R. G., Matveyev A. V., Karatayev G. I. Tectono-geophysical zoning of the radon activity of rocks of the crystalline basement of Belarus. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2017, vol. 61, no. 3, pp. 97–103 (in Russian).