

Отражение радоновых аномалий в магнитном поле и тектонических элементах Беларуси

© Р.Г. Гарецкий, Г.И. Каратаев, А.В. Матвеев, 2016

Институт природопользования НАН Беларуси, Минск,
Республика Беларусь

Поступила 17 июня 2016 г.

Представлено членом редколлегии М.И. Орлюком

Опосередковано через генетичні типи четвертинних відкладів встановлено закономірності, що пов'язують радонові аномалії в ґрунтовому повітрі покривних відкладів різного генезису з магнітними аномаліями і тектонічними елементами Білорусі. Помічено, що інтенсивність радонових аномалій збільшується при переході до тектонічних структур, які витримали багатостадійні процеси активізації. Лінійно витягнуті аномалії корелюють з глибинними розломами літосфери.

Ключові слова: радонові аномалії, магнітні аномалії, тектонічні структури, глибинні розломи.

Радоновые аномалии формируются в результате радиоактивных процессов урановых элементов, диспергированных в горных породах в основном в классе гранитоидов. Радоновый газ и продукты его распада диффундируют по трещинам и разломам в почвенный воздух покровных отложений, скапливаясь в низинах, оврагах, а на территории населенных пунктов — в канализации, подвалах и погребях. Факт связи радоновых аномалий с горными породами и разломной тектоникой дает основания к проведению исследований взаимосвязи радоновых аномалий с геофизическими полями и тектоническими элементами. Этому вопросу и посвящена настоящая статья. Для этого на территории Беларуси были проведены исследования по выявлению закономерностей, связывающих геолого-геофизические данные с распределением концентраций радона.

Как известно, в цепочке процесса распада $^{238}\text{U} \Rightarrow ^{226}\text{Ra}$ образуется дочерний изотоп — радон ^{222}Rn . Это тяжелый инертный радиоактивный бесцветный газ без запаха, слегка флюоресцирующий голубым светом. Период полу-

распада 3,82 суток. Он в 7,5 раз тяжелее воздуха ($9,81 : 1,293 \text{ кг/м}^3$). Радон и его короткоживущие изотопы (^{220}Rn и ^{219}Rn) являются интенсивными альфа-излучателями с энергией от 5,48 до 7,68 МэВ. Это обуславливает их активное воздействие на биологические ткани внутренних органов человека (bronхи, легочный эпителий и т. д.).

В геологическом аспекте концентрация радона в воздухе обусловлена, прежде всего, особенностями вещественной структуры разреза верхней части земной коры — распространением пород класса гранитоидов, как основных вмесителей урана и урановых соединений, формирующих радон, а также степенью разломности геологической среды, обеспечивающей интенсификацию проникновения радоновых эманацій из глубин земной коры в атмосферу. Радон может находиться и в осадочных, и в любых метаморфических горных породах, которые обладают небольшой радиоактивностью. Он распространен также на территориях, сложенных легкопроницаемым гравийно-песчаным и глинистым материалом. Например, на

территории Беларуси наибольшие значения объемной активности радона (ОАР) приурочены к моренным, лессовидным, озерно-ледниковым глинам, суглинкам и супесям и к сильноразложившимся разновидностям торфа — до 48 400—58 000 Бк/м³, а минимальные (до 3100—6600 Бк/м³) — к промьгтым песчаным разновидностям флювиогляциальных, краевых ледниковых и аллювиальных отложений; отмечается высокое содержание радона в активизированных тектонических разломах [Матвеев, 2015]. Низкие концентрации радона были установлены в помещениях населенных пунктов Брестской, Гомельской областей, а также южных районов Минской и юго-западных районов Могилевской областей, повышенные концентрации — в помещениях населенных пунктов Витебской, Гродненской, северо-восточных районов Могилевской областей. Неравномерность распределения радона по населенным пунктам республики составляет 2—4 раза. Отмечено наличие "пятен" с опасной концентрацией радона в пределах 200—400 Бк/м³ в районах Витебской, Гродненской и Могилевской областей [Ярошевич и др., 2010; Карабанов и др., 2015].

В частности, отмечено, что вода, которая в дождливую погоду заполняет микротрещины в земной коре, а также снежный покров являются препятствием доступа радона в воздух. Наоборот, в преддверии землетрясений, когда в верхах земной коры образуются микротрещины, наблюдается более высокая интенсивность привноса радона в атмосферу. Очень важным источником радона служат глубинные разломы.

В геологии измерения содержания радона в воздухе и воде применяется для поиска месторождений урана и тория, радоновых вод, а также для выявления современных активных тектонических разломов, на которые может указывать повышенное содержание радона в приземном и подпочвенном воздухе; в гидрогеологии — для исследования взаимодействия грунтовых и речных вод. Динамика концентрации радона в подземных водах может применяться для прогноза землетрясений [Уткин, Юрков, 2010].

Радиоактивное альфа-излучение радона проникает в организм человека вместе с вдыхаемым воздухом через слизистые оболочки и через желудок, но плохо проникает через кожу. Попадая в организм, радон способствует процессам, приводящим к раку легкого. Распад ядер радона и его дочерних изотопов в легочной ткани вызывает микроожог, поскольку вся энер-

гия альфа-частиц поглощается практически в точке распада. Особенно опасно сочетание воздействия радона и курения.

В лечебных целях ²²²Rn применяется в виде радоновых ванн при лечении заболеваний суставов, костей, периферической нервной системы, хронических гинекологических заболеваний и др. Альфа-излучение стимулирует, активизирует жизненные силы организма, это своеобразный "радиоактивный массаж". Раны заживают быстрее, восстанавливаются поврежденные нервные волокна, быстрее восстанавливается костная ткань при переломах, излечиваются кожные заболевания; восстанавливается здоровый сон, исчезают боли и спазмы в мышцах, кровяное давление приходит в норму и т. д. Применяется также в виде ингаляций, орошений, приема внутрь воды, содержащей радон. Период полувыведения из организма — в пределах суток.

Отмечается, что радионуклиды радона обуславливают более половины всей эквивалентной дозы радиации, которую в среднем получает организм человека от природных и техногенных радионуклидов окружающей среды. Предельно допустимое поступление ²²²Rn через органы дыхания равно 146 МБк/год.

С точки зрения безопасности жизнедеятельности человека важным фактором радоновой радиации является то, что природный радоновый газ из недр земной коры перемещается в атмосферу и, будучи существенно тяжелее воздуха, концентрируется в низменных участках местности и в подвальных помещениях промышленных и жилых зданий. Установлено, что при этом нередко превышает уровень предельно допустимых концентраций радона, установленных для работников урановых рудников. Пожалуй, наиболее исчерпывающе эта проблема изложена в лекциях проф. И. Н. Бекмана (Лекция 4. Радон в жилых помещениях. <http://www.avdspb.ru/Docs/radon.pdf>). В частности, он отмечает, что "относительно большой период полураспада радона (3,82 суток) и высокая способность к диффузии позволяют ему распространяться по порам и трещинам в почве, через щели в фундаменте зданий, поступать из подвалов в помещения и при отсутствии вентиляции накапливаться там в значительных концентрациях. Сейчас очевидно, что просачивающийся сквозь неплотности в перекрытиях радон представляет собой главный источник радиоактивного облучения населения в закрытых помещениях", "... во многих странах цены на жилье формируются с учетом величины кон-

центрации радона в помещениях. Поэтому мониторинг радона в местах обитания человека и разработка мер по снижению поступления в них радона представляет собой актуальную проблему".

Во многих странах проводят экологический мониторинг концентрации радона в зданиях, особенно в тех, которые расположены в районах геологических разломов, являющихся каналами поступления радона из земной коры. Учитывая, что многие строительные материалы содержат радиоактивные элементы, из материнских нуклидов в воздух жилых помещений поступает генерируемый ими радоновый газ. В настоящее время концентрация радона в жилых помещениях регламентируется. Так, в России согласно федеральной целевой программе "Радон" (Постановление Правительства России от 06.07.94 г. № 809) она не должна превышать 100 Бк/м³. Международная комиссия по радиологической защите указывает на то, что если концентрация радона в регионе 200 Бк/м³, то необходимо предпринимать предупредительные меры. В частности, при концентрации радона в жилых зданиях свыше 400 Бк/м³ может быть поставлен вопрос о переселении жильцов.

Итак, постоянно образуемый в земной коре радон постепенно по трещинам проникает в атмосферу и накапливается в поверхностных грунтах в низменных, плохо проветриваемых участках, откуда диффундирует в жилые и производственные помещения, где концентрируется в основном на нижних этажах. Радон и продукты его распада являются источниками радиоактивного заражения человека. Для обеспечения безопасности населения от вредного влияния радона изучается характер распространения концентраций радона на исследуемых территориях и составляются соответствующие карты радоновых аномалий. Для территории Беларуси и отдельных ее участков по результатам точечных измерений содержания радона в воздухе жилых домов и в почвенном воздухе покровных отложений построены карты радонового заражения [Матвеев, 2015; Карабанов и др., 2015; Ярошевич и др., 2010]. В частности, в докладе "Projects 571" [Garetsky, 2014] отмечается, что в целом по всем семи областям Беларуси объемная активность радона и дочерних продуктов его распада в воздухе помещений находится в диапазоне 60—130 Бк/м³, достигая в отдельных зданиях почти 1500 Бк/м³. Это дает годовую эффективность дозы облучения населения в среднем 3,8 мЗв/год (в отдельных зданиях максимум до 60 мЗв/год), что на-

много выше аналогичного параметра облучения населения в настоящее время, обусловленного чернбыльскими радиоактивными выпадениями: в г. Брагин — 0,47, в г. Наровля — 0,31, в г. Хойники — 0,2 мЗв/год. В почвенном же воздухе покровных отложений объемная активность радона на территории Беларуси может достигать величин свыше 58 000 Бк/м³ [Матвеев, 2015].

Разумеется, объем точечных исследований весьма ограничен и для надежного прогнозирования аномального поля радона на исследуемой территории необходимо привлечение связанных с распространением радона по площади геолого-геофизических материалов, характеризующих тектонику, вещественный состав верхней части земной коры, геологию четвертичных отложений, распределение разломов различной категории и т. п. На основании выявленных закономерностей "радон—геология" и должны строиться соответствующие "радоно-геологические" модели, обеспечивающие надежный прогноз концентраций радона на площадях.

С использованием геологических (геоморфологических) данных построена Карта распределения объемной активности "грунтового" радона в почвенном воздухе покровных отложений Беларуси [Матвеев, 2015]. Анализируя точечные данные о радонопродуцируемом потенциале основных генетических типов покровных отложений (геологический фактор), были установлены следующие закономерности:

- для территорий (тип I), характеризующихся преобладанием флювиогляциальных, краевых ледниковых, болотных покровных отложений, ОАР в поровом воздухе колеблется в среднем в интервале 4300—14 900 Бк/м³, максимальные значения — до 20 900 Бк/м³;
- территории (тип II), где преимущественно распространены флювиогляциальные, моренные, озерно-ледниковые отложения, ОАР составляет 7000—20 900 Бк/м³ (в среднем 9700 Бк/м³);
- территории распространения наиболее глинистых моренных супесей и суглинков с чередованием моренных и лессовидных супесей и суглинков, краевых ледниковых песчано-гравийных отложений и флювиогляциальных песков относятся к типу III. Интервал значений ОАР равен 8500—16 600 Бк/м³, а максимум — 28 200 Бк/м³. Это потенциально радоноопасные участки;
- территории с преобладанием моренных

и лессовидных покровных отложений с ОАР от 11 900 до 18 700 Бк/м³ (максимум до 28 200 Бк/м³) потенциально радоноопасны (тип IV);

- территории распространения озерно-ледниковых глин и суглинков со значениями ОАР от 17 100 до 30 000 Бк/м³ (тип V) относятся к радоноопасным участкам (таблица).

Районы первого и второго типов радоновых аномалий относятся к классу относительно радонобезопасных.

Поскольку покровные отложения являются одним из факторов формирования земной коры Беларуси, хотя они в значительной степени обязаны деятельности ледников, закономерности "радон — покровные отложения" должны найти отражение в разломной тектонике и в геофизических полях.

Сопоставление карты радоновых аномалий с картой кристаллического фундамента Беларуси (рис. 1) позволяет наметить следующие закономерности. Во-первых, северный борт Припятско-Брестского пояса разломов четко отбивает южную границу субширотного пояса радоновой аномалии типа II (флювиогляциальные и моренные, озерно-аллювиальные, краевые ледниковые, аллювиальные отложения). Поскольку по данным физико-геологического моделирования гравитационного и магнитного полей глубинные разломы, контролируемые северный борт Припятско-Брестского пояса разло-

мов, имеют тенденцию к падению на юг, можно предположить, что формирование рассматриваемого субширотного радонового поля непосредственно связано с глубинными радиоактивными источниками (радоновый газ целенаправленно перемещался с больших глубин вдоль наклонной плоскости сместителя разлома в северном направлении). Во-вторых, наблюдается хорошая закономерная корреляция последовательной смены контуров различных типов радоновых аномалий с юга на север в Центрально-Белорусской сутурной зоне. При этом простираются структур покровных отложений подчинено общей субширотной направленности сближения Фенноскандинавского и Сарматского геосегментов. Однако подобной закономерной корреляции не наблюдается для Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса (слагающие пояс тектонические структуры фундамента имеют линейную тенденцию северо-восточного простираения, в то время как контуры радоновых аномалий, связанные со структурами более молодых покровных отложений, обусловленных своим формированием ледниковым процессам, к ним дискордантны). В-третьих, Полоцко-Курземскому субширотному поясу разломов соответствует зона наибольшей радоноопасности (тип V, распространение озерно-ледниковых отложений). Причем следует отметить, что в отличие от Припятско-Брестского пояса разломов южный субширотный глубинный раз-

Характеристика типов радоновых аномалий в покровных отложениях и их соотношения с магнитными аномалиями

Тип соотношений радоновых аномалий покровных отложений и магнитных аномалий	Средние значения ОАР, Бк/м ³	Интервал значений ОАР, Бк/м ³	Максимальные значения ОАР, Бк/м ³
I — системы в основном положительных аномалий, диспергированных локальными отрицательными аномалиями	8500	4300—11 300	20 900
II — в основном положительные магнитные аномалии, за исключением контуров 2/6 и 2/8	9700	7000—14 900	20 900
III — магнитные положительные и отрицательные аномалии	11 700	8500—16 600	28 200
IV — отрицательное магнитное поле в окружении локальных положительных аномалий	15 200	11 900—18 700	28 200
V — отрицательные магнитные аномалии	22 700	17 100—28 600	30 000

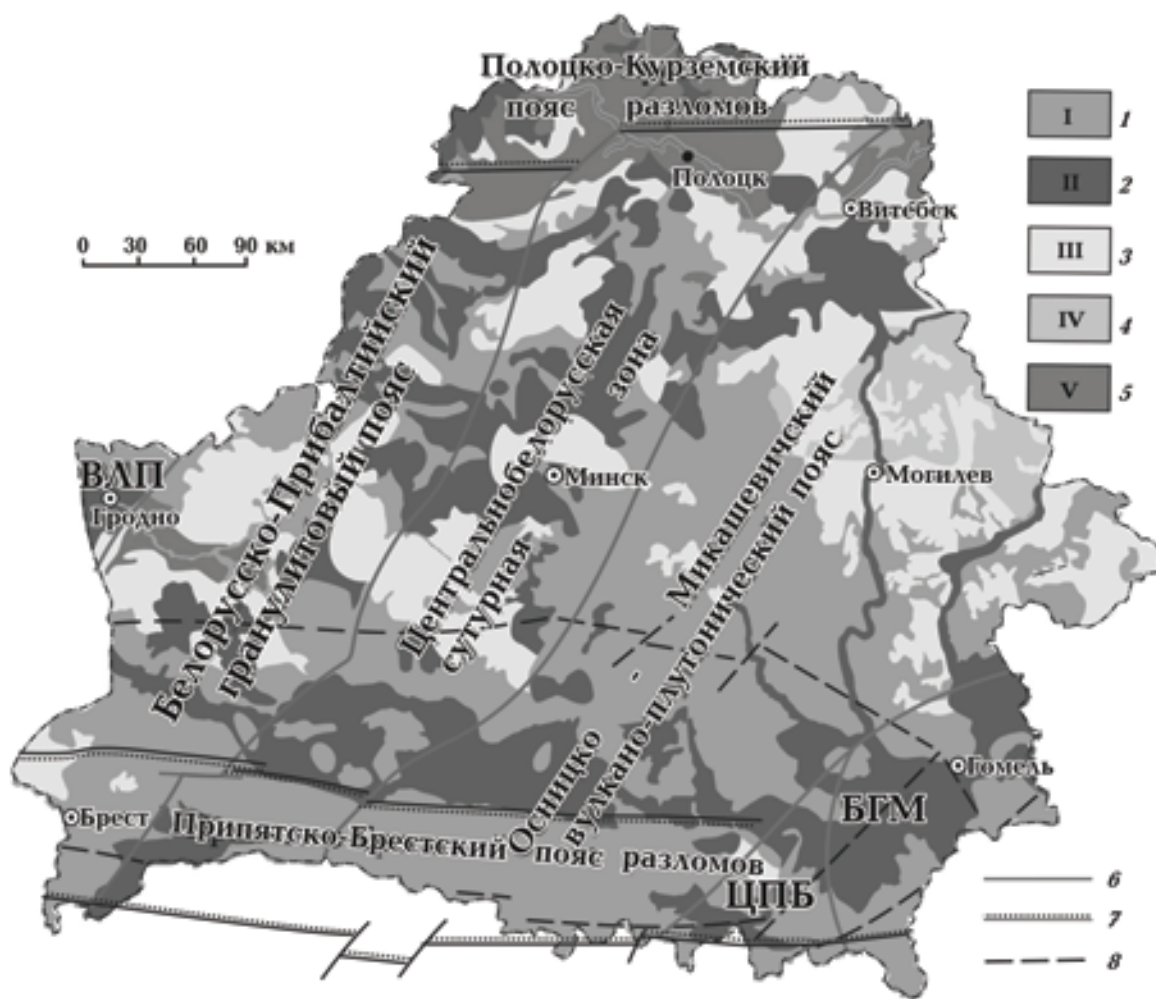


Рис. 1. Схема аномалий объемной активности радона в почвенном воздухе на территории Беларуси, по [Матвеев, 2015], в сопоставлении с тектоническим районированием кристаллического фундамента, по [Гарецкий, Каратаев, 2014]: 1—5 — типы радоновых аномалий разного генезиса, 6—8 — разломы (6 — глубинные разломы фундамента, 7 — границы региональных поясов разломов, 8 — разломы чехла). БГМ — Брагинский гранулитовый массив, ВЛП — Восточно-Литовский пояс, ЦПБ — Центрально-Припятский блок.

лом Полоцко-Курземского пояса разломов по данным физико-геологического моделирования гравитационного и магнитного полей характеризуется практически вертикальным падением плоскости сместителя. Поэтому, скорее всего, радоновая аномалия здесь практически равномерно распространена относительно разлома. В-четвертых, обращает на себя внимание Осницко-Микашевичский вулканоплутонический пояс: в его центральной части находится слабая по интенсивности радоновая аномалия I типа, но в северо-восточной части наблюдаются интенсивные радоновые аномалии IV типа до $28\ 200\ \text{Бк}/\text{м}^3$. Наконец, на западе Беларуси Восточно-Литовскому поясу, а на юго-востоке Брагинскому гранулитовому массиву со-

ответствуют локальные площади радоновых аномалий II типа.

Для понимания физико-геологической природы формирования радоновых аномалий на территории Беларуси сравним контуры их распространения с аномальным магнитным полем (рис. 2).

Прежде всего, следует отметить отсутствие корреляции магнитных аномалий с радоновым полем на западе Беларуси, в тектоническом отношении территориально совпадающим с восточной оконечностью Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса. Это обусловлено тем, что структуры фундамента четко линейно вытянуты в северо-восточном направлении, а покровные отложения в основном субширотного

простираения (что, на наш взгляд, обусловлено различной историей формирования фундамента и покровных отложений).

Восточную половину территории Беларуси относительно корреляции магнитных и радоновых аномалий можно сравнить с условным треугольником, в центре которого находится радонобезопасная область 1/2, для которой характерно в основном положительное магнитное поле, диспергированное отдельными локальными отрицательными аномалиями. Западная сторона треугольника соответствует группе ло-

кальных радоновых аномалий различного типа, совпадающих с локальными магнитными аномалиями. Южная сторона рассматриваемого треугольника связана с линейной радоновой аномалией 1/4, отраженной в положительной линейной магнитной аномалии субширотного простираения. Восточная же сторона треугольника характеризуется в основном существенно положительным магнитным полем, в центральной части которого выделена радоноопасная геоморфологическая область IV типа с преобладающим развитием локальных отрицательных

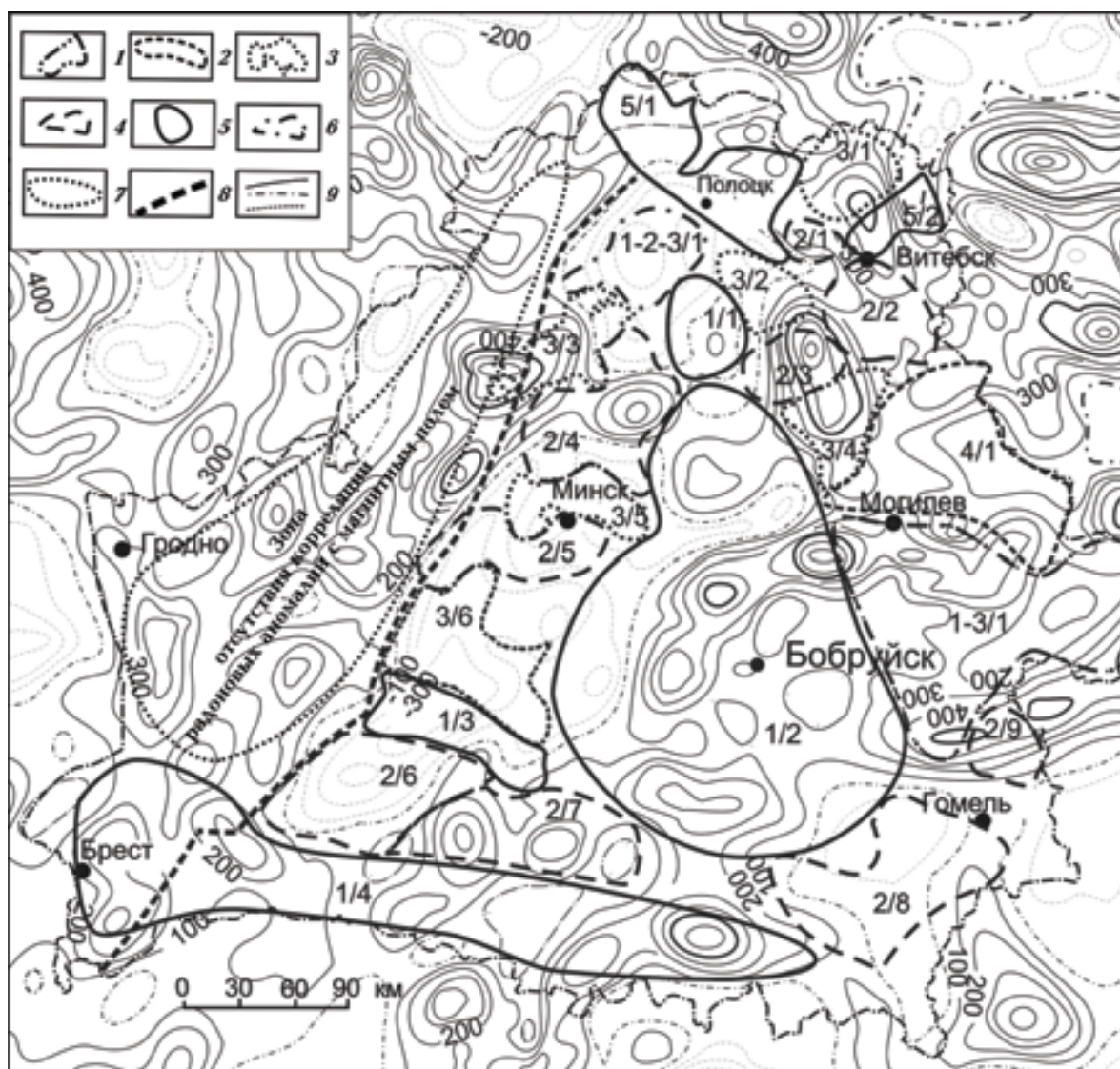


Рис. 2. Соотношение магнитных [Карта ..., 1974; Національны ..., 2002] и радоновых [Матвеев, 2015] аномалий на территории Беларуси: 1—5 — контуры радоновых аномалий согласно рис. 1; 6 — смешанный тип 1 и 3; 7 — контур зоны отсутствия корреляции радоновых и магнитных аномалий; 8 — восточная граница Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса — Кореличский глубинный краевой разлом; 9 — изолинии магнитного поля (положительные, нулевая, отрицательные), нТл; цифры в контурах — условные названия зон однородных радоновых аномалий.

магнитных аномалий. Вызывают интерес закономерности в углах треугольника: к ним приурочены соотношения отрицательных магнитных аномалий с радоновыми аномалиями, относимыми к классу практически радонобезопасных (участки 1-2-3/1, 2/6, 2/8). В таблице приведена характеристика аномального магнитного поля для разных генетических типов радоновых аномалий.

Для территории Беларуси, в частности, установлена следующая связь вещества фундамента с магнитным полем [Глубинное ..., 1991]: отрицательные магнитные аномалии обусловлены биотитовыми гранитогнейсами, мигматитами, гранитами лейкократовыми, кварцитами, альбитами, амфиболитами; магнитные породы $((0,7—1,0) \cdot 10^{-3}$ СГС) — амфиболовые, амфибол-пироксеновые, биотит-пироксеновые плагиогнейсы и кристаллосланцы, биотитовые, биотит-гранатовые плагиогнейсы с магнетитом, диориты, гранодиориты, амфиболовые и пироксеновые гранитогнейсы, эндебиты, мостовские граниты; сильномагнитные породы $((1,1—5,0) \times 10^{-3})$ — локальные тела (интрузии): габбро-нориты, нориты, габбро-диабазы, габбро-амфиболиты — создают существенно положительные магнитные аномалии.

Таким образом, хорошая корреляция магнитного поля и радоновых аномалий для центральной и восточной частей Беларуси подтверждает известный тезис, что радоновые аномалии формируются в результате радиоактивного распада урановых элементов, диспергированных в геологических телах класса гранитоидов. В связи с этим предлагаем в "радоно-магнитную" модель ввести критерий, связывающий (см. таблицу) магнитные и радоновые аномалии.

Для понимания природы формирования радоновых аномалий на территории Беларуси и увязки отмеченных выше тектонических соотношений с радоновыми аномалиями и данными сопоставления магнитного и радонового полей сравним особенности геологического строения Осницко-Микашевичского вулканоплутонического пояса, Белорусско-Прибалтийского гранулитового пояса и Центрально-Белорусской сутурной зоны. Как известно [Геология ..., 2001], фундамент Осницко-Микашевичского пояса сложен преимущественно магматическими поро-

дами, сформировавшимися во второй половине раннего протерозоя и не претерпевшими существенного регионального метаморфизма (преобладают гранитоиды диорит-гранодиорит-гранитной формации; вулканические породы, имеющие кислый и умеренно кислый состав, развиты ограниченно). Белорусско-Прибалтийский пояс сложен гранулитовыми блоками (преобладающие типы пород — основные кристаллические сланцы и амфиболиты, частично преобразованные в эндебиты и чарнокиты), разделенными высокотемпературными бластомионитами (сложены в основном интенсивно гранитизированными биотитовыми и амфибол-биотитовыми гнейсами). В пределах этого пояса ограниченно распространены верхнеархейские метаморфические толщи, отсутствуют отложения раннего протерозоя, слабо проявлен раннепротерозойский метаморфизм.

Центрально-Белорусская сутурная зона, разделяющая Белорусско-Прибалтийский гранулитовый и Осницко-Микашевичский вулканоплутонический пояса, сложена амфиболито-гнейсовым и гнейсосланцевым комплексами пород позднеархейско-раннепротерозойского возраста.

Столь существенное различие в истории формирования рассматриваемых поясов и разнотипность относимых к ним радоновых аномалий дает основания сформулировать следующий тектонический критерий "радонотектонической" модели: слабые по интенсивности радоновые аномалии (типы I, II) приурочены главным образом к тектоническим структурам, не претерпевшим существенного регионального метаморфизма (Осницко-Микашевичский вулканоплутонический пояс) и высокой степени активизации. Наоборот, тектонические структуры типа Центрально-Белорусской сутурной зоны, претерпевшие в истории своего развития многоэтапные процессы активизации, обладают относительно высокими значениями радоновых аномалий.

В заключение заметим, что линейно вытянутые радоновые аномалии коррелируют с глубинными разломами литосферы; для выявления закономерностей авторы планируют провести соответствующие исследования в рамках физико-геологического моделирования "радоно-геофизического" разреза литосферы.

Список литературы

- Гарецкий Р. Г., Каратаев Г. И.* Шовные зоны Фенноскандии, Сарматии и Волго-Уралии. Минск: Беларуская навука, 2014. 120 с.
- Геология Беларуси.* Под ред. А. С. Махнач, Р. Г. Гарецкого, А. В. Матвеева и др. Минск: Изд. Ин-та геолог. наук НАН Беларуси, 2001. 815 с.
- Глубинное строение и динамика земных недр территории Белоруссии.* Под ред. Р. Г. Гарецкого. Минск: Навука і тэхніка, 1991. 317 с.
- Карабанов А. К., Чунихин Л. А., Дроздов Д. Н., Чеховский А. Л., Жук И. В., Ярошевич О. И., Конопелько М. В.* Карта радонового риска Республики Беларусь. *Природные ресурсы.* 2015. № 2. С. 73—79.
- Карта аномального магнитного поля СССР.* 1 : 2 500 000. Москва: Изд. Мингео СССР, 1974.
- Матвеев А. В.* Особенности распределения "местного" (грунтового) радона в почвенном воздухе покровных отложений Беларуси. *Докл. НАН Беларуси.* 2015. Т. 59. № 4. С. 107—112.
- Нацыянальны атлас Беларусі.* Под ред. М. В. Мясниковича. Минск, 2002. 27 с.
- Уткин В. И., Юрков А. К.* Радон как индикатор геодинамических процессов. *Геология и геофизика.* 2010. Т. 51. № 2. С. 277—286.
- Ярошевич О. И., Жук И. В., Карабанов А. К.* Пилотный мониторинг радона в воздухе зданий в Витебской области и оценка доз облучения населения, обусловленного радоном. *Сб. научн. трудов научно-практической конференции с международным участием "Здоровье и окружающая среда", Минск 30 сентября 2010 г.* Минск, 2010. Вып. 15. С. 231—239.
- Garetsky R. G.,* 2014. Project 571 "Radon, Health and Natural Hazards" (2009—2014). Summary report: From the National Committee of Belarus on the International Geological Correlation Program (IGCP) on the activity in 2010, 11—14.

Reflectance of radon anomalies in magnetic field and tectonic elements of Belarus

© R. G. Garetsky, G. I. Karatayev, A. V. Matveyev, 2016

Regularities connecting radon anomalies in soil air of cover deposits of different genesis with magnetic anomalies and tectonic elements of Belarus have been indirectly determined through genetic types of Quaternary deposits. It is noted that the intensity of radon anomalies increases with transition to the tectonic structures subjected to multi-step processes of activation. Linearly stretched radon anomalies correlate with the deep faults of lithosphere.

Key words: radon anomalies, magnetic anomalies, tectonic structures, deep faults.

References

- Garetsky R. G., Karataev G. I.,* 2014. Suture Zone Fennoscandia, Sarmatia and the Volga-Ural region. Minsk: Belaruskaya Navuka, 120 p. (in Russian).
- Belarus Geology,* 2001. Eds A. S. Makhnach, R. G. Garetskiy, A. V. Matveev et al. Minsk: The publication of the Institute of Geological Sciences, National Academy of Sciences, 815 p. in Russian).
- Deep structure and dynamics of Earth's interior territory of Belarus,* 1991. Ed. R. G. Garetskiy. Minsk: Navuka i tehnika, 317 p. (in Russian).
- Karabanov A. K., Chunikhin L. A., Drozdov D. N., Cherkhovskiy A. L., Zhuk I. V., Yaroshevich O. I., Konopelko M. V.,* 2015. Map of radon risk of the Republic of Belarus. *Prirodnye resursy* (2), 73—79 (in Russian).

- Map of the anomalous magnetic field of the USSR, 1974. 1 : 2500000. Moscow: Publishing House Ministry of Geology of USSR (in Russian).
- Matveev A. V., 2015. Features of distribution of "local" (ground) of radon in the soil air Belarus overburden. *Doklady NAN Belarusi* 59(4), 107—112 (in Russian).
- The National Atlas of Belarus, 2002. Ed. M.V. Myasnikovich. Minsk, 27 p. (in Belarusian).
- Utkin V.I., Yurkov A.K., 2010. Radon as an indicator of geodynamic processes. *Geologiya i geofizika* 51(2), 277—286 (in Russian).
- Yaroshevich O.I., Zhuk I.V., Karabanov A.K., 2010. Pilot monitoring radon in the air of buildings in the Vitebsk region and assessment of public exposure due to radon. *Coll. Sci. works scientific-practical conference with international participation "Health and Environment"*, Minsk 30 September 2010, 15, 231—239 (in Russian).
- Garetsky R. G., 2014. Project 571 "Radon, Health and Natural Hazards" (2009—2014). Summary report: From the National Committee of Belarus on the International Geological Correlation Program (IGCP) on the activity in 2010, 11—14.