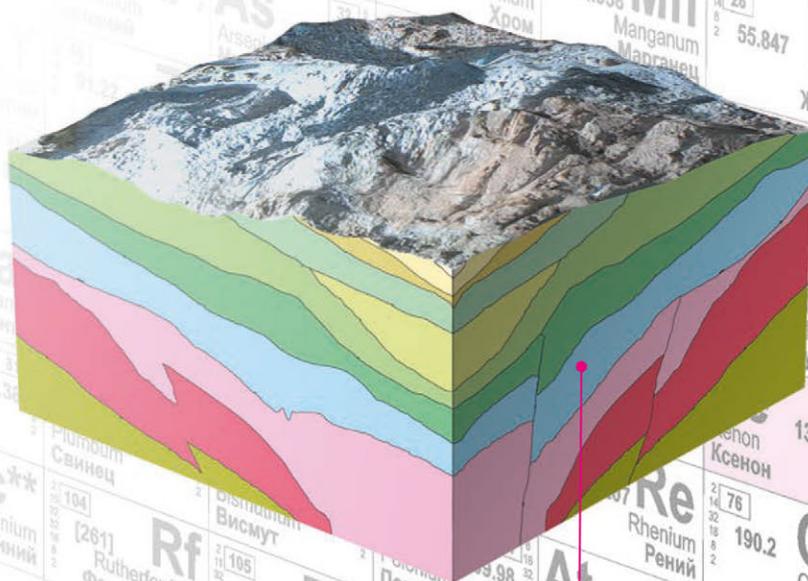


А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, М. И. Автушко

РАДОН В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСАХ БЕЛАРУСИ



1	1	2
H Hydrogenium Водород 1.00794	He Helium Гелий 4.002602	
3	4	5
Li Lithium Литий 6.941	Be Beryllium Бериллий 9.012182	B Boronum Бор 10.811
6	7	8
C Carbonium Углерод 12.0107	N Nitrogenium Азот 14.00643	O Oxygenium Кислород 15.999
9	10	11
F Fluorinum Фтор 18.9984032	Ne Neon Неон 20.1797	Na Natrium Натрий 22.98976928
12	13	14
Mg Magnesium Магний 24.304	Al Aluminium Алюминий 26.9815386	Si Silicium Кремний 28.0855
15	16	17
P Phosphorium Фосфор 30.973762	S Sulfurium Сера 32.065	Cl Chlorium Хлор 35.453
18	19	20
Ar Argonum Аргон 39.948	K Kalium Калий 39.0983	Ca Calcium Кальций 40.078
21	22	23
Sc Scandium Скандий 44.955912	Ti Titanium Титан 47.88	V Vanadiumum Ванадий 50.9415
24	25	26
Cr Chromium Хром 51.9961	Mn Manganum Марганец 54.938	Fe Ferrum Железо 55.847
27	28	29
Co Cobaltum Кобальт 58.9332	Ni Nickelium Никель 58.6934	Cu Cuprum Медь 63.546
30	31	32
Zn Zincum Цинк 65.38	Ga Galliumum Галлий 69.723	Ge Germaniumum Германий 72.630
33	34	35
As Arsenicum Арсен 74.9216	Se Seleniumum Селен 78.96	Br Brominum Бром 79.904
36	37	38
Kr Kryptonum Криптон 83.80	Rb Rubidiumum Рубидий 85.4678	Sr Strontiumum Стронций 87.62
39	40	41
Y Yttriumum Иттрий 88.9062	Zr Zirconiumum Цирконий 91.224	Nb Niobiumum Нобий 92.90638
42	43	44
Mo Molybdenumum Молибден 95.94	Tc Technetiumum Технеций [98]	Ru Rutheniumum Рутений 101.07
45	46	47
Rh Rhodiumum Родий 102.9055	Pd Palladiumum Палладий 106.42	Ag Argentum Серебро 107.8682
48	49	50
Cd Cadmiumum Кадмий 112.411	In Indiumum Индий 114.818	Sn Stannum Олово 118.710
51	52	53
Sb Antimonium Сурьма 121.757	Te Telluriumum Теллур 127.6	I Iodinum Йод 126.90549
54	55	56
Xe Xenonum Ксенон 131.29	Ba Bariumum Барий 137.327	La Lanthanumum Лантан [138.905]
57	58	59
Ce Ceriumum Церий [140.12]	Pr Praseodymiumum Прометий [140.90765]	Nd Neodymiumum Неодим [144.242]
60	61	62
Sm Samariumum Самарий [150.36]	Eu Europiumum Европий [151.964]	Gd Gadoliniumum Гадолий [157.25]
63	64	65
Tb Terbiumum Тербий [158.92535]	Dy Dysprosiumum Диспрозий [162.50014]	Ho Holmiumum Гольмий [164.930329]
66	67	68
Er Erbiumum Эрбий [167.2593]	Tm Thuliumum Тимий [168.934868]	Yb Ytterbiumum Иттербий [173.054688]
69	70	71
Lu Lutetiumum Лютеций [174.967]	Hf Hafniumum Гафний [178.49]	Ta Tantalumum Тантал [180.94788]
72	73	74
Rf Rutherfordiumum Резерфордий [261]	Rh Rheniumum Рений [186.907]	Os Osmiumum Осмий [192.22]
75	76	77
Re Rheniumum Рений [186.207]	Ir Iridiumum Иридий [192.222]	Pt Platinumum Платина [195.084]
78	79	80
Hg Hydrargyrum Ртуть [200.59]	Au Aurumum Золото [196.966569]	Hs Hassiumum Хассий [265]
81	82	83
Tl Thalliumum Таллий [204.3833]	Pb Plumbumum Свинец [207.2]	Bh Bohriumum Борий [262]
84	85	86
Bi Bismutumum Висмут [208.9804]	Po Poloniumum Полоний [209]	Rn Radonum Радон [222]
87	88	89
Fr Franciumum Франций [223]	Ra Radiumum Радий [226]	Ac** Actiniumum Актиний [227]
90	91	92
Th Thoriumum Торий [232.0377]	Pa Protactiniumum Протактиний [231]	U Uraniumum Уран [238.02891]
93	94	95
Np Neptuniumum Нептуний [237]	Pu Plutoniumum Плутоний [244]	Am Americiumum Америций [243]
96	97	98
Cm Curiumum Курций [247]	Bk Berkeliumum Беркелий [247]	Cf Californiumum Калифорний [251]
99	100	101
Lr Lawrenciumum Лоренций [260]	Rf Rutherfordiumum Резерфордий [261]	Hs Hassiumum Хассий [265]
102	103	104
Nh Nihoniumum Ниголий [284]	Ds Darmstadtiumum Дармштадтий [285]	Cn Coperniciumum Коперниций [285]
105	106	107
Mt Meitneriumum Мейтнерий [268]	106	107
108	109	110
Hs Hassiumum Хассий [265]	109	110
111	112	113
111	112	113

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт природопользования

А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, М. И. Автушко

РАДОН
В ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
КОМПЛЕКСАХ
БЕЛАРУСИ

Минск
«Беларуская навука»
2017

УДК 551.79:[550.42:546.296](476)

Матвеев, А. В. Радон в геологических комплексах Беларуси / А. В. Матвеев, А. К. Карабанов, М. И. Автушко. – Минск : Беларуская навука, 2017. – 136 с. – ISBN 978-985-08-2190-4.

В монографии охарактеризованы особенности распределения объемной активности радона в наиболее распространенных типах четвертичных отложений, коренных пород платформенного чехла и фундамента. Выделены радоновые аномалии в приповерхностных отложениях, приведена схема районирования территории по степени радоновой опасности. Рассмотрены основные направления использования радонометрических данных для прогнозных оценок геодинамических и геоэкологических обстановок, поисков полезных ископаемых.

Рассчитана на широкий круг геологов, других специалистов в области наук о Земле, преподавателей, аспирантов и студентов вузов геологического и географического профиля.

Табл. 19. Ил. 52. Библиогр. 90 назв.

Р е ц е н з е н т ы:

доктор геолого-минералогических наук В. Н. Астапенко,
доктор географических наук, профессор В. Н. Губин

ISBN 978-985-08-2190-4

© Матвеев А. В., Карабанов А. К., Автушко М. И., 2017

© Оформление. РУП «Издательский дом
«Беларуская навука», 2017

ВВЕДЕНИЕ

Радон был открыт в 1900 г. немецким ученым Ф. Дорном и английским физиком Э. Резерфордом. Теоретические основы методов диагностики объемной активности этого газа начали разрабатываться в 20-х годах XX столетия. На первых этапах исследования чаще всего имели общепознавательное значение. Позднее было доказано, что облучение от радона и многочисленных дочерних продуктов его радиоактивного распада (ДПР – ^{214}Pb , ^{214}Bi , ^{210}Bi , ^{218}Po , ^{210}Po и др.) составляет не менее половины дозы, получаемой среднестатистическим жителем Земли от всех источников ионизирующего излучения. В связи с этим радон может оказывать существенное влияние на здоровье населения. Поэтому с 80-х годов XX столетия исследования газа приобрели систематический характер. Наиболее серьезные работы выполнены в США, Швеции, Великобритании, Германии, Бельгии, Италии, Чехии и др. В перечисленных странах осуществляются массовые замеры концентрации радона в зданиях, в почвенном воздухе, различных по составу горных породах, подземных водах. Выполненными измерениями установлено, что до 40–70% поступлений рассматриваемого газа в жилые помещения определяются породами и почвами в основании этих сооружений. Сделан вывод, что до 20% ежегодно регистрируемых онкологических заболеваний органов дыхания вызывается радоновой радиацией [1–7].

Помимо медицинского аспекта, радонометрические данные стали широко использоваться в мировой геологической практике при поисках месторождений радиоактивных полезных ископаемых, геотермального сырья, выявлении зон активных разломов, решении других геологических и геоэкологических задач. Учитывая разнообразное значение сведений о радоне, во многих странах разработаны соответствующие национальные программы, составлены карты радоновых аномалий и опасностей (США, Швеция, Германия и др.).

Примерно в таком же направлении проводится изучение радона в странах СНГ и в первую очередь у наших ближайших соседей – России и Украины. В частности, в России проблемы радона и его ДПР исследуются в Радиовом институте им. В. Г. Хлопонина, Научно-практическом центре по радиационной экологии, ряде институтов Российской академии наук (Объединенный институт физики Земли, геохимии и аналитической химии, проблем нефти и газа, Объединенный институт ядерных исследований и др.), во многих вузах

и т. д. [8–11]. В Украине радоновой проблематикой занимаются специалисты институтов геохимии, минералогии и рудообразования, геохимии окружающей среды Национальной академии наук Украины, в Институте гигиены и медицинской экологии Академии медицинских наук, некоторых университетах и др. [12–14]. По отдельным регионам этих стран также построены карты радоновой опасности.

Радон достаточно широко изучается и в Беларуси. Проводятся замеры объемной активности газа в жилых помещениях, почвах, подземных водах для решения геологических и экологических проблем. Эти исследования выполняются в организациях Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды (Я. Г. Грибик, А. П. Стародубова, А. П. Иваненко, А. В. Гаврилов, А. В. Беляшов, М. Ю. Калинин и др.), Национальной академии наук (О. И. Ярошевич, А. К. Карабанов, А. В. Кудельский, А. В. Матвеев, Л. Л. Василевский, И. В. Жук и др.), Министерства здравоохранения (И. В. Залуцкий, Ю. И. Аверин, Л. А. Чунихин, Д. Н. Дроздов, С. А. Мацкевич, Л. В. Липницкий и др.), Институте радиологии Министерства по чрезвычайным ситуациям (М. И. Автушко, К. Н. Буздалкин, Ю. М. Жученко, Л. В. Жукова) и др.

Выполненными на территории страны работами установлено формирование радоновых аномалий в зонах некоторых разломов, показаны возможности использования радонометрических измерений при прогнозировании нефтяных залежей, выявлении трубок взрыва. Собраны значительные данные по концентрациям радона в жилых помещениях ряда районов Гродненской, Могилевской и Гомельской областей, которые свидетельствуют, что нередко (от 5 до 15%, единично до 33%) в зданиях объемная активность радона превышает 200 Бк/м³.

Однако несмотря на достаточно большой объем проводимых работ, до сих пор в регионе не создана карта радоновых аномалий в грунтах, не проведено районирование территории страны по этому признаку. Для решения этих проблем в Институте природопользования НАН Беларуси в 2013–2015 гг. выполнялись исследования в рамках задания 1.6.7 «Разработать и внедрить схему районирования территории Беларуси по распределению радоновых аномалий в почвенном воздухе, методические рекомендации по использованию радонометрических данных для решения геологических и геоэкологических задач» Государственной научно-технической программы «Разработка и освоение инновационных технологий рационального использования природных ресурсов и повышения качества окружающей среды». Радоновой проблематике также были посвящены отдельные разделы следующих проектов Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований: X10–022 «Выявить и проанализировать геохимические особенности четвертичных отложений Беларуси, влияющие на геоэкологическую обстановку» (2010–2012 гг.); X13–020 «Разработать критерии и выделить на территории Беларуси геоактивные зоны земной коры и оценить их экологическую опасность» (2013–2015 гг.); X15УК/А–009 «Системный анализ природных и природно-антропогенных опасностей

и рисков на территории Украины и Беларуси» (2015–2017 гг.). Материалы, полученные при выполнении перечисленных проектов, а также опубликованные данные некоторых других специалистов и послужили основой для подготовки настоящей монографии. Целью этой работы является исследование влияния состава геологических комплексов, под которыми понимаются четвертичные отложения, коренные породы чехла и фундамента, зон разрывных нарушений на формирование повышенных концентраций радона в почвенном воздухе, проведение районирования территории Беларуси по распределению радоновых аномалий и радоновой опасности грунтов, разработка рекомендаций по использованию радонометрических данных для решения геологических задач и минимизации возможного неблагоприятного воздействия радоновых аномалий на геоэкологическую обстановку.

Для достижения поставленной цели были решены следующие основные задачи:

- сбор и обобщение имеющихся литературных данных по концентрациям радона в почвенном воздухе, выделение для исследований ключевых участков;

- проведение измерений концентраций радона в почвенном воздухе;

- оценка влияния на концентрацию радона в почвенном воздухе зон разрывных нарушений;

- оценка влияния на концентрацию радона в почвенном воздухе различных генетических типов четвертичных отложений;

- выявление радонопродуцирующего потенциала различных типов пород платформенного чехла и фундамента;

- построение схем активных разломов, радоновых аномалий и районирования территории Беларуси по степени радоновой опасности;

- разработка мероприятий по минимизации возможного влияния выявленных радоновых аномалий на геоэкологическую обстановку;

- обоснование предложений по радонометрическим исследованиям при геологоразведочных работах.

Научная значимость проведенных работ заключается во впервые выполненной оценке роли особенностей геологического строения (состав и условия залегания пород, отложений, разрывные нарушения) в формировании радоновых аномалий, районировании на этой основе территории, обосновании мероприятий по ограничению возможного неблагоприятного воздействия повышенных концентраций радона на геоэкологическую обстановку. Предлагаемый комплексный подход к выделению аномалий и районированию не имеет аналогов, так как на составленных по другим регионам картам в основу положены данные по породам, залегающим в непосредственной близости к земной поверхности. В предлагаемой же работе суммированы материалы по породам фундамента, чехла, толще четвертичных отложений, а также активности разрывных нарушений.

Практическая значимость проведенных исследований и разработанных рекомендаций заключается в возможности проведения более обоснованных

оценок степени активности разрывных нарушений, повышении достоверности прогнозов глубинного строения территории, минимизации неблагоприятных последствий проявления радоновых аномалий, снижении затрат на проведение радонометрических исследований.

Авторы глубоко признательны коллегам из Геофизической экспедиции ГП «НПЦ по геологии» (А. В. Гаврилову, А. П. Иваненко, С. М. Плюснину и др.), которые на разных этапах принимали активное участие в выполняемых в Институте природопользования работах, были соавторами некоторых из перечисленных выше проектов и отдельных публикаций. Любезно предоставленные ими материалы частично использованы и в настоящей книге. Благодарность выражается также нашим коллегам А. С. Глазу, А. Г. Лапцевич, Л. А. Нечипоренко, А. А. Толкачковой за помощь в сборе фактического материала и участие в обсуждении отдельных аспектов выполненных исследований. Необходимо отметить и неоценимую помощь в подготовке книги к изданию С. В. Ракеть, которая выполнила все оформительские работы.

Определение объемной активности радона (ОАР) проводили главным образом в процессе полевых исследований по профилям на ключевых участках и в лабораторных условиях по образцам покровных отложений, пород платформенного чехла и фундамента, которые были отобраны из шурфов, закопушек, стенок карьеров и в кернохранилищах.

Измерения концентраций газа выполняли тремя методами. По первому из них использовался прибор «Радон–М», имеющий метрологическое обеспечение. Применялась методика с отбором проб воздуха в шпурах с перекрытием. Шпур подготавливался вручную на глубину до 0,6–0,8 м. В шпур помещался зонд (воздухоотборник). Обращалось особое внимание на то, чтобы при отборе пробы не было подсоса воздуха в прибор из атмосферы, поэтому земля вокруг стенок зонда уплотнялась.

Измерение концентраций радона выполнялось в следующей последовательности: зонд устанавливался в шпур, устье которого хорошо герметизировалось, исключалось попадание конца зонда в воду; резиновым шлангом зонд соединялся с измерительным пультом радонметра; определялся фон камеры; воздух из зонда переводился в измерительную камеру насосом; краны камеры закрывались и примерно через 15–20 с после окончания прокачивания воздуха фиксировался сцинтилляционный эффект в течение 2 мин; после регистрации ионизационного тока эманация выкачивалась из камеры насосом; прибор переносился в другую точку.

Непременным условием доброкачественного выполнения измерений являлась систематическая проверка в течение дня вакуума в системе «зонд – осушитель – камера – насос» и свободного прохождения почвенного воздуха из шпура в камеру. Результаты измерений, время, погодные и ландшафтные условия измерений заносились в журнал.

Определения ОАР осуществлялись также (выборочно) с помощью радиометра радона РРА–01М–03 и приборного устройства ПОУ–04. Эти измерения выполнялись в соответствии с утвержденными методическими рекомендациями [15, 16]. Суть измерений заключалась в отборе проб почвенного воздуха в пробоотборник, перемещении пробы из ПОУ–04 в измерительную камеру РРА и измерение в камере РРА. Порядок работ следующий: бурилась скважина глубиной 0,7–1,0 м диаметром 5 см; в скважину опускался шпур с пробоот-

борником; устье скважины засыпалось землей и ветошью для предотвращения поступления атмосферного воздуха; время экспозиции пробоотборника около 12 ч; определялась фоновая активность радона в камере РРА; извлекался из скважины пробоотборник, производилось перемешивание воздуха между ПОУ–04 и РРА и осуществлялись измерения объемной активности (до 5 раз); затем с учетом среднего значения измерений фоновой активности камеры РРА, времени измерений и постоянного распада радона определялась объемная активность газа в почвенном воздухе.

Массовые измерения ОАР по профилям выполнялись также с помощью портативного радиометра радона РРА–01–М–01 «Альфарад» в режиме «Air 1», согласно руководству по его эксплуатации. В этом режиме осуществлялись: 3-минутный отбор пробы почвенного воздуха с помощью встроенной воздуходувки, последующее автоматическое измерение ОАР в течение 20 мин, обработка полученных результатов и вывод их на монитор. По окончании измерения в течение 20 мин измерительная камера радиометра радона очищается от остатков эманации предыдущей пробы до уровня < 20 Бк/м³ в режиме «Pump» и осуществляется переход к следующему пункту.

Контроль качества работ проводился повторными измерениями концентрации эманации на всех точках вторым прибором. При этом пробы отбирались из второго зонда, который забивался на расстояние не менее 2 м от основного. Стопроцентный контроль необходим для повышения достоверности наблюдений и позволяет определить реальную картину, объективно отражающую концентрацию радона в почвенном воздухе. При невозможности проводить измерения на глубине 0,7–1,0 м, ввиду высокого уровня стояния грунтовых вод, тяжелых почв и т. д., работы выполнялись на меньших глубинах путем вытаскивания зонда вверх до получения устойчивого потока почвенного газа.

Наиболее оригинальной была методика, разработанная М. И. Автушко с соавторами [17, 18] и основанная на оценке уровней концентрации радона в грунтах с использованием гамма-спектрального комплекса, состоящего из анализатора импульсов «Canberra-Packard Series 10⁺» и сцинтилляционного детектора гамма-излучения «Silena».

Суммарная концентрация радона ($Rn_{\text{сум}}$) в грунтовом массиве включает в качестве составных частей величину $Rn_{\text{гр}}$ (радон грунтовой) и то количество радона, которое приходит в приповерхностные грунты из нижележащих пород ($Rn_{\text{гл}}$). Величина $Rn_{\text{сум}}$ оценивается по результатам полевых измерений плотности потока гамма-квантов (имп/с) от радионуклида Bi-214 – дочернего продукта распада (ДПР) радона, и затем пересчитывается на удельную активность. Одновременно с измерениями концентраций Bi-214, определялось содержание K-40 (для последующей калибровки полученных данных).

Количество местного радона определялось по результатам измерения концентрации Bi-214 в пробе грунта в лабораторных условиях, и характеризует только ту часть радона, которая формируется непосредственно в грунтовом

массиве за счет радонопродуцирующей способности. Смысл этой оценки вытекает из того, что природный радионуклид радий (Ra-226), предшествующий радону в радиоактивном ряду уран–радий, содержится в грунте практически только в составе минеральных частиц. При распаде радия-226 образуется альфа-частица и ядро Rn-222 (ядро отдачи), энергия которого в этот момент составляет ~100 кЭв. Пробег ядра отдачи в твердом веществе составляет $\sim 10^{-6} \div 10^{-7}$ см, что примерно соответствует 10÷100 размерам кристаллической ячейки минералов [19, 20]. Из этого следует, что лишь часть новообразованных ядер радона может вылететь за пределы минеральной частицы в газовую или водную среду порового пространства, т. е. оказаться в свободном (физически несвязанном) состоянии. Таким образом, величина $Rn_{гр}$ характеризует содержание радона не только в поровом пространстве грунта, в котором радон находится в свободном состоянии и способен мигрировать, но также и в грунтовой субстрате (твердом веществе грунта), где радон содержится в физически связанном состоянии.

Оценить соотношение этих величин довольно трудно. После измерений ОАР различными методами в одних и тех же пунктах авторы пришли к заключению, что концентрации радона, которые определяются по измерению потока гамма-квантов от дочерних продуктов его распада, для получения значений объемной активности в поровом воздухе необходимо уменьшить с учетом значений пористости отложений (пород). Эта величина составляет, по данным [21–23], в основном 20–70%. После проведения таких уточнений получались значения ОАР, которые вполне сопоставимы с результатами непосредственных измерений радиометрами.

Количество (удельная активность) радона, поступающего в приповерхностные грунты из более глубоких слоев геологического разреза ($Rn_{гл}$), рассчитывалась следующим образом:

$$Rn_{гл} = Rn_{сум} - Rn_{гр}.$$

Важно отметить, что все количество радона, характеризующее величину $Rn_{гл}$, содержится в грунтах только в миграционноспособном свободном состоянии: в зоне аэрации – в составе поровой газовой смеси, а при высокой водонасыщенности грунтов – в растворенном виде в грунтовых водах. По методике М. И. Автушко с соавторами, определялась удельная активность радона, которая затем с использованием данных по плотности отложений пересчитывалась в объемную активность.

Измерения объемной (удельной) активности радона выполнялись на территории 9 ключевых участков по 14 профилям вкост разломов с интервалом от 0,1–0,2 км до 1,5–2,0 км и по отдельным пробам, отобранными из шурфов, обнажений и в кернохранилищах. Всего исследовано 410 проб на содержание «местного» (грунтового) радона и выполнено около 600 определений общей ОАР в поровом воздухе в полевых условиях.

После аналитических работ полученные результаты выносились на карты четвертичных отложений [24], коренных пород [25] и фундамента [26].

Затем строились соответствующие схемы распределения ОАР. Их построение проводилось по одной и той же методике. Для примера рассмотрим детальнее способ составления «Схемы объемной активности «местного» (грунтового) радона в почвенном (поровом) воздухе четвертичных (покровных) отложений Беларуси. Для создания этой схемы были рассчитаны обобщенные значения концентраций газа по типам отложений с учетом всех данных, полученных на 9 ключевых участках, по отдельным пробам и содержащихся в опубликованных материалах [27–33].

При картировании «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе различных генетических типов отложений было принято решение не ограничиваться показом только какой-либо одной величины (среднее, максимум, пределы колебаний и т. д.), так как состав отложений, от которого в определенной степени зависит концентрация радона, меняется довольно часто. Поэтому в качестве картируемого показателя использована формула, включающая среднее значение, которое ставится перед дробью, числитель, который отражает наиболее возможный интервал изменения концентраций газа, а знаменатель – установленные максимальные значения. Картирование по предложенной формуле позволяет делать более объективные оценки возможной относительной радоноопасности тех или иных территорий.

При значительных площадях распространения определенных типов отложений картирование ОАР не вызывает сложностей, однако покровные отложения разного генезиса и состава могут неоднократно сменять друг друга на небольших расстояниях (рис. 1). При нанесении на схему характеристик таких территорий в сравнительном мелком масштабе приходилось проводить дополнительные расчеты усредненных показателей объемной активности газа с учетом площади, занимаемой определенными типами отложений, и параметров концентраций радона.

Для построения схемы объемной активности «местного» (грунтового) радона в почвенном воздухе покровных отложений все значения этого показателя наносились на контуры распространения генетических типов отложений и участков их сложного сочетания, которые были выделены в основном по карте [24]. Подобные построения показали, что в ряде случаев рядом расположенные контуры мало отличаются друг от друга, особенно с учетом допустимой ошибки лабораторных измерений 5–10%. Поэтому для составления окончательной схемы объемной активности «местного» (грунтового) радона используемые характеристики были сгруппированы, что позволило выделить ограниченное число типов территорий, которые отличаются по ОАР.

Распределение этих типов территорий и показывалось на соответствующей схеме. Для того чтобы перейти от схемы распределения «местного» (грунтового) радона к общей схеме объемной активности рассматриваемого газа в покровных отложениях, использовались определения этого показателя в полевых условиях, а также значения «местного» (грунтового) радона увеличивались с учетом ранее установленных соотношений этих величин [34, 35] в среднем на 55%. Кроме того, с использованием измерений на ключевых участках, расположенных вкрест

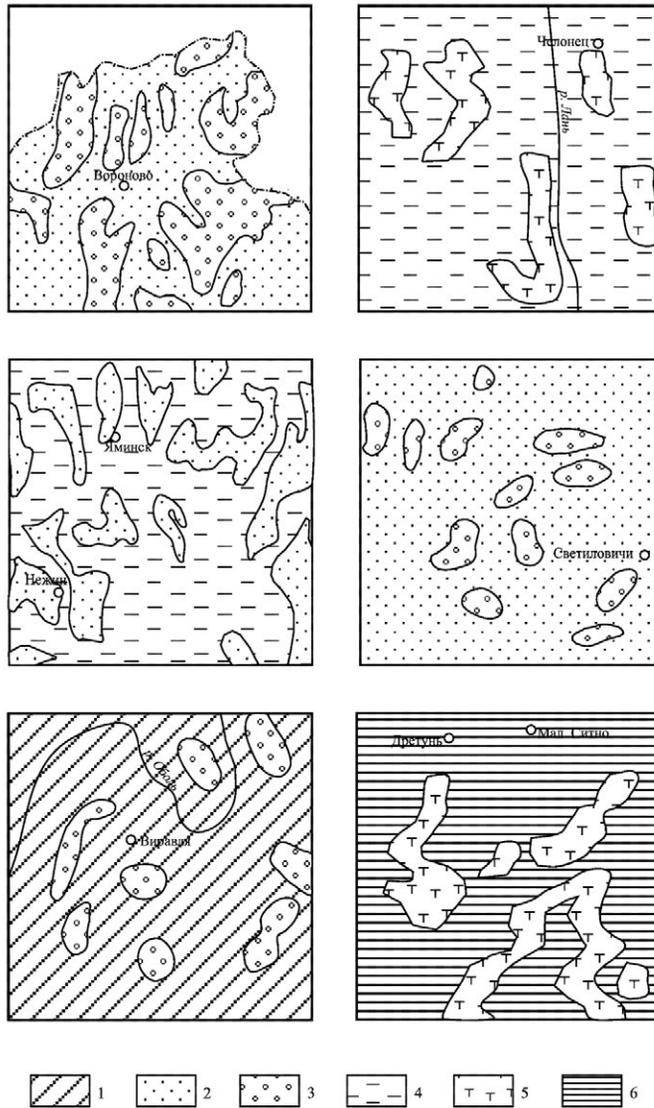


Рис. 1. Схема участков, на которых распространены разные типы покровных отложений: 1 – моренные; 2 – флювиогляциальные; 3 – краевые ледниковые; 4 – озерно-аллювиальные; 5 – болотные; 6 – озерно-ледниковые

простираения разного типа разрывных нарушений, установлено, что в зонах этих нарушений сформировались линейные аномалии ОАР в покровных отложениях, которые до 1,5 и более раз превышают фоновые величины. Эти линейные аномалии также наносились на общую схему.

После этого с учетом нормативов Инспекции Госатомнадзора Российской Федерации [36] оценивалась радоноопасность отдельных генетических типов

отложений и пород. К радонобезопасным относились отложения с ОАР менее 10 000 Бк/м³, к относительно радоноопасным – 10 000–50 000 Бк/м³ и к радоноопасным – более 50 000 Бк/м³.

После построения по изложенной методике схем распределения радона в покровных отложениях, коренных породах чехла и фундамента было проведено районирование территории региона по степени радоноопасности. Для этого сопоставлялись участки с различными уровнями концентрации газа на всех трех схемах, что позволило в конечном итоге выделить пять типов территории: потенциально радоноопасные, потенциально радоноопасные на отдельных площадях, потенциально радоноопасные на локальных участках, относительно радонобезопасные и радонобезопасные.

Использование термина «потенциально опасные» связано с тем, что в выделяемых при районировании значительных по площади таксонах встречаются разные фации и типы отложений, картирование которых в регионе выполнено, с одной стороны, с недостаточной степенью детальности, а с другой – об опасности той или иной местности имеет смысл говорить только тогда, когда она освоена, осваивается или будет осваиваться. При этом следует иметь в виду, что на потенциально опасных площадях существует различная степень благоприятности размещения хозяйственных и жилых объектов. Поэтому для выбора наиболее оптимальных мест строительства следует проводить дополнительные радиометрические исследования.

Анализ публикаций по радоновой проблематике [28–30, 34, 37, 38] свидетельствует, что на объемную активность газа (ОАР) в грунтах большое влияние оказывают разрывные нарушения, особенно проявляющие активность в четвертичное время. Именно поэтому при характеристике методики исследований авторы посчитали целесообразным, помимо характеристики использованных подходов к определению и картированию ОАР в отложениях и породах, специально рассмотреть вопрос о выделении активных разломов, построении схемы их распространения и уточнении влияния этих структур на поле радона в покровных отложениях.

Выделение разрывных структур, проявлявших активность в четвертичное время, проводилось путем сопоставления этих структур со строением четвертичной толщи и рельефа земной поверхности. Для этого использовались опубликованные карты кристаллического фундамента [26] и тектоническая [39], на которых показаны разного типа разломы, а также среднемасштабный (М 1:500 000) вариант схемы разрывных нарушений, любезно предоставленный Н. В. Аксаментовой, за что ей выражается искренняя признательность. Кроме того, анализировались «Геологическая карта дочетвертичных отложений ...» [40], «Геологическая карта четвертичных отложений ...» [41], «Геоморфологическая карта ...» [42], опубликованные данные по строению четвертичной толщи и рельефа Беларуси [43–45], а также оригинальные картографические материалы, построенные под руководством и при непосредственном участии авторов книги (карты рельефа ложа и мощностей четвертичных отложений, космо- и тополинеаментов, современных геологических процессов, коэффи-

циентов меандрирования и уклонов наиболее крупных рек, схемы распространения межледниковых и предледниковых отложений, многочисленные геологические разрезы четвертичной толщи, пересекающие территорию Беларуси в субмеридиональном и субширотном направлениях).

Разрывные нарушения, в зонах которых в раннеплейстоценовое время протекали активные геодинамические процессы, диагностировались по приведенным ниже особенностям строения кровли коренных пород, а также условиям залегания нижнеплейстоценовых и нижней части среднеплейстоценовых отложений:

резкому возрастанию в зонах разломов глубин залегания кровли дочетвертичных отложений, сопровождаемое формированием в понижениях аллювиальных, озерных и озерно-аллювиальных нижнеплейстоценовых и брестских отложений;

прямолинейным контурам поднятий и понижений в кровле дочетвертичных отложений, совпадающим с зонами разломов;

аномально высокому залеганию неогеновых отложений (с учетом особенностей строения перекрывающей четвертичной толщи);

заметному увеличению мощностей аллювиальных, озерных и озерно-аллювиальных отложений раннеплейстоценового и брестского времени, а также водно-ледниковых песков наревского возраста;

прямолинейному расположению выявленных участков распространения нижнеплейстоценовых и брестских отложений;

некоторым ложбинам ледникового выпахивания и размыва наревского возраста.

Для выявления разрывных нарушений, проявивших активность в средне-позднеплейстоценовое время, использованы следующие основные показатели:

локальные линейно вытянутые участки повышенных мощностей ледниковых комплексов, приуроченные к зонам разломов (или несколько смещенные по отношению к ним в дистальном направлении);

ложбины ледникового выпахивания и размыва;

линейно вытянутые комплексы краевого ледникового рельефа;

линейное расположение гряд и холмов, выступающих в комплексе с ледниковыми котловинами (эти комплексы известны под названием «мосары» – авторы термина Э. А. Левков, А. К. Карабанов);

приуроченность к зонам разрывных нарушений линейно расположенных гляциодислокаций;

дугообразное строение систем напорных параллельных гряд;

прямолинейные абразионные уступы в котловинах приледниковых озер;

линейные контуры распространения озерно-ледниковых отложений и озерных котловин.

Основными критериями для выделения линейных структур, активные геодинамические процессы в зонах которых происходили в позднеледниково-голоценовое время, послужили:

резкие изменения направления речных долин в пределах генетически однородных выровненных поверхностей;

изменения коэффициентов меандрирования рек при пересечении ими зон разломов;

формирование аномальных уклонов рек при пересечении разрывных структур;

прямолинейно вытянутые цепи эоловых гряд, холмов и линейные отрезки речных долин, сформировавшихся в голоцене;

линейные ограничения некоторых болотных массивов, площадей распространения аллювиальных, озерных, озерно-аллювиальных отложений и форм микрорельефа в их пределах;

проявление в зонах разломов современных карстовых процессов.

Обобщение полученных результатов позволило построить сводную схему разрывных нарушений, активных в четвертичное время (рис. 2).

В связи с тем что для геоэкологических оценок территории, по данным радонометрических исследований, определенное значение имеет не только положение тех или иных разрывных нарушений, но и общее их число на конкретной территории, была также построена схема плотности разрывных нарушений, где показана суммарная длина разломной сети (в км) на площади



Рис. 2. Схема разрывных нарушений, проявлявших активность в четвертичное время: разломы активные в позднелайстоцен-голоценовое (1), поздне-среднелайстоценовое (2) и ранне-плейстоценовое (3) время