

УДК 622.83:550.3

Далатказин Тимур Шавкатович,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией технологии
снижения риска катастроф при недропользовании,
Институт горного дела УрО РАН,
620075, г. Екатеринбург,
ул. Мамина-Сибиряка, 58,
e-mail: 9043846175@mail.ru

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО
РАЙОНИРОВАНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ
ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
РАДОНОМЕТРИИ***

Аннотация:

Представлены результаты аналитических исследований с целью совершенствования методики геодинамического районирования массива горных пород с использованием радонометрии. Методика основана на положении, что современная геодинамическая активность принимает участие в формировании поля радоновых эманаций в почвенном воздухе. Но кроме современной геодинамической активности на формирование распределения значений радоновых эманаций в почвенном воздухе влияет ряд других факторов, не связанных с современными движениями блоков, слагающих массив горных пород. Для определения только геодинамической составляющей формирования значений поля радоновых эманаций используется нормирование. На основании анализа опыта выполнения экспериментальных исследований по геодинамическому районированию массива горных пород с использованием радонометрии и научных публикаций были внесены изменения в методику геодинамического районирования в части изменения состава критериев подразделения исследуемой территории на участки с характерным, выдержанным фактором формирования поля радоновых эманаций, не связанных с современной геодинамической активностью. Установлено, что основным процессом, приводящим к увеличению интенсивности выделения радона горными породами, выступает физическое и химическое выветривание, приводящее к разрушению первичных минералов, слагающих магматические и метаморфические породы, и постепенному преобразованию их в гипергенные тонкодисперсные высокопористые образования. В то же время исходя из многофакторности формирования значений коэффициента диффузии в горных породах, при выполнении геодинамического районирования с использованием радонометрии, выполнять исследования по дифференцированию исследуемого участка по данному критерию излишне трудозатратно и поэтому нецелесообразно в рассматриваемой методике.

Ключевые слова: массив горных пород, тектонические нарушения, радонометрия, современная геодинамическая активность, тектонические нарушения, гранулометрический состав.

DOI: 10.25635/2313-1586.2023.01.064

Dalatkazim Timur Sh.
Candidate of Technical Sciences,
Head of the Laboratory of technologies f
or reducing the risk of catastrophes
in subsoil use,
Institute of Mining, Ural Branch of RAS,
620075 Ekaterinburg, 58 Mamina-Sibiriyaka Str.
e-mail: 9043846175@mail.ru

**METHODOLOGICAL PROBLEMS
OF GEODYNAMIC ZONING
OF A ROCK MASSIF BY USING
RADONOMETRY**

Abstract:

The article presents the results of analytical studies aimed at improving the methodology of geodynamic zoning of a rock mass with using radonometry. The methodology bases on the proposition that current geodynamic activity takes part in the formation of a field of radon emanations in the soil air. But in addition to current geodynamic activity, a number of other factors are involved in the formation of the distribution of the values of radon emanations in the soil air, which are not related to the modern movements of the blocks composing the rock mass. To determine only the geodynamic component of the formation of the values of the radon emanation field, normalization is used. Based on the analysis of the experience of performing experimental studies on geodynamic zoning of a rock mass using radonometry and of scientific publications, we determined changes in the methodology of geodynamic zoning in terms of modifying the criteria composition for dividing the studied territory into areas with a characteristic, sustained factor in the formation of a field of radon emanations, not related with current geodynamic activity. We established that the main process leading to an increase in the intensity of radon release by rocks is physical and chemical weathering, which leads to the destruction of primary minerals composing igneous and metamorphic rocks, and their gradual transformation into hypergenic finely dispersed highly porous formations. At the same time, based on the multifactorial nature of the formation of the values of the diffusion coefficient in rocks, when performing geodynamic zoning using radonometry, it is unnecessarily labor-intensive to carry out research on the differentiation of the studied area according to this criterion and therefore impractical in the methodology under consideration.

Key words: rock mass, tectonic disturbances, radonometry, current geodynamic activity, tectonic disturbances, granulometric composition.

* Исследования выполнены в рамках Госзадания №075-00412-22 ПП, тема 3 (2022-2024), (FUWE-2022-0005), рег. №1021062010531-8-1.5.1.

Введение

Современная геодинамическая активность массива горных пород играет одну из значимых ролей в причинах возникновения природно-техногенных катастроф на объектах недропользования. Для решения вопросов предотвращения таких катастроф требуется оценить уровень геодинамической активности тектонических нарушений, выявить геодинамически опасные зоны. Геодинамическая диагностика участков недропользования на всех стадиях – от изысканий до эксплуатации объектов – предусматривает несколько этапов, один из которых, направленный на детализацию тектонического строения массива горных пород, точное определение положения тектонических нарушений, их размеров, базируется на геофизических методах исследования. Для выявления тектонических нарушений, детализации тектонического строения, геодинамического районирования в качестве экспресс-метода используется радонометрия.

Радон в горных породах образуется за счет радиоактивного распада радия, этот процесс является постоянным и не зависит от внешних условий.

Поле радоновых эманаций в горном массиве формируется под влиянием геодинамических и не геодинамических факторов, определяемых вещественным составом горных пород и параметрами эманирования, зависящих от физического состояния материала и от среды, в которую выходит эманация.

Геодинамические факторы формирования аномалий радоновых эманаций надразломных зон:

- повышенная проницаемость горных пород, характерная для активных участков разломной зоны;
- влияние упругих колебаний, образующихся при геодинамических движениях, на горные породы;
- при геодинамических подвижках в трещинах формируются локальные, импульсные участки разряжения и увеличения давления, что способствует продвижению газов по порам и микротрещинам.

Таким образом, аномалии радоновых эманаций над участками тектонических разломов свидетельствуют о наличии современного геодинамического процесса, а величины радоновых эманаций непосредственно зависят от степени проявления современной геодинамической активности, независимо от глубины заложения разлома и мощности покровных отложений, что позволяет использовать результаты эманационной радоновой съемки для геодинамической диагностики горного массива.

Факторы формирования поля радоновых эманаций, не связанные с современной геодинамической активностью:

- *геохимический состав горных пород.* Наибольшая концентрация урана и радия в магматических горных породах наблюдается в кислых, а наименьшая – в ультраосновных породах [1];
- *метеорологические факторы.* К метеоусловиям, которые могут оказывать влияние на величину объемной активности радона (ОАР) в почвенном воздухе (Бк/м^3) относятся изменение атмосферного давления, сезонное промерзание грунта, выпадение атмосферных осадков, изменение температуры приземного слоя атмосферы [2]. Наибольшее влияние на концентрацию радона в почвенном воздухе оказывают два метеорологических фактора:
 - замерзание или сильное смачивание поверхности почвы. Увеличение влагонасыщенности почвы приводит к уменьшению выделения радона, так как поры заполняются водой, которая затрудняет его миграцию [3 – 5];
 - изменение атмосферного давления. Исследования, выполненные в Институте геофизики УрО РАН, показали, что при отборе проб при глубине шпура 0,8 – 1,0 м изменения атмосферного давления будут влиять на концентрацию радона в пробе отбираемого почвенного воздуха незначительно в пределах погрешности прибора [3];

– влияние лунно-солнечных приливов. Роль приливного фактора в эманации радона весьма значительна. Изменение проницаемости каналов миграции подземных газов в результате разуплотнения среды в приливной волне деформации приводит к характерным периодичностям и циклическостям [6 – 9];

– влияние гидрогеологических условий. Заполнение пор, капилляров, микротрещин водой значительно снижает эманирование радона из почвы, грунтов и горных пород. Изменение глубины уровня грунтовых вод оказывает влияние на процессы выделения и миграции радона.

Ранее при выполнении геодинамического районирования с использованием радонометрии анализировалось суммарное поле радоновых эманаций геодинамических и не геодинамических источников формирования [10]. Не геодинамические факторы формирования поля радоновых эманаций в почвенном воздухе приводили к искажению получаемой картины распределения современной геодинамической активности исследуемого массива горных пород.

Методика геодинамического районирования с использованием радонометрии, учитывающая не геодинамические факторы формирования поля эманаций, была разработана в ИГД УрО РАН и состоит в следующем:

1. На изучаемой площади выполняются измерения объемной активности радона ($\text{Бк}/\text{м}^3$) в почвенном воздухе радиометрами альфа-активных газов, например, РГА-500 по профильным линиям из шпуров глубиной 0,8 – 1,0 м.

2. Одновременно с измерением объемной активности радона в почвенном воздухе выполняются исследования для дифференциации изучаемой площади на участки по следующим характеристикам:

- диффузионным свойствам покровных отложений;
- вещественному составу горных пород;
- положению уровня грунтовых вод;
- влагонасыщенности почвы по площади.

3. На этапе камеральной обработки с целью определения геодинамической составляющей формирования поля радона выполняется нормирование значений объемной активности радона в почвенном воздухе [11, 12]. Для этого полученные в результате измерений значения объемной активности радона группируются по принадлежности местоположения точки измерения к однотипным участкам по вышеперечисленным характеристикам. Кроме того, для устранения влияния лунно-солнечных приливов значения группируются по времени, если промежуток времени между сериями измерений более 4-х часов [13].

Далее выполняется определение нормированных значений объемной активности радона для каждой точки измерения группы:

$$N_i = Q_i / Q_{\text{ср. группы}},$$

где N_i – нормированная объемная активность радона точки измерения i , безразмерная величина;

Q_i – значение объемной активности радона в почвенном воздухе точки измерения на профильной линии, $\text{Бк}/\text{м}^3$;

$Q_{\text{ср. группы}}$ – среднеарифметическое значение объемной активности радона в почвенном воздухе группы, $\text{Бк}/\text{м}^3$.

4. Составляется карта распределения нормированных значений объемной активности радона в почвенном воздухе изучаемой территории, на основе которой осуществляется ее геодинамическое районирование [15].

Опыт практического применения методики геодинамического районирования с использованием радонометрии показал необходимость изменения набора критериев для дифференциации территории исследований по не геодинамическим факторам.

Возможность использования критерия по диффузным свойствам для дифференциации покровных отложений определяется по литературным источникам, однако при выполнении геодинамического районирования не используется ввиду неоправданной трудоемкости определения.

Коэффициент диффузии D численно равен массе вещества, проникающего через площадь 1 см^2 за 1 с , при градиенте концентрации, равном 1 г/см^4 . Размерность D - $\text{см}^2/\text{с}$. Величина коэффициента диффузии зависит от целого ряда факторов, главными из которых являются пористость и проницаемость породы, ее влажность, структура и температурные условия, в которых происходит диффузия эманации. Проницаемость зависит от структуры пор и от их размера. Коэффициент D с уменьшением диаметра пор снижается. Именно этим объясняется тот факт, что в глинах с пористостью $40 - 50 \%$ диффузия эманации проявляется меньше, чем в песках с более низкой пористостью. При увеличении влажности породы коэффициент эманирования в общем случае снижается. Это связано с уменьшением диффузии эманации. Изменение влажности породы w вызывает резкое изменение коэффициента диффузии. Так, увеличение w от 3 до 15% приводит к уменьшению коэффициента диффузии в рыхлых отложениях почти на целый порядок. Это связано с закупоркой пор в породе водой, которая характеризуется очень низким коэффициентом диффузии [5, 14].

По результатам анализа научных публикаций было установлено, что выделение радона, образующегося в твердом веществе в результате радиоактивных превращений, происходит, главным образом, за счет радиоактивной отдачи. Эффект радиоактивной отдачи – основное явление, вызывающее эманирование. Атомы радия (Ra_{226}), распадаясь, испускают альфа-частицу (ядро гелия), и превращаются в атомы радона (Rn_{222}), при этом некоторая часть энергии альфа-распада передается вновь образовавшимся атомам радона (энергия отдачи). За счет энергии отдачи вновь образованные атомы радона вырываются со своих прежних позиций, в том числе в кристаллической решетке, и движутся в среде. Такие движущиеся атомы называются атомами отдачи.

Эманирование во многом определяется размером и формой пор и частиц (зерен, кристаллов), слагающих вещество среды.

Основным процессом, приводящим к увеличению интенсивности выделения радона горными породами, выступает физическое и химическое выветривание, приводящее к разрушению первичных минералов, слагающих магматические и метаморфические породы, и постепенному преобразованию их в гипергенные тонкодисперсные высокопористые образования. Эти процессы приводят к высвобождению радия из кристаллической матрицы минералов и сорбции его на дисперсных продуктах выветривания, что повышает эманирующую способность образований зоны выветривания по сравнению с глубинными породами в соответствии размерам дисперсных частиц. В однородных по литологическому составу и генезису грунтах (обладающих, соответственно, близкими физическими свойствами), коэффициент эманирования распределяется однородно [16]. Из постоянства эманирования пород, обладающих однородным составом и генезисом (историей формирования), вытекает важное практическое следствие – возможность использования в методике геодинамического районирования горного массива с использованием радонометрии критерия группирования измеренных значений ОАР в почвенном воздухе по гранулометрическому составу дисперсных отложений места измерений.

Заключение

Таким образом, на основании опыта практического применения геодинамического районирования горного массива с использованием радонометрии в качестве экспресс-метода, определена необходимость внести коррективы в методику

его выполнения – критерий «по диффузионным свойствам покровных отложений» заменен на «по гранулометрическому составу покровных отложений».

Распределение дисперсных отложений по гранулометрическому составу в пределах территории исследований определяется по фондовым материалам или в процессе выполнения полевых исследований.

Список литературы

1. Войткевич Г.В., 1961. *Проблемы радиогеологии*. Москва: Госгеолтехиздат, 272 с.
2. Mentés G., Eper-Papai I., 2015. Investigation of temperature and barometric pressure variation effects on radon concentration in the Sopronbanfalva Geodynamic Observatory, Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 149, P. 64 – 72.
3. Уткин В.И., Юрков А.К., Козлова И.А., 2008. Выделение радона из горных пород при воздействии на них упругих колебаний различного диапазона. *Геофизика XXI столетия. Сборник трудов Девярых геофизических чтений им. В.В. Федьинского*. Тверь: ООО Изд-во «ГЕРС», С. 317 – 320.
4. Баранов В.И., 1955. *Радиометрия*. Москва: Изд-во АН СССР, 327 с.
5. Новиков Г.Ф., 1989. *Радиометрическая разведка: учебник для вузов*. Ленинград: Недра, 407 с.
6. Адушкин В.В., Спивак А.А., Харламов В.А., 2012. Влияние лунно-солнечного прилива на вариации геофизических полей на границе земная кора – атмосфера. *Физика земли*, № 2, С. 14 – 26.
7. Barberio M.D., Gori F., Barbieri M., Billi A., Devoti R., Doglioni C., Petitta M., Riguzzi F. and Rusi S., 2018. Diurnal and Semidiurnal Cyclicity of Radon (^{222}Rn) in Groundwater, Giardino Spring, Central Apennines, Italy. *Water*. Vol. 10(9), P. 1276.
8. Mentés G., 2018. Investigation of the relationship between rock strain and radon concentration in the tidal frequency-range. *Journal of Applied Geophysics*. Vol. 155., P. 232 – 236.
9. Groves-Kirkby, C.J., Denman, A.R., Crockett, R.G.M., Phillips, P.S., Gillmore, G.K., 2006. Identification of tidal and climatic influences within domestic radon time-series from Northamptonshire, UK. *Sci. Total Environ.* 367 (1):191 – 202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.11.019>.
10. Горбушина Л.В., Рябоштан Ю.С., 1975. Эманационный метод индикации геодинамических процессов при инженерно-геологических изысканиях. *Советская геология*, № 4, С. 48 – 50.
11. Давыдов Ю.Б., Талалай А.Г., Шинкарьок И.Е., 2018. *Комплексная интерпретация геофизических данных: учебное пособие*. Екатеринбург: УГГУ, 128 с.
12. Сон Зэчжан, Лобусев М.А., Дзянг Дженсюэ, 2017. Повышение эффективности прогнозирования содержания природного газа в континентальных сланцевых породах на примере бассейна Ордос. *Газовая промышленность*, № 6.
13. Козлова И.А., Юрков А.К., 2005. Методические вопросы измерения содержания радона-222 в почвенном воздухе при мониторинговых наблюдениях. *Уральский геофизический вестник*, № 7, С. 30 – 34.
14. Новиков Г.Ф., Капков Ю.Н., 1965. *Радиоактивные методы разведки*. Ленинград: Недра, 759 с.
15. Далатказин Т.Ш., 2015. Использование режимных наблюдений за полем радоновых эманаций в зоне техногенного воздействия при отработке южной залежи Песчанской группы месторождений. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*, № 2, С. 162 – 167.
16. Микляев П.С., 2015. *Научные основы оценки потенциальной радоноопасности платформенных территорий: дис. ... д-ра геолого-минералогических наук*. Москва, 307 с.

References

1. Vojtkевич G.V., 1961. Problemy radiogeologii [Problems of radiogeology]. Moscow: Gosgeoltekhizdat, 272 p.
2. Mentés G., Eper-Papai I., 2015. Investigation of temperature and barometric pressure variation effects on radon concentration in the Sopronbanfalva Geodynamic Observatory, Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 149, P. 64 – 72.
3. Utkin V.I., Yurkov A.K., Kozlova I.A., 2008. Vydelenie radona iz gornyh porod pri vozdeystvii na nih uprugih kolebanij razlichnogo diapazona [Release of radon from rocks when exposed to elastic vibrations of various ranges]. *Geofizika XXI stoletiya. Sbornik trudov Devyatyh geofizicheskikh chtenij im. V.V. Fedynskogo*. Tver': OOO Izd-vo «GERS», P. 317 – 320.
4. Baranov V.I., 1955. Radiometriya [Radiometry]. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 327 p.
5. Novikov G.F., 1989. Radiometricheskaya razvedka: uchebnik dlya vuzov [Radiometric exploration: a textbook for high schools]. Leningrad: Nedra, 407 p.
6. Adushkin V.V., Spivak A.A., Harlamov V.A., 2012. Vliyanie lunno-solnechnogo priliva na variacii geofizicheskikh polej na granice zemnaya kora – atmosfera [Influence of the lunar-solar tide on the variations of geophysical fields at the boundary of the earth's crust – atmosphere]. *Fizika zemli*, № 2, P. 14 – 26.
7. Barberio M.D., Gori F., Barbieri M., Billi A., Devoti R., Doglioni C., Petitta M., Riguzzi F. and Rusi S., 2018. Diurnal and Semidiurnal Cyclicity of Radon (222Rn) in Groundwater, Giardino Spring, Central Apennines, Italy. *Water*. Vol. 10(9), P. 1276.
8. Mentés G., 2018. Investigation of the relationship between rock strain and radon concentration in the tidal frequency-range. *Journal of Applied Geophysics*. Vol. 155, P. 232 - 236.
9. Groves-Kirkby, C.J., Denman, A.R., Crockett, R.G.M., Phillips, P.S., Gillmore, G.K., 2006. Identification of tidal and climatic influences within domestic radon time-series from Northamptonshire, UK. *Sci. Total Environ.* 367 (1):191 – 202. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.11.019>.
10. Gorbushina L.V., Ryaboshtan Yu.S., 1975. Jemanacionnyj metod indikacii geodinamicheskikh processov pri inzhenerno-geologicheskikh izyskaniyah [Emanation method of indication of geodynamic processes in engineering-geological surveys]. *Sovetskaya geologiya*, № 4, P. 48 – 50.
11. Davydov Yu.B., Talalaj A.G., Shinkaryuk I.E., 2018. Kompleksnaya interpretaciya geofizicheskikh dannyh: uchebnoe posobie [Complex interpretation of geophysical data: a textbook]. Ekaterinburg: UGGU, 128 p.
12. Son Zjeczhan, Lobusev M.A., Dzjang Dzhensjuje, 2017. Povyszenie jeffektivnosti prognozirovaniya soderzhaniya prirodnogo gaza v kontinental'nyh slancevyh porodah na primere bassejna Ordos [Improving the forecasting efficiency of the of natural gas content in continental shale rocks on the example of the Ordos basin]. *Gazovaya promyshlennost'*, № 6.
13. Kozlova I.A., Yurkov A.K., 2005. Metodicheskie voprosy izmereniya soderzhaniya radona-222 v pochvennom vozduhe pri monitoringovyh nablyudeniyah [Methodological issues of measuring radon-222 content in soil air during monitoring observations]. *Ural'skij geofizicheskij vestnik*, № 7, P. 30 – 34.
14. Novikov G.F., Kapkov Yu.N., 1965. Radioaktivnye metody razvedki [Radioactive methods of exploration]. Leningrad: Nedra, 759 p.
15. Dalatkazin T.Sh., 2015. Ispol'zovanie rezhimnyh nablyudenij za polem radonovyh jemanacij v zone tehnogennoho vozdeystviya pri otrabotke yuzhnoj zalezhi Peschanskoj grupy mestorozhdenij [Use of regime observations of the radon emanation field in the zone of technogenic impact during the development of the southern deposit of the Peschanskaya group of deposits]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal*, № 2, P. 162 – 167.
16. Mikliaev P.S., 2015. Nauchnye osnovy otsenki potentsial'noi radonoopasnosti platformennykh territorii: dis. ... d-ra geologo-mineralogicheskikh nauk [Scientific basis for assessing the potential radonic risk of platform territories: dis. ... doctor of Geological and Mineralogical Sciences]. Moscow, 307 p.