ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2022;(11):163-172
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 502/504; 622.831.33; 551.248.2 DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_163

ГАЗОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАНИЦ БЛОКОВ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ЮГЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

А.С. Батугин[1], Е.В. Хотченков[2], Д.В. Диваков[3], С.И. Емельянов[4], С.С. Шерматова[1]

[1] ГИ НИТУ «МИСиС», Москва, Россия, e-mail: as-bat@mail.ru
[2] Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия
[3] Российский университет дружбы народов, Москва, Россия
[4] ООО Центр комплексных исследований недр «Катари», Москва, Россия

Аннотация: Представлены результаты газохимических исследований одной из геодинамических зон, обнаруженных по результатам геодинамического районирования южной части Московской области в 2002 г. Воздействие геодинамических зон на окружающую среду и здоровье населения изучено еще недостаточно, в связи с чем актуальным является исследование отражения геодинамических зон (границ блоков) в газовых полях приземной атмосферы. В целях данного исследования в мае 2022 г. была проведена газохимическая съемка вдоль профиля длиной 7,5 км, проложенного от села Сотниково на север вкрест простирания геодинамической зоны. Предполагается, что выход глубинных газов на земную поверхность осуществляется более интенсивно в геодинамически активных зонах, как более высокопроницаемых участках земной коры. В основу экспериментальных исследований положена методика микрогеодинамического картирования, ранее разработанная и опробованная в области гидрогеологических и инженерно-геологических исследований. Интерпретация полученных результатов позволяет сделать вывод, что методы геодинамического районирования и микрогеодинамического картирования могут успешно дополнять друг друга при изучении вопросов геодинамической и экологической безопасности, а также миграции газов из земных недр на земную поверхность. Также делается вывод о возможности комбинирования методов при решении вопросов геодинамической и экологической безопасности территорий различного назначения.

Ключевые слова: миграция газов, геодинамическое районирование, микрогеодинамическое картирование, геодинамическая зона, газохимическая съемка, газовые поля, экологическая опасность, геодинамическая опасность, блоки земной коры, зонирование территории.

Благодарность: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-27-00728).

Для цитирования: *Батугин А. С., Хотченков Е. В., Диваков Д. В., Емельянов С. И., Шерматова С. С.* Газохимические исследования границ блоков земной коры на юге Московской области // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 11. – С. 163–172. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_163.

Gas chemistry research at boundaries of crust blocks in the south of Moscow Region

A.S. Batugin[1], E.V. Hotchenkov[2], D.V. Divakov[3], S.I. Emelyanov[4], S.S. Shermatova[1]

[1] Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia, e-mail: as-bat@mail.ru
[2] V.I. Vernadsky State Geological Museum of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
[3] Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia
[4] OOO «Katari Center for Integrated Subsoil Research», Moscow, Russia

© А.С. Батугин, Е.В. Хотченков, Д.В. Диваков, С.И. Емельянов, С.С. Шерматова. 2022.

Abstract: The article describes the gas chemistry research carried out in a geodynamic zone detected by the geodynamic zoning in the south of the Moscow Region in 2002. The understudied impact of geodynamic zones on the health and environment actualizes studies into reflections of geodynamic zones (block joints) in the near-surface atmospheric gas fields. To that effect, in May 2022, the gas chemistry survey was carried out along the route 1.5 km long from Sotnikovo settlement northward across the trend of the geodynamic zone. It is supposed that emission of deep-earth gases to ground surface is more intense in geodynamically active zones which are the highly permeable areas in the earth crust. The experimental research used the micro geodynamic mapping procedure earlier developed and approved in the course of hydrogeological and geological engineering. The interpretation of the results allows drawing a conclusion that that the methods of geodynamic zoning and micro geodynamic mapping can effectively complement each other in the environmental and geodynamic safety analyses and in studying deep-earth gas migration to ground surface. Moreover, it is possible to combine these methods in handling of the environmental and geodynamic safety issues in different-purpose areas.

Key words: gas migration, geodynamic zoning, micro geodynamic mapping, geodynamic zone, gas chemistry survey, gas field, ecological hazard, geodynamic hazard, earth crust blocks, territorial zoning.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Science Foundation, Project No. 22-27-00728.

For citation: Batugin A. S., Hotchenkov E. V., Divakov D. V., Emelyanov S. I., Shermatova S. S. Gas chemistry research at boundaries of crust blocks in the south of Moscow Region. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(11):163-172. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_11_0_163.

Введение

Выход газов из земных недр на поверхность рассматривается как опасный экологический и аэрологический фактор в углепромышленных районах [1, 2], фактор повышенной радоновой опасности в населенных пунктах [3, 4], также как фактор геодинамической активности разломов земной коры [5, 6]. Газовые аномалии на поверхности, связанные с высокопроницаемыми зонами земной коры, рассматриваются как одна из причин их геопатогенного воздействия [7]. Исследованиями по геодинамическому районированию [8] геодинамически активные зоны земной коры выделены, в том числе, для Московской области [9]. Отмечена приуроченность аварийных объектов к ряду границ блоков земной коры (геодинамически активным зонам), но в целом положение, признаки активности, воздействие на окружающую среду выделенных границ блоков изучено мало. С другой стороны, в Российском университете дружбы народов разработан и нашел применение в области гидрогеологии, инженерной и нефтяной геологии метод микрогеодинамического картирования (МГДК) [10]. Метод позволяет картировать в трехмерном пространстве закрытые геологические структуры (складки, разломы) по фиксируемым в почвенном воздухе аномалиям различных газов, в том числе радиоактивных — радона и торона. Этот метод хорошо себя зарекомендовал и отличается низкой стоимостью работ, высокой оперативностью получения данных, более высокой информативностью, например, по отношению к сейсморазведке.

Возникает задача в методической увязке упомянутых двух методов и оцен-

ки возможностей их совместного применения не только на объектах освоения недр, но и других землях различного назначения. В данной работе представлены результаты газохимических исследований одной из геодинамических зон, обнаруженных по результатам геодинамического районирования южной части Московской области в 2002 г.

Метод МГДК

Метод основан на регистрации радиоактивных (радон, торон) и нерадиоактивных (углекислый газ, метан) газов в почвенном воздухе, как наиболее чувствительный и технологичный полевой метод выявления ослабленных зон горных пород, зон повышенной трещиноватости и разрывных нарушений. По способу получения исходной информации он несколько похож на атмогеохимический метод [11], но по своей сути и решаемым задачам является более информативным. Теоретически метод базируется на представлениях о резонансно-волновой активности горных пород, обусловленной ответной реакцией геологической среды на динамическое воздействие упругих волн от таких природных источников, как далекие землетрясения, автоколебательные движения земной коры, криповые, приливные, температурные, гидродинамические перемещения геоблоков.

Радиоактивные благородные газы радон (Rn^{222}) и торон (Tn^{220}) образуются, соответственно, в цепочках распада урана (U^{238}) и тория (Th^{232}), которые в малых концентрациях присутствуют во всех типах пород. В осадочных породах уран содержится, в основном, в глинистых фракциях и находится в порах в сорбированном состоянии на органическом веществе и на частицах пород. Торий приурочен, в основном, к песчаным фракциям и находится внутри кристаллических решеток минералов. Радон и торон распадаются, испуская α-частицы; периоды полураспада равны, соответственно, 3,825 сут и 54,5 с. Относительно короткие периоды полураспада радона и торона указывают на то, что эти газы физически не могут диффундировать с больших глубин, а образуются непосредственно в месте отбора проб почвенного воздуха. Эти факторы и позволяют использовать их как надежные индикаторы для регистрации геохимических и геофизических полей. Образование этих газов сопровождается их эманированием в поры и трещины пород. Значение коэффициента эманирования изменяется от 0,01 для монолитных до 0,9 — для рыхлых дисперсных пород. В отличие от радиоактивных газов, углекислый газ, метан, водород и гелий образуются, в основном, за счет различных глубинных физико-химических процессов и их появление на поверхности свидетельствует о наличии «открытых» (ненагруженных) разломов и трещин, по которым эти газы мигрируют к дневной поверхности с глубины.

Измерение содержания в почвенном воздухе газов производится на исследуемом участке по сети профилей, длина которых в 1,5 — 2 раза больше планируемой глубины прогноза, а расстояние между ними выбрано в соответствии с масштабом съемки. Шаг между точками измерений (пикетами) на профилях выбирается в соответствии с детальностью исследований и решаемыми задачами и составляет 5 — 50 м. На пикетах пробивается отверстие (шпур) глубиной 0,3 — 0,5 м, из которого отбирается анализируемый почвенный воздух. Анализ выполняется модернизированными эманометром Радон-2 (содержание радона и торона) и газоанализатором ШИ-11 (содержание углекислого газа и метана). Данные полевых исследований обрабатываются пакетом собственных оригинальных и типовых программ. Для пост-

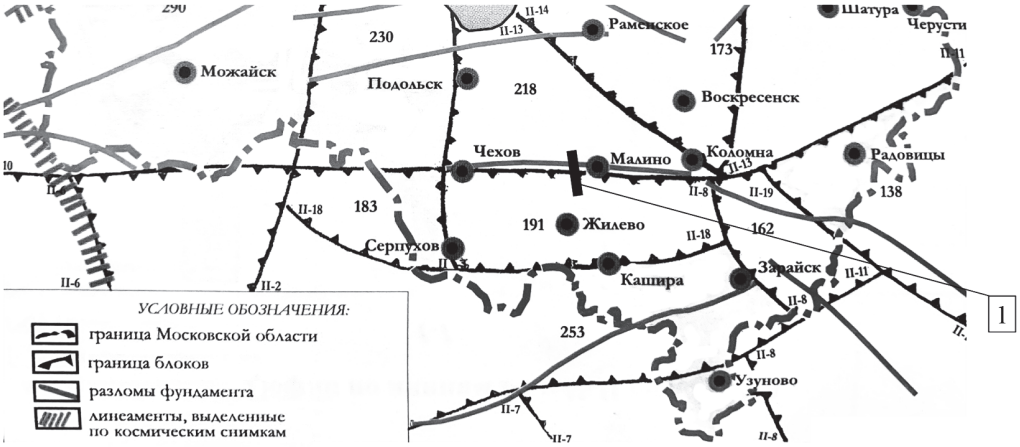

Рис. 1. Профиль газохимической съемки (1) на схеме блоков Московской области II ранга из работы [9]
Fig. 1. Profile of the gas-chemical survey (1) on the scheme of the Moscow region blocks of rank II from work [9]

роения карт используются как исходные значения содержания радона, торона и углекислого газа, так и их нормированные значения относительно фона, полученные в процессе обработки первичных данных. Анализ планового распределения аномалий позволяет сделать выводы о простирании основных структур, наличии тектонических нарушений, блоковом строении участка. В настоящем исследовании был заложен один профиль длиной 7,5 км вкрест простирания одной из границ блоков II ранга II-10 (по классификации из [8]) на юге Московской области, рис. 1.

Район исследования

Территория Московской области находится в Центральной части Русской плиты. Из структур кристаллического фундамента здесь выделяют Подмосковный авлакоген Московской впадины и примыкающие к нему с юга и юго-востока структуры: Пачелмский авлакоген, крыло Воронежского кристаллического массива, Токмовский свод. Наиболее четко на карте геодинамического районирования отражаются субширотные разломы Подмосковного авлакогена и северо-западного замыкания Пачелмского авлакогена (рис. 2) [9]. Так, граница блоков II-10, проходящая по линии Коломна-Малино-Чехов и далее на запад, фиксируемая в рельефе района исследований руслом реки Городенка, соответствует выявленному геофизическими работами пограничному разлому Подмосковного авлакогена субширотного простирания. Выстраивающиеся в одну линию фрагменты разломов II-19, II-13 соответствуют продольными разломам Пачелмского авлакогена. Также по данным работы [9] границы блоков II-10 и II-18 оконтуривают аномалию отрицательных значений вертикальной составляющей аномального магнитного поля (*Z*), при этом изолинии *Z* вытянуты вдоль указанных границ.

В осадочном чехле в пределах Московской области выделяется Московская синеклиза, простирающаяся более чем на 1000 км в северо-восточном направлении через центральную часть Русской плиты. Синеклиза сложена комплексом осадочных образований различного возраста (от декомбрийских до четвертичных). В пределах синеклизы тектонисты описывают в основном пликативные структуры, образовавшиеся при дифференцированном движении блоков фундамента. В работе [9] приводятся данные, что блоки II ранга отличаются и

по геологическому строению осадочного чехла, что находит отражение на геологической карте района. На составленной в 1978 г. коллективом авторов неотектонической карте Московской и прилегающих областей отражение имеющиеся к тому времени результаты исследований геологов, геоморфологов, в том числе результаты дешифрирования аэрокосмофотоматериалов. По этим данным разлом II-10 на большей части совпадает с границами неотектонических структур I, II и III порядков, разделяет области с различным направлением неоген-четвертичных движений.

Таким образом, можно отметить, что граница блоков II ранга субширотной ориентировки коррелирует с разломом фундамента, находит отражение в геофизических полях и неотектонических структурах земной коры.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2, *а*, *б* показан профиль (*а*) и результаты газохимической съемки (*б*). Визуально по распределению CO_2, C_xH_y в районе пикета 80 прослеживается аномальное поведение содержание газов в воздухе. По данным измерения концентрации ртути условно выделяется две зоны с различными значениями концентрации Hg с границей между ними в районе пикетов 70 — 80, на участке, который расположен на правом берегу р. Городенки, в зоне влияния границы II-10. Под зоной влияния разлома обычно понимается область деструкции, связанная с формированием разлома и движениями по нему. В ее пределах горные породы подвергаются механическим (дробление, брекчирование, рассланцевание, формирование разрывов оперения) и реологическим (изменение физических свойств по глу-

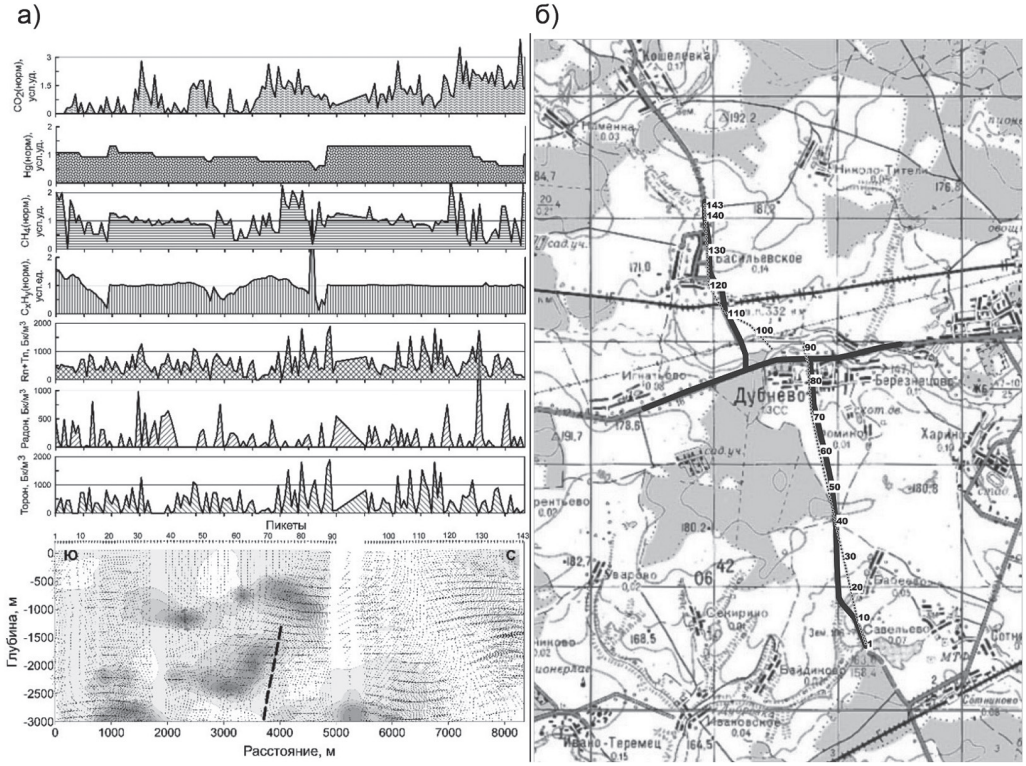

Рис. 2. Профиль газовой съемки и полученные результаты
Fig. 2. Profile of the gas survey and the results obtained

бине или в связи с длительностью развития разлома), петрографическим (метаморфизм разных стадий), структурным (сгущение разрывов оперения, приразломная складчатость, будинаж) изменениям [12]. На рис. 2, *а* показаны также независимые результаты интерпретации данных газохимической съемки, по которым в районе пикетов 70 — 90 намечается проницаемая зона (тектоническое нарушение).

Таким образом, первые результаты комбинирования метода геодинамического районирования и метода микрогеодинамического картирования выглядят обнадеживающе и открывают перспективу их дальнейшего совместного использования.

Московская область занимает среди районов России особое место по уровню концентрации населения, промышленности, городов, особенностям производственной и территориальной структуры хозяйства, здесь идет интенсивное нарастание использования природных ресурсов, особенно в землепользовании. Геодинамические зоны как зоны повышенной проницаемости и обводненности порождают анизотропию в поле свойств геологической среды, влияющих на возникновение, размещение источников загрязнения и миграцию загрязняющих веществ, как природных, так и антропогенных. По исследованиям в России [4], в Китае [13], в других странах [3] в их пределах формируются эндогенные и экзогенные аномалии элементов и соединений, оказывающих вредное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, возникают участки повышенной геомеханической и геодинамической опасности [14], что необходимо учитывать при функциональном и экологическом зонировании территорий.

Не менее актуальными такие исследования могут быть в шахтерских регионах, где остро стоит вопрос о снижении эмиссии шахтных газов в атмосферу [15, 16], а также в местах размещения высокотоксичных отходов [17]. Как известно, вопросы геодинамического районирования нашли отражение в инструктивных документах (Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных работ при отработке угольных месторождений. Зарегистрировано в Минюсте РФ 30.12.2020 № 61949), признается необходимость таких исследований для повышения эффективности дегазации угольных пластов [18], геодинамическая опасность рассматривается и изучается как составная часть экологической опасности. Геодинамическая опасность тесно связана с производственными рисками [19, 20], другими видами опасностей [21, 22]. Изучение и интерпретация газохимических аномалий может быть полезна в оценке геодинамической опасности, особенно в тех регионах, где горные удары [23, 24] и техногенная сейсмичность [25] представляют собой реальную угрозу для окружающей среды и техносферы.

Заключение

Первый опыт комбинирования метода геодинамического районирования и метода микрогеодинамического картирования, полученный на примере исследования отражения в газовых полях границы блоков земной коры на юге Московской области показывает, что методы могут успешно дополнять друг друга. Аномалии значений концентраций почвенных газов на газохимическом профиле, заложенном вкрест простирания границы двух крупных блоков земной коры широтного простирания, позволяют наметить положение проницаемой зоны, пространственно связанной с границей блоков земной коры. Можно сделать вывод, что методы могут успешно дополнять друг друга и использоваться совместно при решении вопросов гео-

динамической и экологической безопасности территорий различного назначения и изучения миграции газов из земных недр на земную поверхность.

Авторы выражают признательность за ценные советы и консультации при подготовке публикации к.г.-м.н. Дивакову В.И.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Василенко Т. А., Волошина Н. И., Кольчик И. Е., Молодецкий А. В., Подрухин А. А.* Исследование содержания метана в почвенном воздухе в области выхода под наносы геологических нарушений // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 7. — С. 159—166.

2. *Gee D., Bateson L., Sowter A., Grebby S., Novellino A., Cigna F., Marsh S., Banton C., Wyatt L.* Ground motion in areas of abandoned mining: Application of the intermittent SBAS (ISBAS) to the Northumberland and Durham Coalfield, UK // Geosciences. 2017, vol. 7, no. 3. DOI: 10.3390/geosciences7030085.

3. *Giustini F., Ruggiero L., Sciarra A., Beaubien S. E., Graziani S., Galli G., Ciotoli G.* Radon hazard in central Italy: Comparison among areas with different geogenic radon potential // International Journal of Environmental Research and Public Health. 2022, vol. 19, no. 2. DOI: 10.3390/ijerph19020666.

4. *Никифоров Д. В., Межова Л. А., Кульнев В. В. Луговской А. М. Никанов А. Н., Кизеев А. Н., Репина Е. М.* Здоровье населения радоноопасных территорий // Экология человека. — 2019. — № 1. — С. 40—50.

5. *Kasatkin S. A., Obzhirov A. I.* Fluid-controlling significance of the nosappu fracture zone and conditions for the formation of methane fluxes and gas hydrates (sea of Okhotsk region) // Russian Journal of Pacific Geology. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 57—62. DOI: 10.1134/S1819714018010025.

6. *Lázaro-Mancilla O., Garduño-Monroy V. H., Mendoza-Ponce A., Figueroa-Soto A., Vázquez-Rosas R., Ramírez-Tapia G. M., Cortés-Silva A.* Radon (^{222}Rn) gas concentrations in soil from the urban area of morelia, michoacán, mexico and their relation with potentially seismic faults and with faults associated to subsidence-creep processes // Revista Mexicana De Ciencias Geologicas. 2020, vol. 12, no. 12, pp. 157—177. DOI: 10.22201/CGEO.20072902E.2020.2.1547.

7. *Mojzeš A., Marko F., Porubčanová B., Bartošová A.* Radon measurements in an area of tectonic zone. A case study in central slovakia // Journal of Environmental Radioactivity. 2017, vol. 166, pp. 278—288. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.08.012.

8. *Батугина И. М., Петухов И. М.* Геодинамика недр. — М.: Недра, 1996. — 232 с.

9. *Алексеев В. К., Батугин А. С., Батугина И. М., Гаранькин Н. В., Калинин А. М., Петухов И. М., Челпан П. И.* Геодинамическое районирование территории Московской области. — Ступино: СМТ, 2003. — 126 с.

10. *Диваков В. И.* Метод микрогеодинамических исследований — новый метод в геологии // Вестник Российского Университета дружбы народов. Серия Геол. и разв. пол. ископ. — 1996. — С. 71—79.

11. *Cvetković M., Kapuralić J., Pejić M., Močilac I. K., Rukavina D., Smirčić D., Kamenski A., Matos B., Špelić M.* Soil gas measurements of radon, CO_2 and hydrocarbon concentrations as indicators of subsurface hydrocarbon accumulation and hydrocarbon seepage // Sustainability. 2021, vol. 13, no. 7, article 3840. DOI: 10.3390/su13073840.

12. *Лобацкая Р. М.* Структурная зональность разломов. — Новосибирск: Недра, 1987. — 128 с.

13. *Chen Z., Li Y., Liu Z., Wang J., Zhou X., Du J.* Radon emission from soil gases in the active fault zones in the capital of china and its environmental effects // Scientific Reports. 2018, vol. 8, no. 1. DOI: 10.1038/s41598-018-35262-1.

14. *Батугин А. С., Кобылкин А. С., Мусина В. Р.* Исследование влияния геодинамической позиции углепородных отвалов на их эндогенную пожароопасность // Записки Горного института. — 2021. — Т. 250. — № 4. — С. 526—533. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.5.

15. *Малашкина В. А.* Направления снижения эмиссии шахтного метана в атмосферу // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 10-1. — С. 137—145. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_137.

16. *Sechman H., Kotarba M. J., Kędzior S., Dzieniewicz M., Romanowski T., Twaróg A.* Distribution of methane and carbon dioxide concentrations in the near-surface zone, genetic implications, and evaluation of gas flux around abandoned shafts in the jastrzębie-pszczyna area (southern part of the upper silesian coal basin, Poland) // International Journal of Coal Geology. 2019, no. 204, pp. 51—69. DOI: 10.1016/j.coal.2019.02.001.

17. *Татаринов В. Н.*, *Морозов В. Н.*, *Камнев Е. Н.*, *Маневич А. И.* Геодинамические аспекты захоронения высокоактивных радиоактивных отходов (Нижне-Канский массив) // Горный журнал. — 2021. — № 3. — С. 108—112. DOI: 10.17580/gzh.2021.03.056.

18. *Сластунов С. В.*, *Мазаник Е. В.*, *Коликов К. С.* Повышение эффективности дегазации при высокопроизводительной выработке угольных пластов // Безопасность труда в промышленности. — 2019. — № 1. — С. 71—76. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-71-76.

19. *Баловцев С. В.*, *Скопинцева О. В.*, *Коликов К. С.* Управление аэрологическими рисками при проектировании, эксплуатации, ликвидации и консервации угольных шахт // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6. — С. 85—94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

20. *Куликова А. А.*, *Овчинникова Т. И.* К вопросу снижения геоэкологических рисков на горнодобывающих предприятиях // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 2-1. — С. 251—262. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

21. *Чмыхалова С. В.* Системный подход к оценке риска, способствующий предотвращению потерь и повышению безопасности горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 6-1. — С. 146—153. — DOI 10.25018/0236-1493-2020-61-0-146-153.

22. *Кобылкин С. С.*, *Хубиева В. М.* Учет местной естественной вентиляции при обеспечении аэрологической безопасности на горнодобывающих предприятиях // Безопасность труда в промышленности. — 2021. — № 1. — С. 60—65. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-60-65.

23. *Рассказов И. Ю.*, *Федотова Ю. В.*, *Сидляр А. В.*, *Потапчук М. И.* Анализ проявлений техногенной сейсмичности в удароопасном массиве пород Николаевского месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 11. — С. 46—56. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.

24. *Цяо Цзаньюн, Ван Цжизян, Чжао Цзинли* Развитие методов разработки мощных угольных пластов в Китае // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 8. — С. 105—117. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-105-117.

25. *Козырев А. А.*, *Жукова С. А.*, *Журавлева О. Г.*, *Онуприенко В. С.* Развитие инструментального и методического обеспечения контроля наведенной сейсмичности на Хибинских апатит-нефелиновых месторождениях // Горный журнал. — 2020. — № 9. — С. 19—26. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.02. ГИАБ

REFERENCES

1. Vasilenko T. A., Voloshina N. I., Kolchik I. E., Molodetsky A. V., Podrukhin A. A. Research of methane maintenance in soil AIR in the area of geological faults output under the sediments. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no. 7, pp. 159—166. [In Russ].

2. Gee D., Bateson L., Sowter A., Grebby S., Novellino A., Cigna F., Marsh S., Banton C., Wyatt L. Ground motion in areas of abandoned mining: Application of the intermittent SBAS (ISBAS) to the Northumberland and Durham Coalfield, UK. *Geosciences.* 2017, vol. 7, no. 3. DOI: 10.3390/geosciences7030085.

3. Giustini F., Ruggiero L., Sciarra A., Beaubien S. E., Graziani S., Galli G., Ciotoli G. Radon hazard in central Italy: Comparison among areas with different geogenic radon potential. *International Journal of Environmental Research and Public Health.* 2022, vol. 19, no. 2. DOI: 10.3390/ijerph19020666.

4. Nikiforov D. V., Mezhova L. A., Kulnev V. V., Lugovskoi A. M., Nikanov A. N., Kizeev A. N., Repina E. M. Public health in radon-affected territories. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2019, no. 1, pp. 40—50. [In Russ].

5. Kasatkin S. A., Obzhirov A. I. Fluid-controlling significance of the nosappu fracture zone and conditions for the formation of methane fluxes and gas hydrates (sea of Okhotsk region). *Russian Journal of Pacific Geology*. 2018, vol. 12, no. 1, pp. 57—62. DOI: 10.1134/S1819714018010025.

6. Lázaro-Mancilla O., Garduño-Monroy V. H., Mendoza-Ponce A., Figueroa-Soto A., Vázquez-Rosas R., Ramírez-Tapia G. M., Cortés-Silva A. Radon (^{222}Rn) gas concentrations in soil from the urban area of morelia, michoacán, mexico and their relation with potentially seismic faults and with faults associated to subsidence-creep processes. *Revista Mexicana De Ciencias Geologicas*. 2020, vol. 12, no. 12, pp. 157—177. DOI: 10.22201/CGEO.20072902E.2020.2.1547.

7. Mojzeš A., Marko F., Porubčanová B., Bartošová A. Radon measurements in an area of tectonic zone. A case study in central slovakia. *Journal of Environmental Radioactivity*. 2017, vol. 166, pp. 278—288. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.08.012.

8. Batugina I. M., Petukhov I. M. *Geodinamika nedr* [Geodynamics of the subsurface], Moscow, Nedra, 1996, 232 p.

9. Alekseev V. K., Batugin A. S., Batugina I. M., Garan'kin N. V., Kalinin A. M., Petukhov I. M., Chelpan P. I. *Geodinamicheskoe rayonirovanie territorii Moskovskoy oblasti* [Geodynamic zoning of the territory of the Moscow region], Stupino: SMT, 2003, 126 p.

10. Divakov V. I. The method of microgeodynamic studies — a new method in geology. *Vestnik Rossiyskogo Universiteta druzhby narodov. Seriya Geol. i razv. pol. iskop*. 1996, pp. 71—79. [In Russ].

11. Cvetković M., Kapuralić J., Pejić M., Močilac I. K., Rukavina D., Smirčić D., Kamenski A., Matos B., Špelić M. Soil gas measurements of radon, CO_2 and hydrocarbon concentrations as indicators of subsurface hydrocarbon accumulation and hydrocarbon seepage. *Sustainability*. 2021, vol. 13, no. 7, article 3840. DOI: 10.3390/su13073840.

12. Lobatskaya R. M. *Strukturnaya zonal'nost' razlomov* [Structural zoning of faults] Novosibirsk, Nedra, 1987, 128 p.

13. Chen Z., Li Y., Liu Z., Wang J., Zhou X., Du J. Radon emission from soil gases in the active fault zones in the capital of china and its environmental effects. *Scientific Reports*. 2018, vol. 8, no. 1. DOI: 10.1038/s41598-018-35262-1.

14. Batugin A. S., Kobylkin A. S., Musina V. R. Investigation of the influence of the geodynamic position of coal-bearing dumps on their endogenous fire hazard. *Journal of Mining Institute*. 2021, vol. 250, no. 4, pp. 526—533. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2021.4.5.

15. Malashkina V. A. Trends toward reduction of mine methane emission in atmosphere. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 10-1, pp. 137—145. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_101_0_137.

16. Sechman H., Kotarba M. J., Kędzior S., Dzieniewicz M., Romanowski T., Twaróg A. Distribution of methane and carbon dioxide concentrations in the near-surface zone, genetic implications, and evaluation of gas flux around abandoned shafts in the jastrzębie-pszczyna area (southern part of the upper silesian coal basin, Poland). *International Journal of Coal Geology*. 2019, no. 204, pp. 51—69. DOI: 10.1016/j.coal.2019.02.001.

17. Tatarinov V. N., Morozov V. N., Kamnev E. N., Manevich A. I. Geodynamic aspects of high-level radioactive waste disposal. A case-study of Nizhnekansky massif. *Gornyi Zhurnal*. 2021, no. 3, pp. 108—112. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2021.03.05 6.

18. Slastunov S. V., Mazanik E. V., Kolikov K. S. Improvement of degassing efficiency at coal seams high productive development. *Occupational Safety in Industry*. 2019, no. 1, pp. 71—76. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-1-71-76.

19. Balovtsev S. V., Skopintseva O. V., Kolikov K. S. Aerological risk management in designing, operation, closure and temporary shutdown of coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6, pp. 85—94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-6-0-85-94.

20. Kulikova A. A., Ovchinnikova T. I. On the issue of reducing geoecological risks at mining enterprises. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021, no. 2-1, pp. 251—262. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-251-262.

21. Chmykhalova S. V. Systematic approach to risk assessment, contributing to the prevention of losses and increasing the safety of mining production. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 6-1, pp. 146—153. [In Russ]. DOI 10.25018/0236-1493-2020-61-0-146-153.

22. Kobylkin S. S., Khubieva V. M. Local natural ventilation registration while ensuring aerological safety at the mining enterprises. *Occupational Safety in Industry*. 2021, no. 1, pp. 60—65. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2021-1-60-65.

23. Rasskazov I. Yu., Fedotova Yu. V., Sydlyar A. V., Potapchuk M. I. Analysis of induced seismic events in rockburst-hazardous Nikolaevsk deposit. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 11, pp. 46—56. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-11-0-46-56.

24. Qiao Jianyong, Wang Zhiqiang, Zhao Jingli The evolution of thick coal seams mining methods in China. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020, no. 8, pp. 105—117. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-8-0-105-117.

25. Kozyrev A. A., Zhukova S. A., Zhuravleva O. G., Onuprienko V. S. Induced seismicity of rock mass: Development of instrumental and methodological support to control seismicity at the khibiny apatite-nepheline deposits. *Gornyi Zhurnal*. 2020, no. 9, pp. 19—26. [In Russ]. DOI: 10.17580/gzh.2020.09.02.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Батугин Андриан Сергеевич[1] — д-р техн. наук, профессор, e-mail: as-bat@mail.ru,
Хотченков Евгений Викторович — канд. техн. наук,
заведующий научно-просветительским отделом,
Государственный геологический музей
им. В.И. Вернадского РАН, e-mail: jek79@mail.ru,
Диваков Дмитрий Валентинович — канд. физ.-мат. наук,
доцент, Российский университет дружбы народов
Емельянов Сергей Иванович — инженер,
ООО Центр комплексных исследований недр «Катари»,
e-mail: semelianov56@mail.ru,
Шерматова Сайёра Сидиковна[1] — аспирантка, e-mail: s_shermatova@inbox.ru,
[1] ГИ НИТУ «МИСиС».
Для контактов: Батугин А.С., e-mail: as-bat@mail.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

A.S. Batugin[1], Dr. Sci. (Eng.), Professor, e-mail: as-bat@mail.ru,
E.V. Hotchenkov, Cand. Sci. (Eng.), e-mail: jek79@mail.ru,
Head of Scientific and Educational Department,
V.I. Vernadsky State Geological Museum
of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia,
D.V. Divakov, Cand. Sci. (Phys. Mathem.), Assistant Professor,
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia,
S.I. Emelianov, Engineer, e-mail: semelianov56@mail.ru,
OOO «Katari Center for Integrated Subsoil Research», Moscow, Russia,
S.S. Shermatova[1], Graduate Student, e-mail: s_shermatova@inbox.ru,
[1] Mining Institute, National University of Science
and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.
Corresponding author: A.S. Batugin, e-mail: as-bat@mail.ru.

Получена редакцией 07.07.2022; получена после рецензии 09.09.2022; принята к печати 10.10.2022.
Received by the editors 07.07.2022; received after the review 09.09.2022; accepted for printing 10.10.2022.