

УДК 553.981

DOI: 10.46698/VNC.2025.99.81.001

Оригинальная статья

Ресурсы метана в подработанном массиве – как опасное может стать полезным

И.В. Рыбин

Южный научный центр Российской академии наук, Россия, 344006,
г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41;

Республиканский академический научно-исследовательский и проектно-
конструкторский институт горной геологии, геомеханики, геофизики и маркшейдерского
дела, Россия, 283086, г. Донецк, ул. Челюскинцев, 291,
e-mail: rybin@ssc-ras.ru, iliaribin@mail.ru

Статья поступила: 07.03.2025, доработана: 30.05.2025, принята к публикации: 03.06.2025

Резюме: Актуальность работы. В выработанном пространстве закрываемых угольных шахт накапливается метан и токсичные газы (углекислый газ, окись углерода, сероводород, радиоактивные эманации и др.), обескислороженный воздух. **Цель работы.** При ликвидации шахт путем их затопления (так называемым «мокрым» способом), шахтные газы, так или иначе, вытесняются на поверхность и здесь они могут выступать и как техногенное полезное ископаемое, и как источник повышенной бытовой и производственной опасности. **Методы работы.** Рекомендуемые ныне процедуры для предотвращения проникновения метана в здания и сооружения: не прекращаемое проветривание, цементация полов и подвальных помещений, дегазация канавами и скважинами возле строений имеют непостоянный эффект и не дают гарантию безопасности по причине смены природы перемещения газовых масс в результате последующего увеличения поверхности затопления горных выработок. В целом по Восточному Донбассу можно было бы организовать добычу угольного газа в объеме 100 млн м³/год, что позволило бы обеспечить экологически чистым топливом или электроэнергией все поселки вокруг закрытых газообильных угольных шахт и создать рабочие места бывшим шахтерам. **Результаты работы.** В частности, приведен расчет показателя средней интенсивности газовыделения на 1 м² выработанной площади горного отвода. Приведенный расчет сделан для горно-геологических условий Восточного Донбасса, на котором преимущественно господствуют более пологие углы наклона пластов, малая мощность толщ горных пород, плотность метановых ресурсов соответствует 125 млн м³/км². Стоит отметить, что Печорский бассейн имеет плотность в 1,5 раза выше, а Кузнецкий бассейн – в 3 раза больше, а зачастую доходит и до 10 раз, но уже при крутых углах падения и многометровой мощности пластов, а значит и опасность насыщения газами зданий и сооружений в зоне горного отвода закрытой и затопляемой шахты будет намного выше. На сегодняшний день угроза загазованности заглубленных зданий на подработанных площадях идет на убыль, но не исключена основная проблема – выход подземных шахтных вод на поверхность и загрязнение гидросети высокоминерализованными водами.

Ключевые слова: пласт, уголь, слой, горный отвод, добыча, метан, Восточный Донбасс.

Благодарности: Публикация подготовлена в рамках реализаций: ГЗ ЮНЦ РАН на 2025 г., № гос.рег. 125011700416-4; ГЗ РАН ИМИ, №. гр. проекта 124061700022-3 от 17.06.2024.

Для цитирования: Рыбин И.В. Ресурсы метана в подработанном массиве – как опасное может стать полезным. *Геология и геофизика Юга России*. 2025. 15(2): 196–205. DOI: 10.46698/VNC.2025.99.81.001

DOI: 10.46698/VNC.2025.99.81.001

Original paper

Methane resources in the undermined strata: from hazard to valuable resource

I.V. Rybin

Southern Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 41 Chekhov Ave.,
Rostov-on-Don 344006, Russian Federation;

Republican academic research and design institute of mining geology, rock mechanics,
geophysics and mine surveying, 291 Chelyuskintsev Str., Donetsk 283086, Russian
Federation, e-mail: rybin@ssc-ras.ru, iliaribin@mail.ru

Received: 07.03.2025, revised: 30.05.2025, accepted: 03.06.2025

Abstract: Relevance. Methane and toxic gases (carbon dioxide, carbon monoxide, hydrogen sulfide, radioactive emanations, etc.), deoxygenated air accumulate in the mined space of the closed coal mines. **Aim.** When mines are liquidated by flooding them (the so-called “wet” method), mine gases, one way or another, are displaced to the surface where they can serve both as a technogenic mineral and as a source of increased household and industrial danger. **Methods.** Currently recommended procedures to prevent methane penetration into buildings and structures: continuous ventilation, cementation of floors and basements, degassing by ditches and wells near buildings have a variable effect and do not guarantee safety due to a change in the nature of the movement of gas masses as a result of a subsequent increase in the surface of flooding of mine workings. In general, in the Eastern Donbas, it would be possible to organize coal gas production in the amount of 100 million m³/year, which would provide environmentally friendly fuel or electricity to all villages around closed gas coal mines and create jobs for former miners. **Results.** In particular, the calculation of the average intensity of gas emission per 1 m² of the mined area of the mining allotment is given. The above calculation was made for the mining and geological values of the Eastern Donbas, which is mainly dominated by more gentle inclination angles of formations, low thickness of rock strata, the density of methane resources corresponds to 125 million m³/km². It is worth noting that the Pechora basin has a density 1.5 times higher, and the Kuznetsk basin – 3 times more, and often reaches up to 10 times, but already at steep angles of incidence and multi-meter thickness of the beds, which means that the danger of gas saturation of buildings and structures in the mining allotment zone closed and flooded mine will be much higher. To date, the threat of gas contamination of buried buildings in the worked-out areas is declining, but the main problem is not excluded – the release of underground mine water to the surface and pollution of the hydraulic network with highly mineralized water.

Keywords: formation, coal, layer, mining allotment, mining, methane, Eastern Donbas.

Acknowledgements: The paper was prepared as part of the implementations: state assignment of the Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences for 2025, state registration No. 125011700416-4; state assignment of Republican academic research and design institute of mining geology, rock mechanics, geophysics and mine surveying, project No. 124061700022-3 dated 17.06.2024.

For citation: Rybin I.V. Methane resources in the undermined strata: from hazard to valuable resource. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2025. 15(2): 196-205. DOI: 10.46698/VNC.2025.99.81.001

Введение

В выработанном пространстве закрываемых угольных шахт накапливается метан и токсичные газы (углекислый газ, окись углерода, сероводород, радиоактивные эманации и др.), обескислороженный воздух [Проблемы ..., 2005; Агаев и др., 2021]. При ликвидации шахт путем их затопления (так называемым «мокрым» способом), шахтные газы, так или иначе, вытесняются на поверхность и здесь они могут выступать и как техногенное полезное ископаемое, и как источник повышенной бытовой и производственной опасности [Коломенский, Гипич, 2006; Архипов, 2024]. В 1995–99 гг. в России закрыты десятки газообильных шахт, которые могут стать, как источником загрязнения атмосферы, так и объектом промышленной добычи метана [Угольная ..., 2000; Попов, 2006]. Сведения об уже закрытых шахтах, объемах отработанного горного пространства и прогнозных ресурсах накопленного в них газа приведены в таблице 1. Шахтные газы угольных месторождений могут при неконтролируемом их выделении на поверхность выступать и в роли «вредного» ископаемого, постоянно приводящего к негативным последствиям (в том числе с трагическим исходом) в связи с возгораниями и взрывами метана в закрытых помещениях, отравлениями людей токсичными шахтными газами [Герике и др., 2024]. Снятие этой негативной функции шахтных газов и разработка мероприятий по обеспечению производственной и бытовой безопасности на горных отводах закрытых шахт связаны с проведением экологического мониторинга [Труфанов, Труфанов, 2006].

Методы исследований

Во Всероссийском научно-исследовательском геологоразведочном институте угольных месторождений («ВНИГРИуголь») разработаны принципы создания системы экологического мониторинга как отдельных закрываемых угольных шахт (локальный уровень), так и угольных бассейнов в целом (региональный уровень) [Труфанов и др., 2004]. При ликвидации шахт, после прекращения водоотлива и вентиляции, атмосфера выработанного пространства обогащается метаном и другими горными, а также токсичными газовыми смесями благодаря излиянию их из остатков угольных пород и за счет процессов гниения разнообразных веществ в горных выработках, на которые тратится кислород воздуха, оставшийся после прекращения вентиляции [Портнов и др., 2021; Пинаев, Пинаев, 2022]. При затоплении горных выработок «мертвый» воздух вытесняется к поверхности. Например, при использовании скважин, находящихся в пределах горного отвода не функционирующей шахты «Краснодонецкая» Восточного Донбасса, возможно добыть метан благодаря каждой скважине в приблизительном объеме около 1 млн м³/год, что даст возможность при эксплуатации 6–7 скважин снабжать в течение 30 лет рядом расположенный населенный пункт с численностью населения около 10000 человек [Гамов, Рылов, 2006]. В данном случае улучшалась бы ситуация с точки зрения экологии, потому что отработанное пространство под населенным пунктом очистится от «мертвой» воздушной смеси, которая проникала бы на дневную поверхность в результате заполнения шахты водой [Коломенская, 2006]. В целом по Восточному Донбассу можно было бы организовать добычу угольного газа в объеме 100 млн м³/год, что позволило бы обеспечить экологически чистым топливом или электроэнергией все поселки вокруг закрытых газообильных угольных шахт и создать рабочие места бывшим шахтерам.

Таблица 1 / Table 1

Сведения о ресурсах газа в выработанных пространствах, подработанных массивах и неотработанных площадях закрытых высокогазобильных шахт [Труфанов и др., 2004] /
Information on gas resources in developed spaces, underworked massifs and unworked areas closed high-gas mines
[Trufanov et al., 2004]

Шахта/Mine*	Глубина подчета/разработки Count depth/developments	Годовая мощность, тыс. т / Annual capacity, thousand tons	Марка/Brand**	Фактический срок работы шахты, лет / Actual mine life, years	Газоносность, м ³ /т / Gas content, m ³ /t	Извлечение угля, млн т / Coal extraction, million tonnes	V ₁ объем извлеченного угля, м ³ V ₁ volume of extracted coal, m ³	V ₂ объем извлеченной породы, м ³ V ₂ volume of extracted rock, m ³	$\Sigma = V_1 + V_2$, млн м ³ $\Sigma = V_1 + V_2$, million m ³	Коэффициент извлечения газа из выработанного пространства/ Gas recovery factor	Прогнозные объемы извлечения газа, млн м ³ / Forecast gas recovery volumes, million m ³	Подработанная площадь, км ² Developed area, km ²	Объем газа в неотработанной части, млн м ³ / Volume of gas in the undeveloped part, million m ³	Площадь оценки ресурсов, км ² Resource assessment area, km ²	Плотность ресурсов млн м ³ /км ² Resource density million m ³ /km ²	Суммарный объем газа, млн м ³ Total gas volume, million m ³
1	235/235	300	Ж/Ф	42	–	12	8	1	9	0,7	6	–	–	–	–	–
2	1700/370	240	Т/С	54	32	13	9	1	10	0,7	7	–	1800	22	79	1807
3+4	750/500	750	А/А	40	36	30	20	2	22	0,7	15	17	880	7	128	895
5	700/400	650	К, ОС/С, TS	35	10	23	15	1,5	16,5	0,7	12	–	–	–	–	–
6	480/468	690	К, Т, ОС/С, S, TS	47	–	32	20	2	22	0,7	15,4	–	–	–	–	–
7	780/755	250	К, ОС/С, TS	50	16	12,5	7,8	0,7	8,5	0,7	6	–	232	3	84	238
8	640/450	150	К/С	49	19	7,3	4,8	0,5	5,3	0,7	4	–	216	2	124	220
9	–/490	140	Ж/Ф	57	17	8	5	0,5	5,5	0,7	4	–	300	2,5	120	304
10	1100/650	100	ОС/TS	43	27	4,3	3	0,5	3,5	0,7	3	–	236	4,4	54	239

Примечание*: 1) Донецкая; 2) Тацинская; 3+4) Краснодонская 16/17 + Синегорская; 5) Восточная; 6) Горняцкая; 7) Центральная; 8) Изваринская; 9) Гундоровская; 10) 10 № 5 Белокалитвенское шахтоуправление (БК ШУ). / Note*: 1) Donetsk; 2) Tatsinskaya; 3+4) Krasnodonskaya 16/17 + Sinegorskaya; 5) Eastern; 6) Gorn'yatskaya; 7) Central; 8) Izvarinskaya; 9) Gundorovskaya; 10) 10 No. 5 Belokalitvensky mine management (BK MM).

Примечание**: Ж – жирный; Т – тощий; А – антрацит; К – коксовый; ОС – отощенный слабопекующийся. / Note**: F – fatty; S – skinny; A – anthracite; C – coke; TS – thin sintered.

При среднем сроке затопления шахты (порядка 5 лет) основная часть газа, заключенная в выработанном и подработанном пространстве, будет вытеснена наверх посредством старых стволов, скважин, природных и антропогенных трещин в самых различных местах горного отвода.

Например, вычислен показатель интенсивности газового присутствия для выработанной территории горного отвода шахты «Краснодонецкая», располагающейся на площади в 17 км², при этом объем шахтной рудничной воздушной смеси, законсервированной в отработанной полости составляет 22 млн м³, а временной период его выдавливания составляет 5 лет.

На 1 м² выработанной площади горного отвода показатель средней интенсивности газовыделения рассчитывается по формуле (1):

$$V_{1\text{м}^2} = \frac{V_p}{T \cdot t \cdot S_1} \quad (1)$$

где $V_{1\text{м}^2}$ – объем газовыделения на 1 м² в м³;

V_p – объем ресурсов газа в выработанном и подработанном массиве в шахте, м³;

T – количество лет затопления;

t – количество дней в году;

S_1 – подработанная площадь, км².

В результате применения формулы (1), получаем количественный результат в виде формулы (2):

$$V_{1\text{м}^2} = \frac{22000000}{5 \cdot 365 \cdot 17} = 0,0007 \text{ м}^3 = 0,7 \text{ л} \quad (2)$$

Подвал или погреб в частном доме в среднем имеет площадь около 9 м², а объемное пространство составляет 18 м³, в которое просочится количество метана в сутки равное 6,3 литра. Проще говоря, количество метана в подвале достигнет значений приблизительно 0,035%. Можно посчитать, что к концу первого месяца в непродуваемом погребе или подвале дома содержание метана дойдет до значения в 1%, которое уже является опасной концентрацией [Проблемы ..., 2005]. Вход в подвальное помещение необходимо закрыть вплоть до максимального проветривания. Однако из-за неравномерного газового проявления на поверхность поступление газа в то или иное помещение может изменяться в несколько раз, что резко ухудшит газоопасность отдельных жилых и производственных помещений.

Результаты исследований и их обсуждение

Приведенный расчет сделан для горно-геологических условий Восточного Донбасса, на котором преимущественно господствуют более пологие углы наклона пластов, малая мощность толщ горных пород, плотность метановых ресурсов соответствует 125 млн м³/км². Стоит отметить, что Печорский бассейн имеет плотность в 1,5 раза выше, а Кузнецкий бассейн – в 3 раза больше, а зачастую доходит и до 10 раз, но уже при крутых углах падения и многометровой мощности пластов, а значит и опасность насыщения газами зданий и сооружений в зоне горного отвода закрытой и затопляемой шахты будет намного выше.

Рекомендуемые ныне процедуры для предотвращения проникновения метана в здания и сооружения: не прекращаемое проветривание, цементация полов и под-

вальных помещений, дегазация канавами и скважинами возле строений имеют непостоянный эффект и не дают гарантию безопасности по причине смены природы перемещения газовых масс в результате последующего увеличения поверхности затопления горных выработок [Проблемы ..., 2005].

В пределах горного отвода затопляемой шахты выполнение замеров периодического характера в рамках газового мониторинга не даст достоверный прогноз опасных областей по причине непостоянного наблюдения. В тот же момент, всю область выработанного пространства под населенным пунктом невозможно охватить сенсорами постоянной регистрации состава газовой смеси по причине их высокой стоимости и трудности применения. По причине этого, главным достоверным способом, дающим гарантию безопасного нахождения людей на подработанных территориях ликвидируемых шахт, считается дегазация выработанного и еще не затопленного пространства скважинами, пробуренными с дневной поверхности и оборудованными вакуумными насосами [Федотов, 2024]. Если в составе шахтного воздуха, вытесняемого к поверхности, концентрация метана превысит 30%, то эта газо-воздушная смесь подлежит утилизации.

Заблаговременная дегазация и утилизация метана позволит:

- получить экологически чистый энергоноситель для утилизации через: газораспределительную сеть, сжижение газа и, наиболее рационально, переработку метана в электроэнергию в микротурбинных генераторах или газогенераторных электростанциях непосредственно на месте добычи метана из скважин;
- исключить возможность выделения «мертвого» шахтного воздуха в непредсказуемых местах поверхности на территории населенных пунктов;
- обеспечить возможность эффективной эксплуатации дегазированных угольных пластов на шахтах, ранее нерентабельных из-за высокой газовой обильности;
- сохранить озоновый слой от разрушения его шахтным метаном, а температурный режим атмосферы от «парникового эффекта» за счет поступления метана.

Опыт добычи метана из закрытых газовых шахт в России отсутствует. Ликвидация российских шахт производится способом полного затопления.

В этом случае извлечение метановой газовой смеси из выработанного пространства шахт исключается. Возможна только добыча метана из оставшихся неотработанных, не дегазированных запасов угля.

Опыт извлечения метана из закрытых шахт за рубежом (Германия, Франция, Великобритания, Бельгия и др.) свидетельствует о том, что из одной шахты можно извлекать от 10 до 66 млн м³/год в течение от 6 до 26 лет [Peng et al., 2023; Kursunoglu, Ankara, 2024; Shao et al., 2024].

Выводы

Из вышесказанного можно сделать следующие выводы.

Ликвидация и последующее затопление газообильных угольных шахт привели к резкому ухудшению экологической обстановки:

- появилась угроза поступления «мертвого» воздуха в жилые и производственные здания и сооружения;
- происходит подтопление населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий шахтными водами;
- наблюдается проседание поверхности.

Для снижения этих негативных последствий закрытия шахт и хотя бы, частич-

ного решения вопроса с исправлением ситуации по минимизации дефицита топлива, предлагаются следующие мероприятия:

- организация мониторинга на горных отводах ликвидированных и затопляемых шахт с целью прогнозирования зон опасных для проживания и производственной деятельности;
- оценка потенциальных объемов и состава шахтных газов («мертвого» воздуха), заключенных в выработанном и подработанном пространстве;
- определение мест, объемов и сроков поступления шахтных газов на поверхность;
- оценка заблаговременной дегазации выработанного пространства и подработанного массива скважинами, пробуренными с поверхности;
- определение возможности утилизации откачиваемых газов для производства электроэнергии на месте их извлечения в микротурбинных генераторах или как газообразного топлива в коммунальном хозяйстве;
- организация опытных комплексных полигонов во всех бассейнах для проведения опытно-промышленных работ по добыче и утилизации метана из выработанного пространства закрытых шахт, неотработанных запасов углей на горных отводах этих шахт, для отработки методики газо-экологических исследований на площадях действующих и закрытых шахт.

Дегазация выработанных пространств ликвидируемых шахт с возможностью утилизации газовоздушных смесей, также не осуществлялась по следующим причинам:

- ликвидация угольных шахт была проведена путем естественного их затопления подземными водами, засыпки стволов, иногда на всю глубину их проходки материалом пород из терриконов;
- засыпка стволов производилась без монтажа каких-либо коммуникаций для откачки газа по засыпанным стволам;
- бурение специальных скважин для откачки газа из выработанного пространства при ликвидации шахт даже не предусматривалось проектами ликвидации.

Предполагалось, что выходы метана на поверхность в опасных концентрациях будут отмечаться довольно часто, так как первоначальные ресурсы его в выработанном пространстве исчислялись по каждой шахте в млн м³, но первоначальные прогнозы не оправдались за прошедшие 5–7 и даже 10 лет. Случаи обнаружения концентраций метана свыше 0,5 % при проведенных десятках тысяч замеров над выработанным затопляемым пространством были отмечены чрезвычайно редко. В вытесняемой из шахт газовоздушной смеси иногда отмечались повышенные содержания двуокси углерода и пониженные содержания кислорода. Причине ничтожной доли выхода метана на поверхность можно дать следующее объяснение. Находившийся в выработанном пространстве метан, выдавливался силой гидростатического давления к поверхности через угольные насыщенные толщи пород, где уголь неотработанных пластов-спутников и пропластков был дегазирован 20–30 лет назад при добыче угля. Выдавливаемый метан попадал в техногенные трещины, не имеющие свободного выхода к поверхности, и вступал в сорбционную связь с ранее дегазированным углем. Деметанизированная газо-воздушная смесь в итоге продавливалась на поверхность, но уже с неопасной концентрацией метана или вообще без метана. Поскольку процесс затопления шахты продолжался несколько лет, то создались наиболее благоприятные условия для «вторичной» сорбции метана при контакте с угольным веществом.

Причина обнаружения повышенных концентраций метана по отдельным пробам зачастую объяснялась тем, что они отбирались вблизи выходов на поверхность старых горных выработок, устьев буровых скважин, а возможно и дизъюнктивных или техногенных трещин, где движение газов было свободным. На сегодняшний день большинство ликвидированных шахт, затоплены на 2/3, а иногда почти до поверхности. Из некоторых шахт стали изливаться подземные воды на поверхность, то есть уровень затопления превысил естественный уровень грунтовых вод, существовавший до начала ведения горных работ 30–50 лет назад.

Первоначальный прогноз о прекращении подъема подземных шахтных вод при достижении естественного уровня во многих случаях не подтвердился, так как в процессе углубки шахт горными выработками вскрывались водонапорные горизонты, которые ранее были ограничены водонепроницаемыми породами. Непредсказуемый выход шахтных вод на поверхность создает сложнейшую проблему отвода чрезвычайно загрязненных вод, находившихся в контакте с поверхностями горных выработок на протяжении многих лет.

Заключение

В результате недостаточно продуманной, так называемой, «реструктуризации» угольных шахт произошло резкое падение добычи угля по отдельным бассейнам, например, в Восточном Донбассе, с 30 до 8 млн т/год. Безвозвратно потеряны свыше 200 млн м³ метана, оставшегося в выработанных пространствах и фактически погребенного в затопленных выработках. Не исключено, что и подготовленные к выемке угольные пласты высокой категории разведанности никогда не будут отработаны, так как стволы, засыпанные полностью на глубину порядка 500 и более метров, не подлежат восстановлению из-за засыпки породой с негабаритными не извлекаемыми материалами, включавшими бетонные блоки и арматуру, а ресурсы метана в угольных пластах, в зоне горных отводов затопленных шахт могут оказаться непригодными для добычи метана, поскольку многолетний контакт с затопленным водой пространством может оказать непредсказуемое влияние на физико-химические свойства условий газоносности в угольных пластах. Именно на этих запасах метана, в угольных пластах вблизи действующих шахт должны были проводиться опытные работы по добыче метана, так как были известны все параметры, включая степень газоотдачи.

На сегодняшний день угроза загазованности заглубленных зданий на подработанных площадях идет на убыль, но не исключена основная проблема – выход подземных шахтных вод на поверхность и загрязнение гидросети высокоминерализованными водами.

Литература

1. Агаев Р.А., Власенко В.В., Дудля Е.Е., Ключев Э.С., Притула Д.А. Горно-геологические факторы добычи метана через поверхностные скважины пневмогидродинамическим воздействием. // Современные проблемы механики. – 2021. – № 44(2). – С. 127–133.
2. Архипов И.А. Проблемы мониторинга парниковых газов при открытой разработке угля. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2024. – № 4 (специальный выпуск 10). – 44 с.
3. Гамов М.И., Рылов В.Г. Динамические ресурсы метанообильных зон угольных месторождений Восточного Донбасса. // Материалы международной конференции «Проблемы геологии и освоения недр юга России». Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2006. – С. 204–206.

4. Герике Б.Л., Леконцев Ю.М., Новик А.В. Компенсаторы подсоса воздуха в шахтных трубопроводах каптированного метана. // Горное оборудование и электромеханика. – 2024. – № 3(173). – С. 22–32. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-22-32.
5. Коломенская В.Г. Состояние и проблемы развития минерально-сырьевой базы углей юга России. // Материалы международной конференции «Проблемы геологии и освоения недр юга России». Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2006. – С. 220–223.
6. Коломенский Г.Ю., Гипич Л.В. Геоэкологические проблемы техногенных месторождений угольного ряда. // Материалы международной конференции «Проблемы геологии и освоения недр юга России». Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2006. – С. 365–366.
7. Пинаев А.В., Пинаев П.А. Взрыв, детонация в смесях метан-водород-воздух, метан-водород-воздух-взвесь угля. // Вестник научного центра ВОСТНИИ по промышленной и экологической безопасности. – 2022. – № 3. – С. 26–38. DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.23.30.003.
8. Попов В.В. Проблемы поисков, разведки и промышленного освоения газозольных месторождений юга России. // Материалы международной конференции «Проблемы геологии и освоения недр юга России». Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2006. – С. 168–170.
9. Портнов В.С., Иманбаева С.Б., Рева Н.В., Габайдуллин Р.И., Асаинов С.Т. Об установлении степени влияния геологических факторов на метанообильность выемочных участков. // Труды университета. – 2021. – № 4(85). – С. 160–165. DOI: 10.52209/1609_1825_2021_4_160.
10. Проблемы и перспективы комплексного освоения минеральных ресурсов Восточного Донбасса. / Гл. редактор Г.Г. Матишов. – Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2005. – 190 с.
11. Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г., Майский Ю.Г., Труфанов А.В. Углеводородная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса. Ростов-на-Дону: РГУ, 2004. – 272 с.
12. Труфанов В.Н., Труфанов И.В. Проблема освоения ресурсов угольного метана Восточного Донбасса. // Материалы международной конференции «Проблемы геологии и освоения недр юга России». Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2006. – С. 240–242.
13. Угольная база России. Т. 1. Угольные бассейны и месторождения Европейской части России (Северный Кавказ, Восточный Донбасс, Подмосковный, Камский, Печорский бассейны, Урал). М.: Геоинформмарк, 2000. – 483 с.
14. Федотов С.М. Зоны скопления метана угольных месторождений: условия локализации, проявления, практическое значение. // Труды РАН ИМИ. – 2024. – № 2(40). – С. 85–100.
15. Kursunoglu N., Ankara H. Application of statistical process control to monitor underground coal mine fires based on CO emissions. // Combustion science and technology. – 2024. – Vol. 196. No 1. – pp. 142–159. DOI: 10.1080/00102202.2022.2145558.
16. Peng S., Zuo S., Wu G., Wang C., Liao Y., Tian F.D. Title: Research status and trend of coal and gas outburst: a literature review based on VOSviewer. // International Journal of Oil, Gas and Coal Technology. – 2023. – Vol. 33. No 3. – pp. 248–281. DOI: 10.1504/IJOGCT.2023.131646.
17. Shao HE., Han F., Si J.U., Zhang JU., Li W. Inorganic thixotropic gel for controlling coal spontaneous combustion through the prevention of air leakage. // Combustion science and technology. – 2024. – Vol. 196. No. 1. – pp. 116–141. DOI: 10.1080/00102202.2022.2065202.

References

1. Agaev R.A., Vlasenko V.V., Dudlya E.E., Klyuev E.S., Pritula D.A. Mining and geological factors of methane production through surface wells by pneumohydrodynamic impact. Modern problems of mechanics. 2021. No. 44(2). pp. 127–133. (In Russ.)
2. Arkhipov I.A. Problems of monitoring greenhouse gases in open-pit coal development. Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2024. No. 4 (special issue 10). 44p. (In Russ.)
3. Gamov M.I., Rylov V.G. Dynamic resources of methane-rich zones of coal deposits of Eastern Donbas. In: Proc. of the Int. conf. Problems of geology and subsoil development in the Russian south. Rostov-on-Don. SSC RAS. 2006. pp. 204–206. (In Russ.)

4. Gericke B.L., Lekontsev Yu.M., Novik A.V. Air intake compensators in shaft pipelines of captive methane. Mining equipment and electromechanics. 2024. No. 3(173). pp. 22–32. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-3-22-32. (In Russ.)
5. Kolomenskaya V.G. The state and problems of development of the mineral resource base of coal of the south of Russia. In: Proc. of the Int. conf. Problems of geology and subsoil development in the Russian south. Rostov-on-Don. SSC RAS. 2006. pp. 220–223. (In Russ.)
6. Kolomensky G.Yu., Gipich L.V. Geoecological problems of technogenic coal deposits. In: Proc. of the Int. conf. Problems of geology and subsoil development in the Russian south. Rostov-on-Don. SSC RAS. 2006. pp. 365–366. (In Russ.)
7. Pinaev A.V., Pinaev P.A. Explosion, detonation in mixtures of methane-hydrogen-air, methane-hydrogen-air-coal suspension. Bulletin of the VOSTNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety. 2022. No. 3. pp. 26–38. DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.23.30.003. (In Russ.)
8. Popov V.V. Problems of prospecting, exploration and industrial development of gas-coal deposits in the south of Russia. In: Proc. of the Int. conf. Problems of geology and subsoil development in the Russian south. Rostov-on-Don. SSC RAS. 2006. pp. 168–170. (In Russ.)
9. Portnov V.S., Imanbaeva S.B., Reva N.V., Gabaidullin R.I., Asainov S.T. On establishing the degree of influence of geological factors on the methane abundance of excavated areas. Proceedings of the University. 2021. No. 4(85). pp. 160–165. DOI: 10.52209/1609_1825_2021_4_160. (In Russ.)
10. Problems and prospects for the integrated development of mineral resources of the Eastern Donbas. Ed. G.G. Matishov. Rostov-on-Don. SSC RAS. 2005. 190 p. (In Russ.)
11. Trufanov V.N., Gamov M.I., Rylov V.G., Maisky Yu.G., Trufanov A.V. Hydrocarbon fluidization of fossil coals of the Eastern Donbas. Rostov-on-Don. Rostov State University. 2004. 272 p. (In Russ.)
12. Trufanov V.N., Trufanov I.V. Problem of development of coal methane resources in Eastern Donbas. In: Proc. of the Int. conf. Problems of geology and subsoil development in the Russian south. Rostov-on-Don. SSC RAS. 2006. pp. 240–242. (In Russ.)
13. Coal base of Russia. Coal basins and deposits of the European part of Russia (North Caucasus, Eastern Donbas, Moscow region, Kamsky, Pechora basins, Ural). Moscow. Geoinformmark. 2000. 483 p. (In Russ.)
14. Fedotov S.M. Coalfield methane accumulation zones: localization conditions, manifestations, practical significance. Proceedings of RANIMI. 2024. No. 2(40). pp. 85–100. (In Russ.)
15. Kursunoglu N., Ankara H. Application of statistical process control to monitor underground coal mine fires based on CO emissions. Combustion science and technology. 2024. Vol. 196. No. 1. pp. 142–159. DOI: 10.1080/00102202.2022.2145558.
16. Peng S., Zuo S., Wu G., Wang C., Liao Y., Tian F.D. Title: Research status and trend of coal and gas outburst: a literature review based on VOSviewer. International Journal of Oil, Gas and Coal Technology. 2023. Vol. 33. No. 3. pp. 248–281. DOI: 10.1504/IJOGCT.2023.131646.
17. Shao HE., Han F., Si J.U., Zhang JU., Li W. Inorganic thixotropic gel for controlling coal spontaneous combustion through the prevention of air leakage. Combustion science and technology. 2024. Vol. 196. No. 1. pp. 116–141. DOI: 10.1080/00102202.2022.2065202.