

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.12.46.005

УДК 622.831.322

© М.С. Плаксин, 2022

**М.С. ПЛАКСИН**

канд. техн. наук,  
старший научный сотрудник  
Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,  
г. Кемерово  
e-mail: plaksin@bk.ru



## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕГАЗАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОСНОВАНИИ ИННОВАЦИОННОГО МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ГАЗОВОГО ПОТЕНЦИАЛА УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

*В статье рассматривается новый комплексный подход к количественной оценке эффективности дегазационных мероприятий и распределения газового потенциала в призабойной части пласта при отработке выемочного столба с использованием инновационного подхода по замеру газокинетических характеристик угольного пласта. Выполнено краткое описание основных стадий метода.*

Ключевые слова: ГАЗОНОСНОСТЬ, МЕТАНООБИЛЬНОСТЬ, УГОЛЬНЫЙ ПЛАСТ, ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫЕ ВЫРАБОТКИ, ВЫЕМОЧНЫЙ СТОЛЬБ, ГАЗОКИНЕТИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ.

Газовые и газодинамические проблемы угольных шахт являются одними из главных сдерживающих факторов повышения объемов добычи угля и темпов проведения подготовительных выработок. Ситуация усугубляется с повышением газоносности угольных пластов при увеличении глубины их отработки. При этом проблемы газового фактора наблюдаются и при высокоинтенсивной отработке угольных пластов средней газоносности (14–20 м<sup>3</sup>/т).

Наиболее распространенным способом снижения газоносности угольного пласта яв-

ляется бурение дегазационных скважин в тело выемочного столба из подготовительных выработок. Эффективность дегазационных скважин зависит, в первую очередь, от таких свойств угля, как прочность и естественная трещиноватость, прочность обеспечивает «относительную» целостность формы скважины, а трещиноватость обеспечивает поток метана в скважину. Наблюдения показывают, что период эффективной газоотдачи и дегазационная активность в целом скважины крайне мала [1], что связано, вероятно, с разрушением скважины.

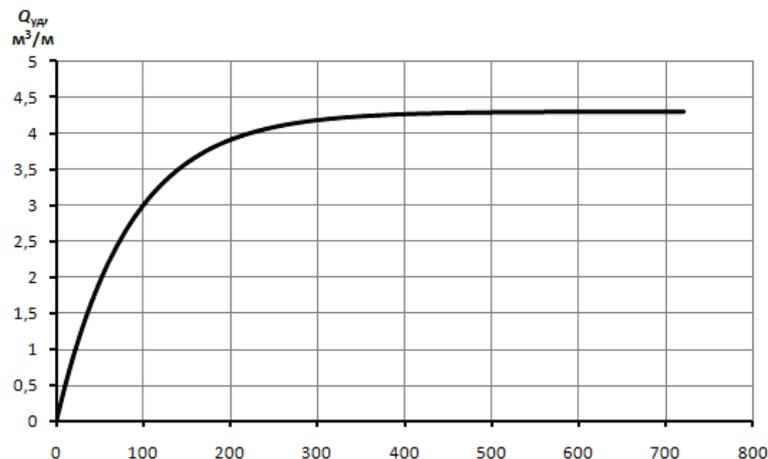


Рис. 1. Изменение продуктивности типичной дегазационной скважины на выемочном участке 15-14 бис шахты «Абашевская» [2]

Интенсифицировать процесс газоотдачи угольного пласта из дегазационных скважин возможно, например, с активно разрабатываемым в последнее время методом гидроразрыва угольного пласта [2, 3, 4]. Основная проблема заключается в сложности выполнения количественной оценки эффективности применяемых дегазационных мероприятий. Необходимость оценки определяется изменчивостью свойств угольного пласта, кроме того, например, влияние нагнетаемой в угольный пласт воды в режиме гидроразрыва вызывает в части газоотдачи двойное противоположное действие: с одной стороны, создает новые поверхности, активизируя процесс дренирования газа из угольного пласта, с другой — блокирует сорбированный метан в микропорах [5].

Под решением задачи снижения газовой безопасности подземной добычи угля подразумевается недопущение превышения предельно допустимой концентрации (ПДК) метана, поступающего в атмосферу выработки и, тем самым, значительному снижению веро-

ятности его воспламенения.

На рисунке 2 представлен график изменения концентрации метана по данным датчика метана системы АГК, полученным при проведении подготовительной выработки, с частотой съема данных до 15 и более значений в минуту. Из данных на графике можно сделать вывод, что если ориентироваться по средней за многосуточный период концентрации (пунктирная линия, рис. 2), то запас для достижения ПДК в 1 % по длине подготовительной выработки значительный (в забое подготовительной выработки ПДК составляет 2 %). С другой стороны, если оперировать фактическими данными, то за представленный на рисунке 1 период имеем более 10 случаев превышения ПДК (1 %) по выработке. При отработке выемочных столбов наблюдается неравномерность метанообильности, значительно превышающая неравномерность метанообильности одиночных выработок [7, 8], что связано со значительно большей зоной влияния очистных работ.

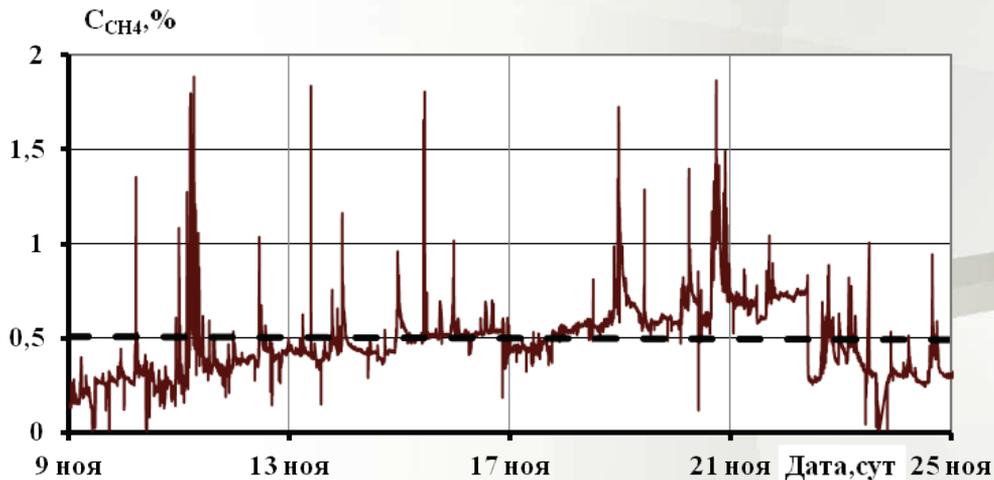


Рис. 2. Изменение концентрации метана в подготовительной выработке в условиях:  
 $H = 400$  м (глубина проведения выработки),  $X = 21$  м<sup>3</sup>/т (газоносность пласта),  
 $V_m = 120$  м/мес (скорость подвигания выработки),  $Q = 540$  м<sup>3</sup>/мин (количество подаваемого воздуха)

Причина данной неравномерности при проведении подготовительных выработок складывается из двух факторов: первый — содержание метана в угольном пласте в свободном, сорбированном и растворенном виде, второй — зависимость содержания метана в отбиваемой части пласта от скорости подвигания забоя.

Согласно современным представлениям, метан в угольном пласте содержится в трех состояниях [9, 10]: свободном, адсорбированном и растворенный метан. Свободный газ содержится внутри макропор, микротрещин и других дефектов сплошности угля в природных условиях.

Адсорбированный газ локализуется на угольных поверхностях природных пор и дефектов сплошности, межблочных промежутках (содержание 8–16 % от общего объема в пласте).

Растворенный метан расположен в межмолекулярном пространстве угольного вещества (содержание до 85 % от общего объема в пласте, указано для глубины залегания пласта около 600–800 м).

Взятие очередной заходки угольным комбайном вызывает изменения в естественном напряженном состоянии угольного пласта.

В результате формируется фильтрационный поток газа в сторону обнаженной поверхности. Максимальный приток метана в атмосферу выработки приходится на момент взятия заходки комбайном и в последующие 30–70 минут вследствие «активного» перемещения границы зоны неупругих деформаций вглубь массива приблизительно на глубину заходки.

Измерение распределения газового потенциала по линии от кромки забоя вглубь массива в условиях отработки газоносных угольных пластов является сложной задачей, решение которой технически возможно реализовать с применением устройства, разработанного в Институте угля ФИЦ УУХ СО РАН [10]. Первоначально представленное устройство предназначалось для определения газоносности угольного пласта за зоной неупругого деформирования по замерам, выполненным из забоя подвигаемой подготовительной выработки [10]. Но, как показывают ниже представленные результаты, устройство имеет огромный потенциал для горного производства при определении распределения газового потенциала вблизи забоя горной выработки.

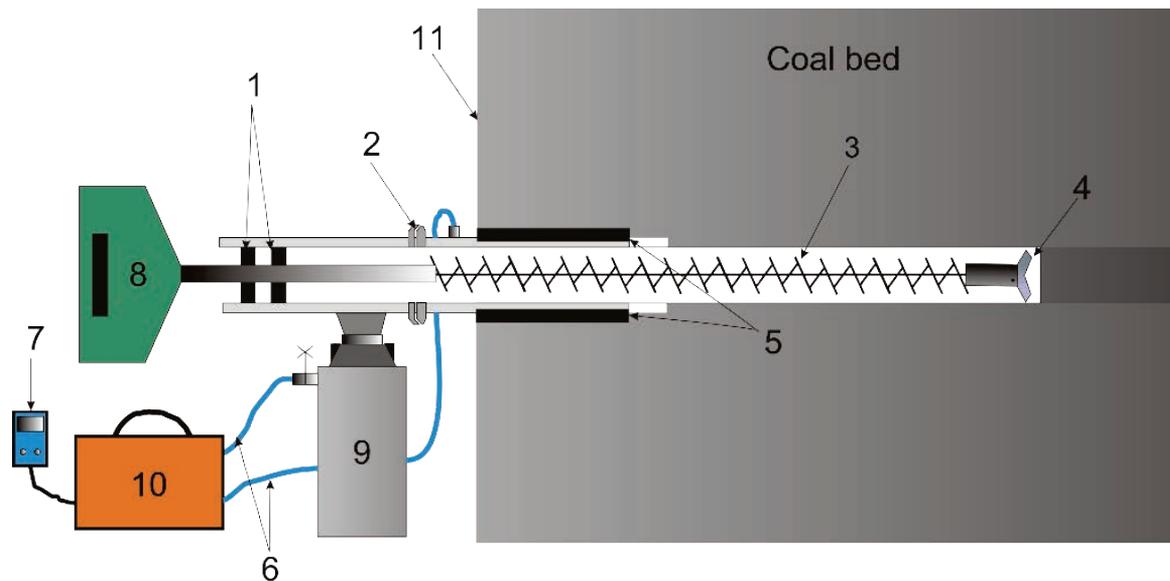


Рис. 3. Принципиальная схема устройства для оперативного измерения газоносности угля [4]: 1 — манжета; 2 — быстроразъемное соединение; 3 — штанга шнекового типа; 4 — буровая коронка на 42 мм; 5 — герметизатор из упругого материала; 6 — пневмомагистраль; 7 — пульт; 8 — сверло бурильное; 9 — штыбприемник (либо ТБК); 10 — носимый измерительный комплекс; 11 — линия забоя выработки

В качестве примера демонстрации возможностей устройства на рисунке 4 отражен результат расчета распределения газового потенциала в борту выработки по данным измерений остаточной газоносности проб угля

по длине контрольного шпура. Контрольный шпур бурился на расстояние 25–30 метров от забоя выработки, с момента обнажения борта выработки на момент бурения шпура прошло около 5 суток.

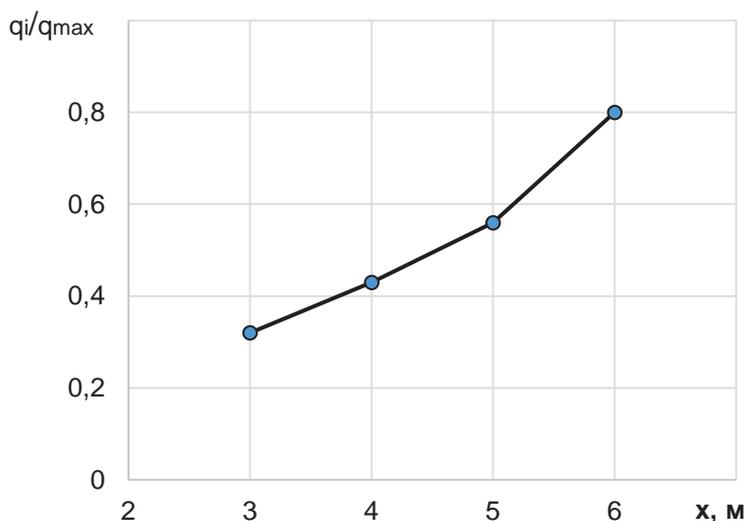


Рис. 4. Изменение газового потенциала пробы угля по длине контрольного шпура

С учетом представленных данных разработан метод оценки эффективности дегазационных мероприятий при отработке выемочного столба, который включает комплекс

мер с возможностью контроля изменений газокинетических характеристик призабойной части угольного пласта (рис. 5).

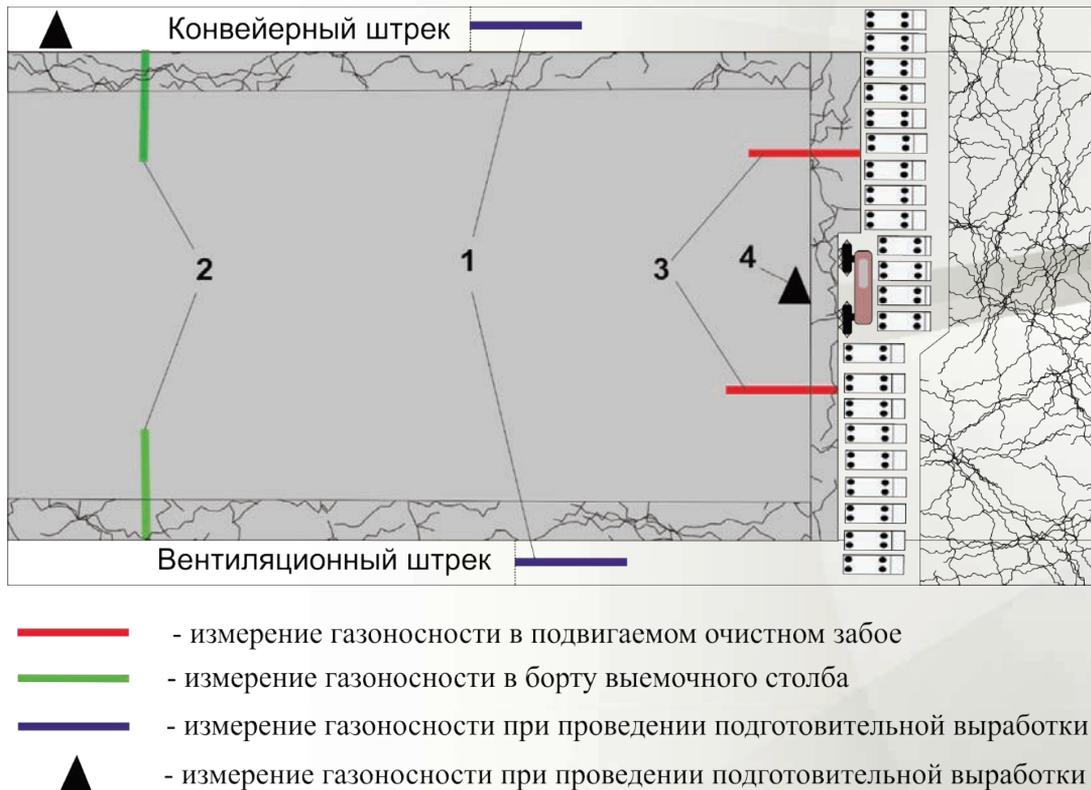


Рис. 5. Схема выполнения замеров

Метод является многостадийным (содержит 4 стадии), и реализация его выполнения осуществляется на всем этапе отработки выемочного столба, что позволяет контролировать «реализацию» газового потенциала из угольного пласта в атмосферу горной выработки.

Стадия 1. На стадии проведения подготовительных выработок выполняется замер природной газозапасности из забоя подготовительной выработки [11] (1, рис. 5).

Стадия 2. Непосредственно в процессе монтажа очистного комплекса выполняется оценка степени дегазации подготовительной выработкой пласта [12] (2, рис. 5).

Стадия 3. Ряд замеров в забое очистной выработки (3, рис. 5). В результате выполнения данной стадии определяется распределение газового потенциала в условиях сложного геомеханического состояния угленосного массива, что с высокой точностью позволяет выполнять количественную оценку эффективности дегазации.

Стадия 4. Ряд замеров с использованием

термобарометрических колб [10] (разработка ФИЦ УУХ СО РАН) для определения газозапасности в отбиваемой части пласта непосредственно у очистного комбайна и на выходе из выемочного участка (4, рис. 5). Целью данной стадии является определение объема газа, выделившегося в момент транспортировки по конвейерной ленте в пределах выемочного участка.

В ходе выполнения замеров будет выполнен замер природной газозапасности угольного пласта, а также получены следующие зависимости:

$$\chi_6 = f(x, \sigma); \chi_3 = f(x, t, \sigma); V_{от} = f(t, \chi_{от}),$$

где  $\chi_6$  — газозапасность в борту подготовительной выработки, м<sup>3</sup>/т;  $x$  — расстояние от кромки вглубь массива, м;  $\sigma$  — механические напряжения, МПа;  $\chi_3$  — газозапасность в призабойной части пласта, м<sup>3</sup>/т;  $t$  — время с момента обнажения кромки забоя;  $V_{от}$  — объем поступающего метана из отбитого угля, м<sup>3</sup>/т мин.

Полученные экспериментальные данные позволят, по мере выполнения 4 стадий при отработке выемочного столба, с высокой точностью рассчитывать газокинетические параметры отработываемого угольного пласта.

### ВЫВОД

Представленный метод оценки основан на экспериментальных замерах, что по-

зволяет получить высокую точность определяемых параметров, связанных с газовой безопасностью угольных шахт. Замеры, выполненные с использованием нового горно-экспериментального метода, позволят определить функцию распределения газового потенциала по времени и расстоянию от поверхности забоя отработываемого выемочного столба.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Родин Р.И. Эффективность дегазации шахт Кузбасса // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2011. № 2. С. 116–119.
2. Клишин В.И., Курленя М.В. Создание оборудования для дегазации угольных пластов на принципе гидроразрыва горных пород // Уголь. 2011. № 10. С. 34–39.
3. Плаксин М.С., Родин Р.И., Рябцев А.А. и др. Гидроразрыв угольного пласта в шахтных условиях как панацея решения газовых проблем шахт (основы разработки и внедрения) // Уголь. 2015. № 2. С. 48–50.
4. Васильев В.А., Верисокин А.Е. Гидроразрыв пласта в горизонтальных скважинах // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2013. № 6. С. 101–110.
5. Чернов О.И. Развитие метода комплексной борьбы с угольной пылью, горными ударами, газовыделениями, внезапными выбросами угля и газа и эндогенными пожарами в угольных шахтах // Сб. «Нагнетание воды в угольные пласты». М.: Недра, 1965. С. 7–64.
6. Шинкевич М.В. Газовыделение из отработываемого пласта с учётом геомеханических процессов во вмещающем массиве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № S6. С. 278–285.
7. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Рябцев А.А. и др. Оценка влияния напряжений на газоносность приконтурной части пласта // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2016. № 1. С. 16–24.
8. Алексеев А.Д., Айруни А.Т., Зверев И.В. и др. Свойства органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов // Научное открытие. Диплом № 9. М.: РАЕН, 1994. 3 с.
9. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов. М.: ИАГН, 2000. 519 с.
10. Plaksin M.S., Kozyreva E.N., Rodin R.I. Framework for innovative determination of natural gas content in coal seams // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Ser. «International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources, KTDMUR 2019». No. (377). 2019. P. 012053.
11. Плаксин М.С., Родин Р.И., Радиковский И.В. и др. Результаты измерения газового потенциала в приконтурной части угольного пласта // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2021. № 4. С. 50–57.
12. Плаксин М.С., Родин Р.И., Радиковский И.В. и др. Результаты измерения газоносности в призабойной части угольного пласта // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2021. № 4. С. 80–86.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2022.12.46.005

UDC 622.831.322

© M.S. Plaksin, 2022

**M.S. PLAKSIN**

Candidate of Engineering Sciences,  
Senior Researcher  
Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry, Kemerovo  
e-mail: plaksin@bk.ru

**DEVELOPMENT OF A METHOD FOR ASSESSING THE EFFECTIVENESS OF DEGASSING MEASURES BASED ON AN INNOVATIVE METHOD FOR MEASURING THE GAS POTENTIAL OF A COAL SEAM**

*The article discusses a new comprehensive approach to quantifying the effectiveness of degassing measures and the distribution of gas potential in the bottomhole part of the formation when working out the excavation column using an innovative approach to measure the gas kinetic characteristics of the coal formation. A brief description of the main stages of the method was made.*

Keywords: GAS CONTENT, METHANE CONTENT, COAL SEAM, PREPARATORY WORKINGS, EXCAVATION COLUMN, GAS-KINETIC HAZARD.

**REFERENCES**

1. Rodin R.I. Efficiency of degassing of Kuzbass mines // Bulletin of the Scientific center for the safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti]. 2011. No. 2. P. 116–119. [In Russ.].
2. Klishin V.I., Kurlenya M.V. Creation of equipment for degassing coal seams on the principle of hydraulic fracturing of rocks // Coal [Ugol]. 2011. No. 10. P. 34–39. [In Russ.].
3. Plaksin M.S., Rodin R.I., Ryabtsev A.A., etc. Hydraulic fracturing of a coal seam in mine conditions as a panacea for solving gas problems of mines (fundamentals of development and implementation) // Coal [Ugol]. 2015. No. 2. P. 48–50. [In Russ.].
4. Vasiliev V.A., Verisokin A.E. Hydraulic fracturing in horizontal wells // Bulletin of Perm national research polytechnic university. Geology. Oil and gas and mining [Vestnik Permskogo nacionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo]. 2013. No. 6. P. 101–110. [In Russ.].
5. Chernov O.I. Development of a method of integrated control of coal dust, mining impacts, gas emissions, sudden emissions of coal and gas and endogenous fires in coal mines // Collection «Injection of water into coal seams». M.: Nedra, 1965. P. 7–64. [In Russ.].
6. Shinkevich M.V. Gas release from the worked formation taking into account geomechanical processes in the host array // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal) [Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten (nauchno-tekhnicheskij zhurnal)]. 2013. No. S6. P. 278–285. [In Russ.].
7. Polevshchikov G.Ya., Kozyreva E.N., Ryabtsev A.A., etc. Assessment of the effect of stresses on the gas content of the near-contour part of the formation // Bulletin of the Scientific center for the safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti]. 2016. No. 1. P. 16–24. [In Russ.].
8. Alekseev A.D., Ayruni A.T., Zverev I.V., etc. Properties of organic matter of coal to form metastable single-phase systems with gases according to the type of solid solutions // Scientific discovery. Diploma No. 9. Moscow, 1994. 3 p. [In Russ.].
9. Malyshev Yu.N., Trubetskoy K.N., Ayruni A.T. Fundamental and applied methods for solving the problem of coal seams. Moscow, 2000. 519 p. [In Russ.].
10. Plaksin M.S., Kozyreva E.N., Rodin R.I. Framework for innovative determination of natural gas content in coal seams // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Ser. «International Scientific and Research Conference on Knowledge-Based Technologies in Development and Utilization of Mineral Resources, KTDMUR 2019». No. (377). 2019. P. 012053.

11. Plaksin M.S., Rodin R.I., Radikovskiy I.V., etc. The results of measuring the gas potential in the near-contour part of the coal seam // Bulletin of the Scientific center for the safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti]. 2021. No. 4. P. 50–57. [In Russ.].

12. Plaksin M.S., Rodin R.I., Radikovskiy I.V., etc. The results of measuring the gas content in the bottom-hole part of the coal seam // Bulletin of the Scientific center for the safety of work in the coal industry [Vestnik Nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti]. 2021. No. 4. P. 80–86. [In Russ.].