

УДК 622.411.332:533.17:551.24

**Лукинов В.В.**, д-р геол.-мин. наук, профессор,  
**Безручко К.А.**, д-р геол. наук, ст. научн. сотр.,  
**Дрожжа Т.М.**, магистр  
(ИГТМ НАН Украины)

**КРИТЕРИИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНОМАЛЬНЫХ  
ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ЗОН ВО ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ  
УГЛЕНОСНОЙ ТОЛЩИ**

**Лукинов В.В.**, д-р геол.-мін. наук, проф.,  
**Безручко К.А.**, д-р геол. наук, ст. наук. співр.,  
**Дрожжа Т.М.**, магістр  
(ІГТМ НАН України)

**КРИТЕРІЇ ВИЗНАЧЕННЯ АНОМАЛЬНИХ ГАЗОНАСИЧЕНИХ ЗОН  
У ВМІЩУЮЧИХ ПОРОДАХ ВУГЛЕНОСНОЇ ТОВЩИ**

**Lukinov V.V.**, D. Sc (Geol.- Min.), Professor,  
**Bezruchko K.A.**, D. Sc (Geol.), Senior Researcher,  
**Drozhzha T.M.**, M.S. (Tech.)  
(IGTM NAS of Ukraine)

**CRITERIA FOR DETERMINING GAS-SATURATED  
ANOMALOUS ZONES IN ENCLOSING ROCKS  
OF THE COAL-BEARING STRATA**

**Аннотация.** Рассмотрены основные геологические факторы, которые определяют фильтрационно-емкостные свойства породного массива и влияют на формирование аномальных газонасыщенных зон в геотехнологических системах, то есть техногенных скоплений метана в угле вмещающих породах в зонах влияния подземных горных работ – условия осадконакопления, постдиагенетических преобразований и тектонических воздействий. В качестве критериев для определения аномальных газонасыщенных зон во вмещающих породах угленосной толщи предложены следующие физические характеристики: коэффициент открытой пористости, коэффициент эффективной пористости, относительная газонасыщенность, остаточная водонасыщенность, размер основных фильтрующих каналов, абсолютная газопроницаемость и газоносность.

По указанным характеристикам определены количественные критерии, характеризующие зоны скопления метана во вмещающих породах угленосной толщи. Предложена новая формула для определения минимальной газоносности в зонах скопления свободного метана во вмещающих породах для различных глубин.

**Ключевые слова:** угле вмещающие породы, физические характеристики, газонасыщенные зоны, количественные критерии зон газовых скоплений.

**Актуальность.** Характерной особенностью геотехнологических систем, то есть породных массивов, вмещающих горные выработки, является структурная

нарушенность разнообразными трещинами, которые ослабляют их прочность и увеличивают деформированность. Происхождение этих трещин связано как с геологическими условиями генезиса и постдиагенетического преобразования самой породы, так и с механизмом влияния горных работ, включая возникновение трещин вследствие применения технологий разрушения массива проходческой техникой и (особенно) взрывными работами, а также возникновение трещин отжима и давления в результате перераспределения естественного напряженного состояния массива, ослабленного горными выработками [1].

Основываясь на том факте, что в результате подработки, породы, залегающие в зоне влияния горных работ, разуплотняются, расслаиваются, нарушаются трещинами, можно утверждать, что углепородный массив в зоне влияния горных работ способен изменять физические свойства. В разгруженных в результате подработки горных породах, должны улучшаться коллекторские свойства – увеличиваться абсолютная, открытая и эффективная пористость, проницаемость. И эти процессы должны охватывать значительную часть породного массива.

Анализ ранее выполненных работ свидетельствует, что наиболее перспективными коллекторами, в которых могут формироваться скопления «подвижного» метана являются песчаники [2]. В процессе геологического развития в толще песчаников устанавливается и сохраняется баланс между отдельными фазами системы «вода – газ-метан» [3]. В таких условиях метан находится в свободном состоянии, но не является подвижным. Система, будучи выведенной из равновесия, стремится к состоянию равновесия в новых условиях, путем перераспределения воды и газа, который, получив подвижность, начинает перемещаться от зоны высокого давления к области низкого давления. Газ стремится занять гипсометрически более высокое положение, а вода – низкое. Эпизодические случаи вскрытия скоплений метана, которые сопровождаются выбросами газа из скважин или суфлярными выделениями метана в шахтах, свидетельствуют о возможности их формирования под воздействием различных факторов, например тектоники, или технологических, связанных с горными работами.

До последнего времени вопросы, связанные с влиянием горных работ на количественные параметры физических свойств горных пород, детально не изучались. В какой мере масштабны эти процессы, какая степень изменения физических свойств пород в результате техногенного воздействия на горный массив и насколько правомерно дальнейшее использование данных о свойствах горных пород, полученных на стадии проведения геологоразведочных работ, являются актуальными вопросами. Их решение позволит достовернее прогнозировать свойства горных пород, в частности фильтрационно-емкостные, поведение углепородного массива в процессе ведения горных работ и по их завершению. В том числе, определить геологические факторы и условия формирования техногенных коллекторов в геотехнологических системах.

**Результаты исследований.** В модели формирования техногенных скоплений (залежей) газа, связанных с подработкой горного массива, определяющим фактором являются процессы разуплотнения и трещинообразования [2]. Техно-

генные скопления формируются в процессе подработки песчаников в результате увеличения их проницаемости за счет трещинообразования. В случаях, когда деформации растяжения слоев песчаников превышают критические значения, в них развиваются хрупкие деформации разрыва, приводящие к возникновению трещиноватости, изменению коллекторских свойств – увеличению проницаемости пораженных трещинами слоев песчаника и возможности формирования скоплений газа. Во время выемки угля происходит разгрузка угольных пластов и вмещающих пород от горного давления, их растрескивание, розуплотнение, увеличение проницаемости, что обуславливает формирование техногенных коллекторов, в которых свободный (из порового пространства), десорбированный (преимущественно из угля) и дегазированный из растворов метан переходит в подвижное состояние, что позволяет ему концентрироваться в значительные скопления. Размеры зоны розуплотнения и интенсивность трещинообразования зависят от величин деформаций и деформационных характеристик породы.

В работе [4] по результатам сравнения образцов песчаников из ненарушенных зон и зон влияния подработки установлено увеличение абсолютной, открытой и эффективной пористости и незначительное изменение проницаемости. Основываясь на этих исследованиях было установлено, что основное влияние на проницаемость массива имеют трещины, которые создают интегральную эффективную пустотность.

С целью изучения изменения физических свойств пород под воздействием горных работ были проведены исследования коллекторских свойств (коэффициента открытой пористости) и плотностных свойств (объемной плотности и плотности твердой фазы) и сравнение этих показателей по пробам, отобраным из керна геологоразведочных скважин на стадии разведки, и пробам, которые были отобраны непосредственно из горных выработок действующих шахт. По полученным данным различие в количественных параметрах физических свойств может быть обусловлено только техногенными факторами влияния на горный массив.

Исследовались выдержанные по площади и в разрезе песчаники, в которых проводились подготовительные горные работы на шахтах им. А.Г. Стаханова, «Красноармейская-Западная-1» (Красноармейский геолого-промышленный район), им. А.А. Скочинского, им. К.И. Поченкова (Донецко-Макеевский геолого-промышленный район), «Комсомолец», им. К.А. Румянцева, «Кочегарка» (Центральный геолого-промышленный район), «Самсоновская-Западная» (Краснодонский геолого-промышленный район).

В результате было установлено, что в период эксплуатации угольных месторождений на отработанных участках действующих шахт и на участках закрытых шахт под воздействием техногенного фактора песчаники приобретают улучшенные емкостные и фильтрационные свойства. Коэффициент открытой пористости увеличивается в пределах от 0,9 % до 3,1 %, соответственно, в относительных единицах рост открытой пористости представляет 19 % – 38 %, то есть, открытая пористость возрастает в 1,2-1,4 раза. Повышается абсолютная проницаемость до десятков и сотен миллидарси, а именно от  $42 \cdot 10^{-15}$  до  $395 \cdot 10^{-15}$

$10^{-15} \text{ м}^2$  (42–395 мД) и соответствует промышленным коллекторам III – IV классов), что благоприятно влияет на возможность накопления свободного метана в нарушенном породном массиве. В то время как в ненарушенных слоях песчаников сохраняется низкая проницаемость, обычно не более десятых долей миллидарси, которая обуславливает их экранирующую способность и создает предпосылки для формирования газовой залежи.

Аналогичные результаты были получены при исследовании влияния горных работ на изменение давления и определении интегральной проницаемости в подработанном углепородном массиве [5, 6]. Исследования проводились в песчаниках нарушенного углепородного массива над отработанным пластом  $n_1$  в районе скважин №№ 3431, 3844, Д-5 на поле шахты им. А.Ф. Засядько. По полученным данным проницаемость подработанного массива составила  $100 \div 400 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$ .

Для расчета проницаемости песчаников в трещиноватой зоне на основе анализа существующих математических моделей порового пространства в работе [7] было обосновано применение трещинно-капиллярной структурной модели, согласно которой абсолютная проницаемость является функцией величины раскрытости трещин и трещинной пористости:

$$K_{np} = 8,5 \cdot 10^{10} b^2 K_{mp}, \quad (1)$$

где  $K_{np}$  – коэффициент абсолютной проницаемости,  $10^{-12} \text{ м}^2$  (Д);  $b$  – раскрытость (ширина) трещины, м;  $K_{mp}$  – коэффициент трещинной пористости, доли единицы.

Как известно предельно допустимые (критические) значения линейной деформации для песчаников составляют 1,003–1,004. Считая, что минимальные объемные деформации при растяжении и хрупких деформациях в песчанике в зоне влияния горных выработок будут не меньшими предельно допустимых (критических) значений линейной деформации, т.е. 1,003, можно принять это значение в качестве минимально возможного значения объемной деформации для расчета прироста пористости за счет разуплотнения, т.е. фактически минимальной трещинной пористости при разуплотнении в результате подработки или надработки углепородного массива. Эта минимальная трещинная пористость может быть рассчитана по формуле (1). Считая, что мощность пласта не претерпевает изменений, по сравнению с линейными размерами пласта в плане, которые происходят при деформациях растяжения песчаника, которые превышают предельно допустимые (критические) значения (1,003–1,004), минимальная объемная деформация при формировании только одной системы трещин одинаковой направленности соответствует предельно допустимой линейной деформации растяжения. Такое объемное разуплотнение для пород с начальной пористостью до 10 % приведет к увеличению пористости, которая рассчитывается по формуле (2), на 0,3–0,4 %.

$$K_{mp} = \Delta P = P' - P = \frac{P + (\omega - 1)}{\omega} - P, \quad (2)$$

где  $\Delta P$  – изменение пористости при разуплотнении за счет трещинообразования, доли единицы;  $P$  – начальная пористость, доли единицы;  $P'$  – пористость в зоне разуплотнения, доли единицы;  $\omega$  – коэффициент, является безразмерной величиной и характеризует относительную объемную деформацию породного массива, которая численно равна отношению объема разуплотнённого массива к первичному объему массива.

Трещинной пористости 0,3–0,4 % и раскрытости трещин в трещиноватой зоне, которая составляет не менее 10–15 мкм [7] или, соответственно,  $1,0 \cdot 10^{-5}$ – $1,5 \cdot 10^{-5}$  м, соответствует коэффициент проницаемости, рассчитанный по формуле (1)  $25 \cdot 10^{-15}$ – $50 \cdot 10^{-15}$  м<sup>2</sup> (25–50 мД).

Основная часть порового пространства песчаников Донбасса [1] сформирована порами размером  $10^{-8}$ – $10^{-6}$  м, а поры размером  $10^{-7}$  м и меньше недоступны для фильтрации флюидов, поскольку заняты связанной водой. То есть, минимальный размер поровых каналов, доступных для фильтрации, составляет порядка  $10^{-6}$  м, что может соответствовать коллекторам промышленного значения низкой проницаемости (V класс), размер фильтрующих каналов которых составляет единицы микрон.

Таким образом, в пределах нарушенной трещинами зоны, может сформироваться резервуар с улучшенными коллекторскими свойствами, то есть, коллектор IV класса, тогда, как в ненарушенных трещинами слоях песчаника сохраняются низкие фильтрационные характеристики. Следовательно, ненарушенные трещинами слои песчаника могут остаться газонепроницаемыми, образуя естественный экран.

Основываясь на модели «вода-газ» [3] коллекторам должна соответствовать остаточная водонасыщенность, которая не превышает равновесную для смачивающей фазы (воды), переходной зоне – остаточная водонасыщенность в пределах от равновесной для смачивающей фазы к равновесному насыщению двумя фазами, неколлекторам и флюидоупорам – остаточная водонасыщенность в пределах от близкой к равновесной насыщенности двумя фазами к полному водонасыщению. Предложенная модель предусматривает, что условием существования газовой залежи в песчаниках является присутствие в порах не менее 50 % газа при соответствующем давлении. Это подтверждено многими экспериментальными данными. При больших значениях естественной влажности, когда степень заполнения пор влагой (относительная водонасыщенность) составляет более 50 %, способность пласта быть коллектором определяется соотношением связанной и свободной воды. При остаточном водонасыщении, близком к равновесному насыщению обеими фазами для данной породы или большему (свыше 65–70 % для песчаников), пласт по своим свойствам может быть охарактеризован как флюидоупор. Пласт-коллектор, в свою очередь, может

быть потенциально газо- или водонасыщенным, в последнем случае можно говорить о зонах возможных повышенных водопритоков. Газовая залежь в породном массиве может сформироваться, когда количество связанной воды (остаточная водонасыщенность) не превышает 50 % и влияние внешних факторов создает условия для разделения воды и газа.

Согласно данным, приведенным в работе [3], этим условиям могут соответствовать поровые коллекторы в песчаниках подводных выносов рек, песчаниках подводных выносов рек с признаками русловых и русловых, невысоких стадий катагенеза МК<sub>1</sub> – МК<sub>3</sub> (соответствуют маркам углей от Д до ГЖ, Ж). Коллекторы трещинно-порового и порово-трещинного типов могут образоваться в песчаниках любого литогенетического типа, включая прибрежно-морские и на более высоких стадиях катагенеза – до МК<sub>4</sub> (угли марки К) включительно.

Большая остаточная водонасыщенность является главным препятствием для возможности породы иметь фильтрационно-емкостные свойства благоприятные для накопления газа. Если рассматривать требования к условиям существования газовых скоплений с точки зрения минимального газонасыщения, которое может наблюдаться в породном массиве, степень заполнения пор песчаников газом должна быть не менее 50 % [3]. Это условие является необходимым для формирования газовой залежи. То есть газовая залежь в породном массиве может сформироваться, когда количество связанной воды (остаточная водонасыщенность) не превышает 50 %. Приняв 50 % за предел, после которого формирование газовых скоплений, учитывая высокую остаточную водонасыщенность, является невозможным, можно определить какая открытая пористость песчаников Донбасса соответствует этому значению. Такой расчет можно осуществить при помощи формулы (3), которая по своей сути является зависимостью остаточной водонасыщенности от коэффициента открытой пористости [3].

$$G = 90,56 - 11,57 K_n + 0,54 K_n^2, \quad (3)$$

где  $G$  – коэффициент водонасыщения пор песчаников, %;  $K_n$  – коэффициент открытой пористости, %.

Воспользовавшись указанной формулой, получаем значение коэффициента открытой пористости, которое составляет 4,4 %. Это минимальная открытая пористость, которая может быть свойственна газонасыщенным нетрещиноватым песчаникам.

Минимальное значение коэффициента открытой пористости и минимальная степень заполнения пор газом газонасыщенных песчаников, позволяют определить минимальное значение коэффициента эффективной пористости, которая может наблюдаться у песчаников, вмещающих скопления газа. Минимальный коэффициент эффективной пористости равен 2,2 %. Полученное значение полностью согласуется с известными фактическими данными.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что песчаники зон среднего и позднего катагенеза, ненарушенные трещинами, с открытой пористостью до 4,4 % является непроницаемыми.

Результаты исследований, приведенные в работе [3] подтверждают, что песчаники ненарушенные трещинами с открытой пористостью менее 6,3–9,0 %, характеризуются низкой проницаемостью – не более  $5 \cdot 10^{-16} - 1 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$  (0,5–1,0 мД), то есть, имеют экранирующую способность и могут служить крышкой или экраном газовой залежи при условии, что фильтрация газа через них нуждается в существенном давлении прорыва. Нетрещиноватые песчаники с открытой пористостью в пределах 6,3–9,0 % условно можно отнести к переходной зоне «коллектор-неколлектор», а песчаники с открытой пористостью 9,0–12,6 % и более, при условии незначительного количества связанной воды и проницаемости свыше  $1 \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$  (1 мД) – к коллекторам порового типа.

Определенные критериальные значения фильтрационно-емкостных свойств (коэффициенты открытой и эффективной пористости, относительная газонасыщенность, остаточная водонасыщенность) позволяют рассчитать также количественный критерий для газоносности, соответствующий скоплениям свободного газа в песчаниках.

Для расчета потенциальной газонасыщенности  $V$  ( $\text{м}^3$  газа /  $\text{м}^3$  породы) в работе [1] используется формула

$$V = K_n \cdot \beta \cdot P_z \cdot f \cdot 1/Z,$$

где  $K_n$  – коэффициент открытой пористости, доли единицы;  $P_z$  – давление газа на заданной глубине, атм;  $f$  – поправка на температуру для приведения объема газа к стандартной температуре, б/р;  $Z$  – коэффициент сверхсжимаемости газа;  $\beta$  – коэффициент газонасыщения, %.

Если проанализировать удельные потенциальные газонасыщенности, определенные по расчетному давлению и давлению с учетом поправок в указанной работе [1], то можно увидеть, что они различаются не более, чем на 10 – 15 %. Поэтому в общих расчетах этими поправками можно пренебречь. Как известно [1] давление газа в песчаниках Донбасса составляет 0,8–0,9 от гидростатического. Поэтому в расчетах для величины давления принимается коэффициент равный 0,85. Газ занимает не весь объем открытых пор, часть порового пространства заполнена жидким флюидом, чаще всего водой. Коэффициент газонасыщенности песчаников продуктивных горизонтов нефтегазоконденсатных месторождений ДДВ в среднем изменяется от 0,7 до 0,9, для выбросоопасных, наиболее газонасыщенных, песчаников Донбасса он колеблется от 0,5 до 0,85, для выбросонеопасных – от 0,25 до 0,5 [1]. Для расчета критериального значения газоносности принимается значение 0,5 как минимально необходимое для существования скопления свободного газа в песчаниках. В качестве величины коэффициента открытой пористости принимается ранее найденное критериальное значение этой характеристики равное 4,4 %. Тогда формула для расчета минимальной газоносности  $V_{min}$ , которая, будет соответствовать условиям существования газового скопления на глубине  $H$  (м), принимает следующий вид

$$V_{min} = 0,00187 \cdot \gamma \cdot H \quad (4)$$

где  $\gamma$  – плотность воды  $1 \text{ г/см}^3$ .

Коэффициент 0,00187 рассчитан как произведение критериальных значений коэффициента открытой пористости, газонасыщенности и поправочного коэффициента к давлению равного 0,85.

Для интервала глубин 500–1500 м (давление 42,5–127,5 атм) полученные значения газонасыщенности составляют 0,94–2,81  $\text{м}^3/\text{м}^3$ .

В работах [1, 8] приводятся данные изменения открытой пористости с глубиной, которые свидетельствуют о закономерном снижении открытой пористости песчаников Донбасса с глубиной от 2,70 % до 3,15 % на 1000 м (в среднем на 3 % на 1000 м) и закономерном увеличении давления газа с глубиной, которые доказывают, что изменения потенциальной газонасыщенности песчаников Донбасса с глубиной имеют параболический характер. То есть, газонасыщенность с глубиной сначала увеличивается, достигает максимума, а потом, с ростом глубины, снижается. Это обусловлено с одной стороны уменьшением открытой пористости песчаников с современной глубиной, а с другой – увеличением с глубиной давления газа, который содержится в этих песчаниках. Глубины максимальной потенциальной газонасыщенности песчаников в зоне развития углей средних и высоких стадий метаморфизма, согласно [1, 8], изменяются от 1280 м до 1850 – 2000 м, а практически полное отсутствие в них газонасыщения прогнозируется на глубинах от 2600 м до 3800 м. Для более благоприятных условий газонасыщенность этих песчаников может составлять 5 – 9  $\text{м}^3/\text{м}^3$  [8]. Следует отметить, что применение формулы (4) может иметь свою область определения, которая должна быть ограничена большими глубинами.

Относительно высокая метаноносность свойственна выбросоопасным песчаникам (выбросы пород и газа зафиксированы в зонах распространения углей марок Г, Ж, изредка К). Метаноносность песчаников, задействованных в выбросах, в среднем колеблется от 3,0 до 5,5  $\text{м}^3/\text{т}$  или от 7,5  $\text{м}^3/\text{м}^3$  до 14,0  $\text{м}^3/\text{м}^3$ , в то время, как метаноносность выбросоопасных песчаников по разным данным составляет от 0,2–1,0  $\text{м}^3/\text{т}$  до – 0,1–2,3  $\text{м}^3/\text{т}$  [1].

По данным Г.З. Задары [9] в породах зоны распространения углей марок Д, Г в условиях моноклинального залегания, метаноносность песчаников не превышает 0,5  $\text{м}^3/\text{м}^3$  породы. Метаноносность в условиях благоприятных для накопления и сохранения свободного газа достигает 6 – 10  $\text{м}^3/\text{м}^3$  на угольных месторождениях и 4 – 23  $\text{м}^3/\text{м}^3$  – на газовых месторождениях на глубинах 1,5 – 2,0 км. Исходя из того, что коллекторские свойства песчаников зависят, в первую очередь, от их открытой пористости, уменьшающейся по мере роста степени метаморфизма угольных пластов, залегающих вблизи песчаников, авторы работы [10] предполагают снижение газонасыщенности с уменьшением открытой пористости. И приводят данные, что газонасыщенность песчаников, вмещающих угли марок от Д к Т изменяется от 1,3–1,6  $\text{м}^3/\text{т}$  до 2,3–3,6  $\text{м}^3/\text{т}$  и уменьшается до 0,5 – 1,3  $\text{м}^3/\text{т}$  в зоне распространения полуантрацита и антрацита. Г.З. Задара [9] приводит данные относительно того, что в песчаниках с углями марок ОС-Т, развитых в зоне мелкой складчатости, содержание метана не превышает 0,5–1,0  $\text{м}^3/\text{м}^3$  и, только отдельные зоны (горизонты) трещиноватых песчаников



вмещают более значительные объемы свободного газа, которые могут достигать  $3,5-6,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$ . Таким образом полученные согласно формулы (4) расчетные данные для газоносности пород, вмещающих скопления свободного газа, в полной мере согласуются с фактическими данными других исследователей.

**Выводы.** Характеристики количественных параметров фильтрационных и емкостных свойств пород-коллекторов различных типов, в частности, пород, находящихся в трещиноватых зонах техногенного происхождения, которые могут быть пригодными для формирования скоплений газа, приведены в табл. 1. Формирование газовых скоплений в трещиноватых зонах возникших в результате хрупких деформаций разрыва, предусматривает образование трещин с раскрытостью не менее  $10^{-5}$  м и увеличение открытой пористости за счет трещинной пористости, как минимум, на 0,3–0,4 %. Такой прирост открытой пористости является достаточным для роста абсолютной проницаемости пород не менее, чем на два порядка и приобретение песчаниками свойств присущих промышленным коллекторам IV класса. В результате чего песчаники приобретают абсолютную газопроницаемость не менее  $(25-50) \cdot 10^{-15} \text{ м}^2$  (25–50 мД).

Для коллекторов техногенного происхождения проницаемость составляет более 100 миллиардси. Рост абсолютной проницаемости обусловлен раскрытостью сформированных трещин, которые становятся основными фильтрующими каналами (составляющими по размеру не менее  $10^{-5}$  м) и, как минимум, на порядок превышают размер первичных пор. При этом перераспределение воды и газа должно привести к увеличению степени заполнения пор газом в разуплотнённой зоне не менее чем до 50 %.

Таким образом, основными геологическими факторами, которые влияют на формирование аномальных газонасыщенных зон в геотехнологических системах, то есть техногенных скоплений метана в углевмещающих породах в зонах влияния подземных горных работ, являются первичные условия осадконакопления, условия постдиагенетических преобразований и тектонические условия, определяющие фильтрационно-емкостные свойства породного массива. Основными геологическими критериями для выделения аномальных газонасыщенных зон являются коэффициент открытой пористости, коэффициент эффективной пористости, относительная газонасыщенность, остаточная водонасыщенность, размер основных фильтрующих каналов, абсолютная газопроницаемость и газоносность.

Таблица 1 – Геологические критерии выделения аномальных газонасыщенных зон в песчаниках угленосной толщи

Основные геологические критерии	Для поровых коллекторов	Для трещинно-поровых и порово-трещинных коллекторов	Для трещинных коллекторов техногенного происхождения
Степень катагенеза	Градации катагенеза МК <sub>1</sub> – МК <sub>3</sub> (соответствуют маркам углей от Д до ГЖ, Ж)	Градации катагенеза МК <sub>1</sub> – МК <sub>4</sub> (соответствуют маркам углей от Д до К)	Градации катагенеза МК <sub>1</sub> – МК <sub>4</sub> (соответствуют маркам углей от Д до К)
Литогенетический тип песчаника	Р, ПВР-Р, ПВР	Р, ПВР-Р, ПВР, ПВР-ПМ, ПМ	Р, ПВР-Р, ПВР, ПВР-ПМ, ПМ
Газоносность (метаносность)*, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,94–2,81	0,94–2,81	0,94–2,81
Тектонические условия	Простые литологические, структурные и комбинированные ловушки	Комбинированные ловушки с обязательным наличием зоны трещиноватости тектонического происхождения	Техногенные ловушки сформированные за счет трещиноватости в зоне влияния горных работ
Коэффициент открытой пористости, %	≥ 4,4	не нормируется (трещинная пористость ≥ 0,3-0,4)	не нормируется (трещинная пористость ≥ 0,3-0,4)
Коэффициент эффективной пористости, %	≥ 2,2	≥ 2,2	≥ 2,2
Относительная газонасыщенность, %	≥ 50	≥ 50	≥ 50
Остаточная водонасыщенность, %	< 50	< 50	< 50
размер фильтрующих каналов, м	≥ 1·10 <sup>-6</sup>	≥ 1·10 <sup>-5</sup>	≥ 1·10 <sup>-5</sup>
абсолютная газопроницаемость, 10 <sup>-15</sup> м <sup>2</sup>	≥ 1·10 <sup>-15</sup>	≥ (2,5-5,0)·10 <sup>-14</sup>	≥ 1·10 <sup>-13</sup>

\*Примечание – газоносность приведена для интервала глубин 500–1500 м.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Угледородный массив Донбасса как гетерогенная среда / А.Ф. Булат, Е.Л. Звягильский, В.В. Лукинов [и др.]. – К.: Наук.думка, 2008. – 412 с.
2. Лукинов, В.В. Горно-геологические условия образования скоплений свободного метана на угольных месторождениях / В.В. Лукинов // Науковий вісник НГУ. – 2007. – № 4. – С. 55–59.
3. Булат, А.Ф. Система «вода-газ» в массиве горных пород Донбасса / А.Ф. Булат, К.А. Безручко. – К.: Наукова думка, 2015. – 192 с.
4. Фильтрационные параметры коллектора – угледородного массива, подработанного горными выработками / В.В. Лукинов, А.П. Клец, В.В. Бобрышев [и др.] // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2002. – Вип. 37. – С. 74–79.
5. Лукинов, В.В. Определение давления флюидов и интегральной проницаемости подработанного угледородного массива / В.В. Лукинов, А.В. Приходченко // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2010. – Вип. 87. – С. 203–208.
6. Давление флюидов и оценка изменения интегральной проницаемости в подработанном угледородном массиве / В.В. Лукинов, А.П. Клец, А.В. Приходченко, А.А. Тихонов // Науковий вісник НГУ. – № 5. – 2010. – С. 106–110.
7. Лукинов, В.В. Формування проникності гірських порід у локальних антиклінальних структурах / В.В. Лукинов, К.А. Безручко // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2009. – № 1–2. – С. 106–110.
8. Лукинов, В.В. Прогнозная оценка глубин максимальной газоносности песчаников / В.В. Лукинов, Н.В. Жикаляк // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / ІГТМ НАН України. – Дніпропетровськ, 2005. – Вип. 53. – С. 38–43.
9. Задара, Г.З. Геологические условия и прогноз метаноносности углеводородных пород северо-западной части Донбасса: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук: 04.00.16 / Г.З. Задара. – Днепропетровск, ДГИ, 1983. – 24 с.
10. Мировой опыт и перспективы применения в Украине сейсмического метода при поисках, разведке и добыче метана угольных месторождений / А.В. Анциферов, С.В. Гошовский, Н.В. Жикаляк [та ін.] // Геофизический журнал. – 2008. – № 6. – С. 3–22.

## REFERENCES

1. Bulat, A.F., Zvyagilskiy, Ye. L., Lukinov, V.V., Perepelitsa, V.G., Pimonenko, L.I. and Shevelev, G.A. (2008), *Ugledorodnyy massiv Donbassa kak geterogennaya sreda* [Donbass coal-rock massif as a heterogeneous medium]. Naukova dumka, Kyiv, Ukraine.
2. Lukinov, V.V. (2007), «Mining-geological conditions of formation of methane accumulations in the coal deposits», *Naukovyi visnyk Natsionalnogo hirnychoho universitetu*, no. 4, pp. 55-59.
3. Bulat, A.F., Bezruchko K.A. *Sistema «voda-gaz» v massive gornykh porod Donbassa* [«Water-gas» system in a massif of rocks of Donbas], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
4. Lukinov, V.V., Klets, A.P. and Bobryshev, V.V. (2002), «Filtration parameters of the reservoir-coal-rock massif, underworked by mine workings», *Geo-Technical Mechanics*, no. 37, pp. 74-79.
5. Lukinov, V.V. and Prikhodchenko A.V. (2010), «Determination of fluid pressure and integral permeability of underworked coal-rock massif», *Geo-Technical Mechanics*, no. 87, pp. 203-208.
6. Lukinov, V.V., Klets, A.P., Prikhodchenko, A.V. and Tikhonov, A.A. (2010), «Pressure of fluids and estimation of integral permeability change within the underworked coal-rock massif», *Naukovyi visnyk Natsionalnogo hirnychoho universitetu*, no. 5, pp. 106-110.
7. Lukinov, V.V. and Bezruchko, K.A. (2009), «Permeability formation of rocks in local anticlinal structures», *Zbirnyk naukovykh prats UkrDHRI*, no. 1-2, pp. 106-110.
8. Lukinov, V.V. and Zhikalyak, N.V. (2005), «Predictive estimate of maximum depths of sandstones gas-bearing», *Geo-Technical Mechanics*, no. 53, pp. 38-43.
9. Zadara, G.Z. (1983), «Geological conditions and methane-bearing prediction of coal containing rocks in the north-western part of Donbas», Abstract of Ph.D. dissertation, Dnepropetrovsk Mining Institute, Dnepropetrovsk, SU.
10. Antsiferov, A.V., Goshovskiy, S.V. and Zhikalyak, N.V. (2008), «The world experience and applications perspectives of the seismic method for prospecting, exploration and production of coal deposits methane in Ukraine», *Geophysical Journal*, no. 6, pp. 3-22.

## Об авторах

**Лукинов Вячеслав Владимирович**, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник отдела геологии угольных месторождений больших глубин, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ІГТМ НАН України), Днепропетровск, Украина, gvrvg@meta.ua

**Безручко Константин Андреевич**, доктор геологических наук, старший научный сотрудник, заведующий отдела геологии угольных месторождений больших глубин, Институт геотехнической механики им. М.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Дрожжа Татьяна Михайловна**, ведущий инженер отдела геологии угольных месторождений больших глубин, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова Национальной академии наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

#### About the authors

**Lukinov Vyacheslav Vladimirovich**, Doctor of Geology-Mineralogical Sciences (D. Sc), Principal Researcher of Department of Geology of Coal Beds at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Bezruchko Konstantin Andreyevich**, Doctor of Geology Sciences (D. Sc), Senior Researcher, Head of Department of Geology of Coal Beds at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Drozhdzha Tatyana Mikhaylovna**, Master of Science, Principal Engineer of Department of Geology of Coal Beds at Great Depths, N.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM, NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, [gvrvg@meta.ua](mailto:gvrvg@meta.ua)

**Анотація.** Розглянуті основні геологічні чинники, які визначають фільтраційно-ємнісні властивості породного масиву та впливають на формування аномальних газонасичених зон в геотехнологічних системах, тобто техногенних скупчень метану у вуглевміщуючих породах в зонах впливу підземних гірничих робіт – первинні умови осадконакопичення, умови постдіагенетичних перетворень і тектонічні умови. Як критерії для визначення аномальних газонасичених зон у вміщуючих породах вугленосної товщі запропоновані наступні фізичні характеристики: коефіцієнт відкритої пористості, коефіцієнт ефективною пористості, відносна газонасиченість, залишкова водонасиченість, розмір основних фільтрувальних каналів, абсолютна газопроникність та газоносність. За вказаними характеристиками визначені кількісні критерії, що характеризують зони скупчення метану у вміщуючих породах вугленосної товщі. Запропонована нова формула для визначення мінімальної газоносності в зонах скупчення вільного метану у вміщуючих породах для різних глибин.

**Ключові слова:** вуглевміщуючі породи, фізичні характеристики, газонасичені зони, кількісні критерії зон газових скупчень.

**Abstract.** The article analyzes the key geological factors, which determine filtration-volumetric properties of the rock massif and influence formation of abnormal gas-saturated zones in geotechnological systems, namely technogeneuous methane accumulations in coal-enclosing rocks in zones under the impact of underground mining operations: conditions of deposition accumulation, postdiagenetic changes and tectonic influences.

As the criteria for the determining the abnormal gas-saturated zones in the enclosing rocks of coal-bearing strata the following physical characteristics were offered: open porosity ration, effective porosity ratio, relative gas saturation, residual water saturation, size of the main pore throats, absolute permeability and gas content. By these characteristics, quantitative criteria, characterizing zones with methane accumulation in the enclosing rocks of the coal-bearing strata were determined.

A new formula for determining the minimum gas content in zones with free methane accumulation in the enclosing rocks for different depths was offered.

**Keywords:** coal-bearing rocks, physical characteristics, gas-saturated zones, quantitative criteria of gas-accumulation zones

*Статья поступила в редакцию 28.02.2016.*

*Рекомендовано к печати д-ром геол. наук Л.И. Пимоненко*