

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ГЛУБИН МАКСИМАЛЬНОЙ ГАЗОНОСНОСТИ ПЕСЧАНИКОВ

Розглянуто вплив глибини на основні чинники – відкриту пористість та тиск газу, які визначають газонасність пісковиків у Донбасі та Дніпровсько-Донецькій западині. Викладено методику прогнозування оцінки глибини максимально можливої газонасності пісковиків.

PROGNOSIS RATE OF DEPTHS OF THE MAXIMAL GAS CONTAIN OF SANDSTONES

The influence of depth on major factors – open porosity and gas pressure, is considered which define a gas contain of sandstones in Donbass and Dniepro Donetsk cavity. The technique of a prognous rate of depth of the greatest possible gas contain of sandstones is stated.

Одной из основных характеристик песчаников как коллекторов природных газов является пористость. Она определяет газоемкость и служит исходным параметром при оценке газонасности песчаников, расчетах запасов газа, его распределения в толще пород, газовыделения в горные выработки, выборе объектов дегазации. Как правило, песчаники относятся к гранулярным коллекторам порового и трещинно-порового типа, в которых определяющим показателем их газоемкостных свойств является открытая пористость – совокупность пустот сухой породы доступных для проникновения флюида. Открытая пористость песчаников зависит от ряда факторов, среди которых основное значение имеют фациальные условия осадконакопления, степень катагенетических преобразований, современная глубина залегания.

Фациальные условия образования, определяющие генетический тип песчаника, обуславливают его структурно-текстурные особенности и первичные коллекторские свойства. Главным процессом катагенетической стадии Н.М. Страхов [1] считает резко выраженное общее уплотнение пород, окаменение их, связанное с выжиманием воды и потерей породами пористости. Ведущими факторами этого процесса, по мнению Н.В. Логвиненко [2], являются гравитационное и тангенциальное (тектоническое) давление. Современную глубину залегания, совпадающую со стратиграфической глубиной, можно рассматривать как реликт, отражающий процесс литификации, который породы испытывали от гравитационного давления при опускании на максимальную глубину.

В пределах одного шахтного поля, участка разведки или месторождения газа, глубина залегания отражает современное литостатическое давление, а также несет информацию о палеогравитационном и палеотектоническом давлениях, которые изменяли коллекторские свойства пород.

Анализ изменения с глубиной открытой пористости песчаников на участках Горловский Глубокий, Орджоникидзеvский Глубокий, Кальмиуский Рудник, Северо-Родинский, расположенных в Центральном, Донецко-Макеевском и Красноармейском геолого-промышленных районах Донбасса показал (рис. 1 – 4), что для условий Донбасса открытая пористость песчаников, в среднем,

уменьшается на 2,7 – 3,1 % на каждые 1000 метров увеличения современной глубины.

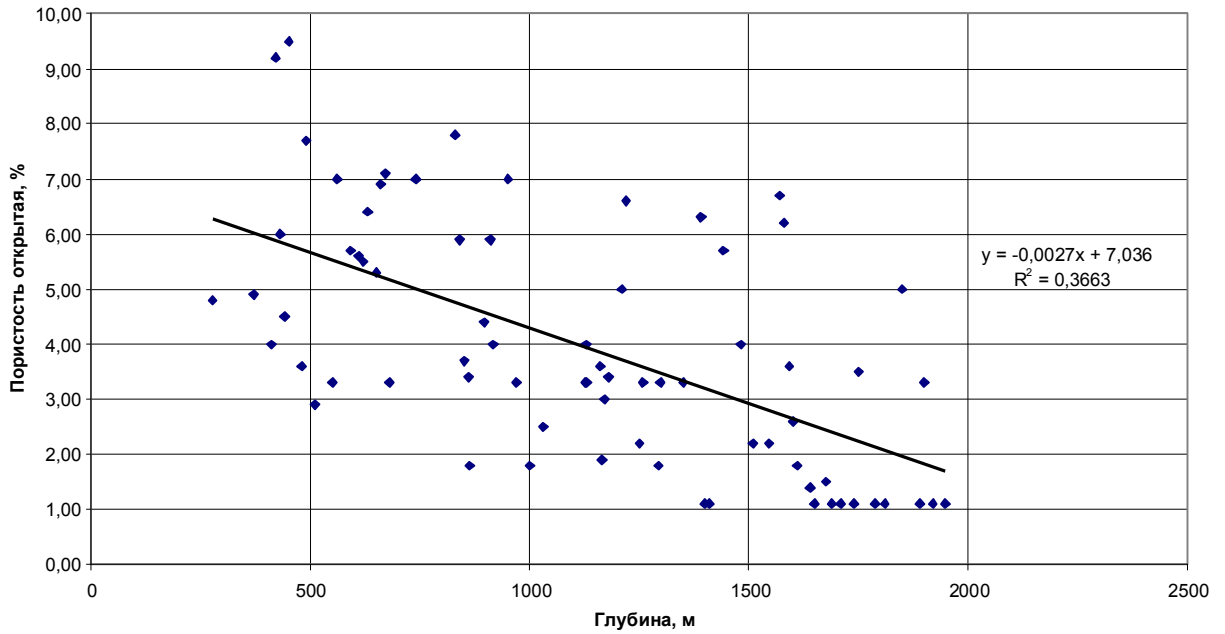


Рис. 1 - Зависимость изменения открытой пористости песчаников с глубиной залегания на участке "Горловский Глубокий"

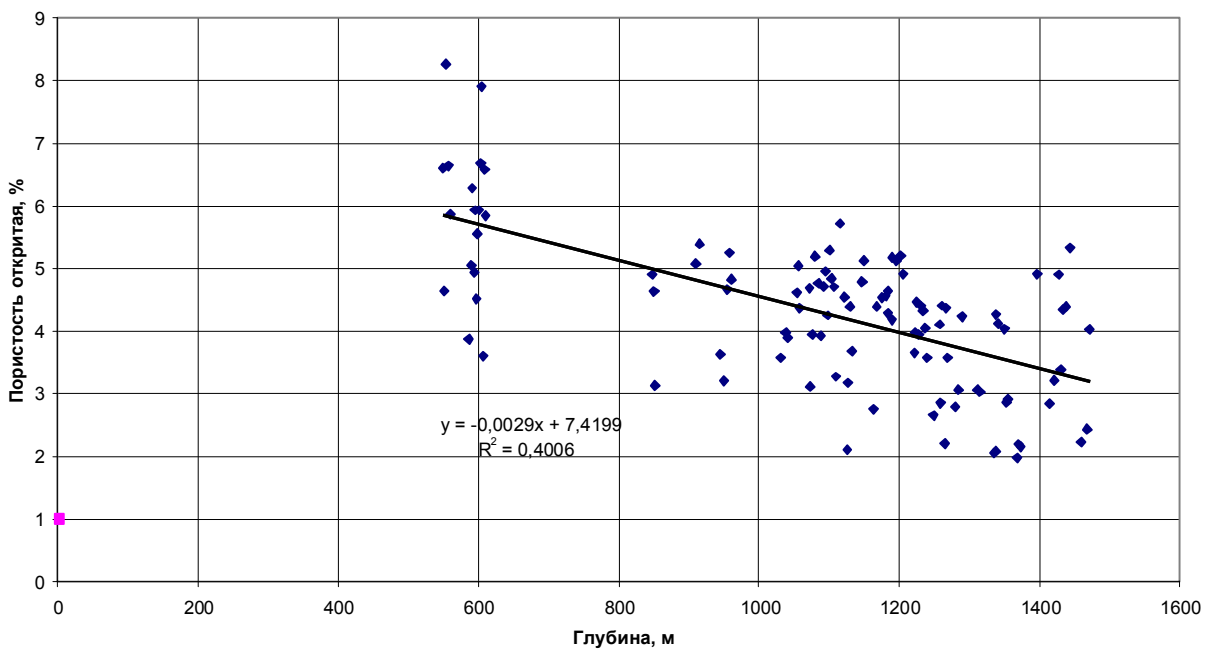


Рис. 2 - Зависимость изменения открытой пористости песчаников с глубиной залегания на участке "Орджоникидзевский Глубокий"

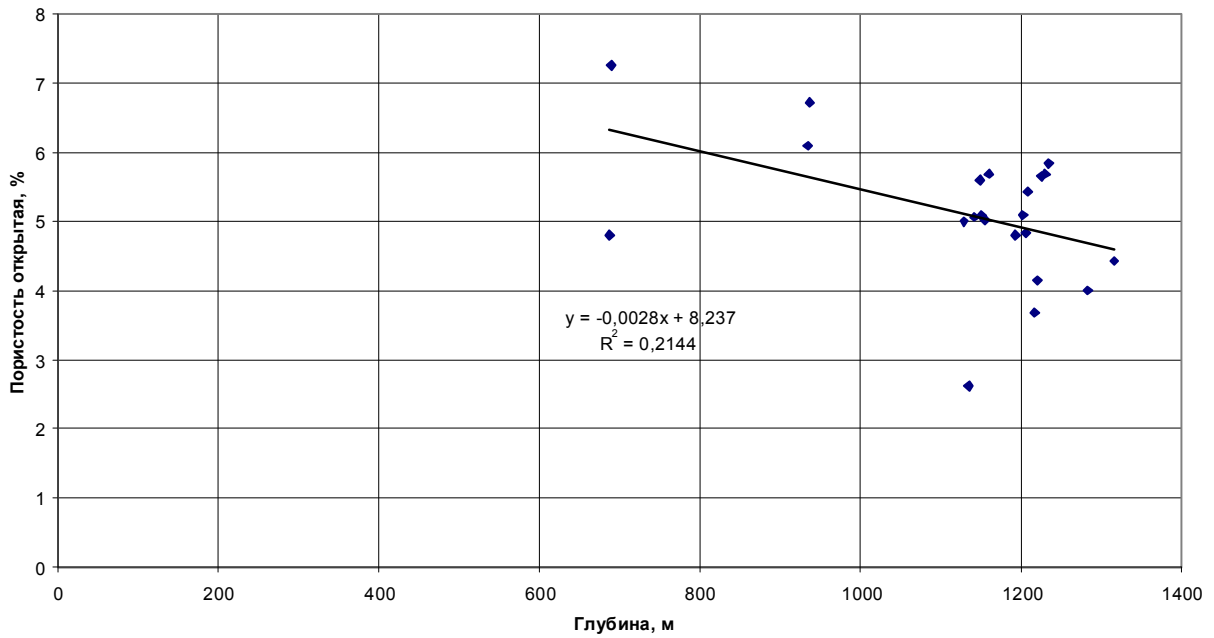


Рис. 3 - Зависимость изменения открытой пористости песчаников с глубиной залегания на участке "Кальмиуский Рудник" (скважина Щ-1355)

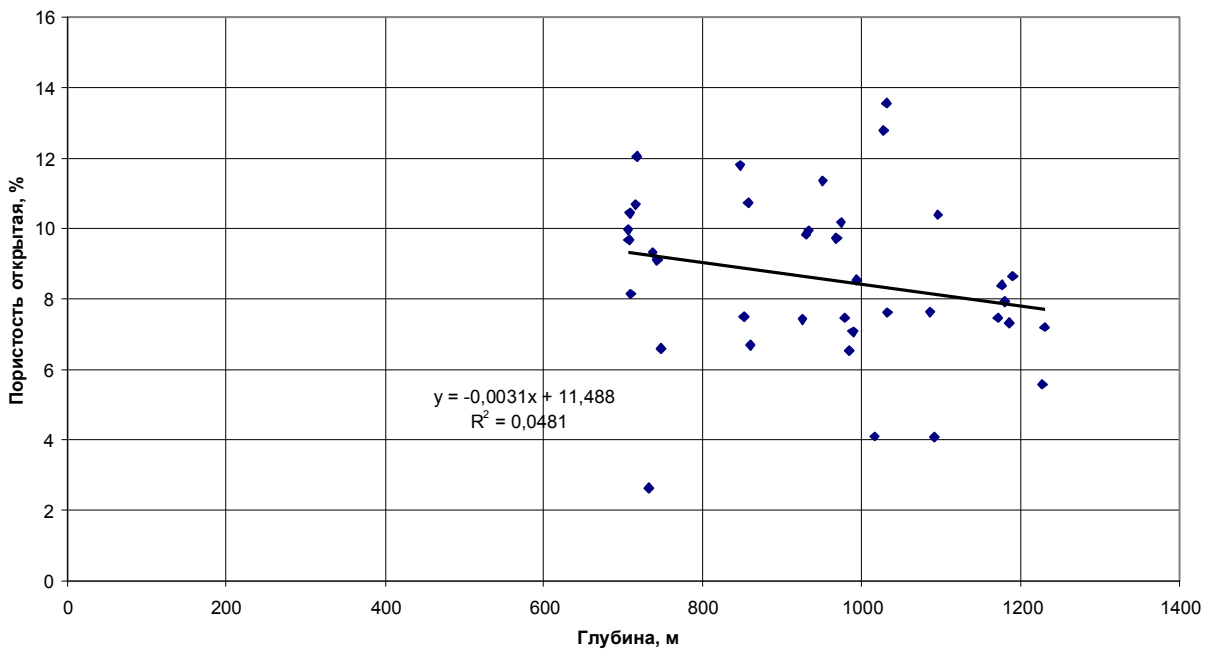


Рис. 4 - Зависимость изменения открытой пористости песчаников с глубиной залегания на участке "Северо-Родинский"

Исследуемые районы отличаются тектонической дислоцированностью, которая повлияла на общий уровень открытой пористости песчаников в районе. В направлении от периферии бассейна к его центральной части, по мере увеличения гравитационного и тангенциального давлений, расчетные значения откры-

той пористости песчаников на глубине 1000 метров закономерно уменьшаются и составляют: для участка «Северо – Родинский» - 8,39 %, для участка «Кальмиуский Рудник» - 5,54 %, для участка «Орджоникидзевский Глубокий» - 4,52 %, для участка «Горловский Глубокий» - 4,34 %. Наблюдаемый разброс значений открытой пористости обусловлен тем, что в выборках участвовали пробы песчаников различных генетических типов.

Более четко уменьшение открытой пористости песчаников с глубиной наблюдается в продуктивных горизонтах нефтегазоконденсатных месторождений Днепровско Донецкой впадины (ДДВ), так как в пределах одного месторождения, залежи приурочены к однородным, по литогенетическим характеристикам, песчаникам. Для примера рассмотрим Восточно – Новоселовское нефтегазоконденсатное месторождение, расположенное в Магдалиновском районе Днепропетровской области, в границах Зачепиловско – Левенцовского вала южной прибортовой зоны ДДВ [3]. Продуктивными являются 14 горизонтов песчаников, открытая пористость которых закономерно уменьшается с глубиной (рис. 5). С увеличением на каждые 1000 метров глубины залегания песчаников продуктивных горизонтов этого месторождения, их открытая пористость уменьшается на 6,7 %, что в два раза выше чем в Донбассе, а расчетные значения открытой пористости песчаников (для глубины 1000 метров) в три раза выше, чем для песчаников, залегающих на той же глубине на участке «Северо-Родинский». Аналогичные закономерности наблюдаются и на других нефтегазоконденсатных месторождениях ДДВ.

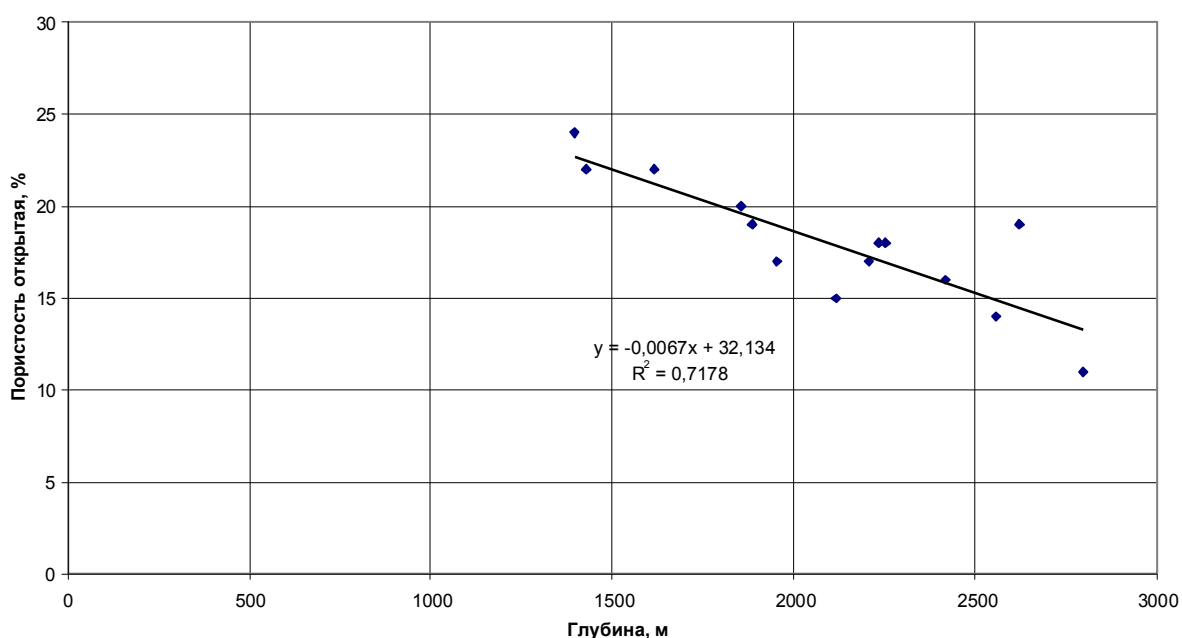


Рис. 5 - Зависимость изменения открытой пористости песчаников продуктивных горизонтов Восточно-Новоселовского месторождения от глубины

Давление флюидов, в том числе газа в песчаниках, с глубиной увеличивается по прямолинейной зависимости. В продуктивных горизонтах песчаников Восточно–Новоселовского месторождения давление газа гидростатическое (рис. 6). Следует отметить, что для подавляющего большинства продуктивных горизонтов песчаников ДДВ давление газа равно или близко к гидростатическому.

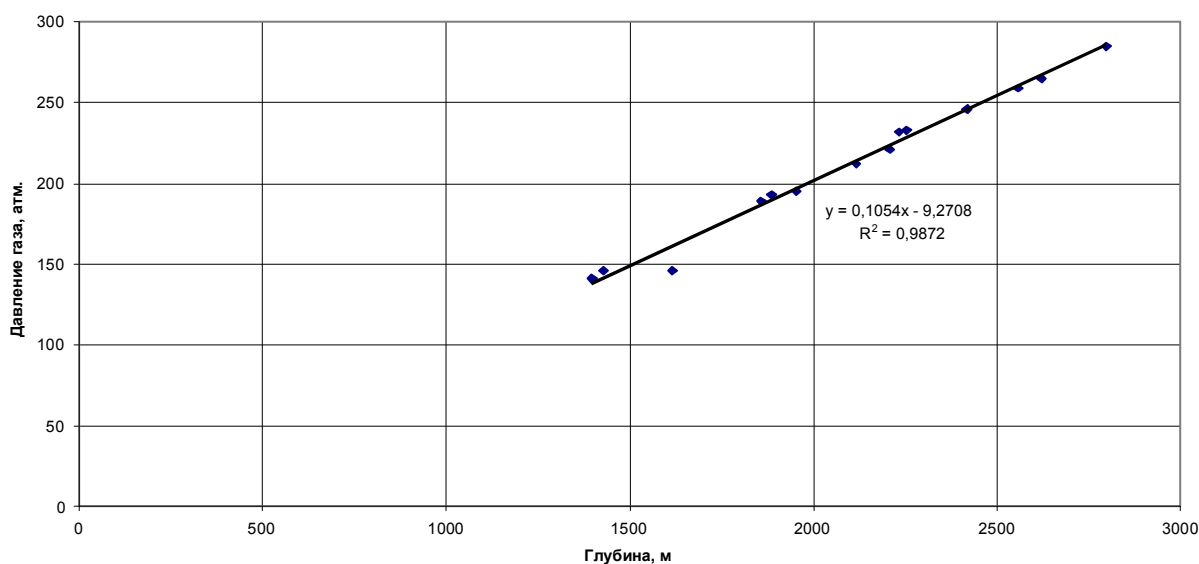


Рис. 6 - Зависимость изменения давления газа с глубиной в продуктивных горизонтах Восточно-Новоселовского месторождения от глубины

Открытая пористость и давление газа являются важнейшими характеристиками газоносности песчаников. Как показали проведенные исследования, с увеличением глубины залегания, которое отражает действия как современного, так и палеогравитационного давлений, открытая пористость песчаников уменьшается, а давление газа в порах, в силу долговременно протекающих в массиве процессов фильтрации флюидов и диффузии газов, растет. Таким образом, два параметра, обуславливающих газоносность песчаников, с увеличением глубины залегания изменяются в противоположных направлениях.

Уменьшение с глубиной (Н) открытой пористости песчаников, выраженной через коэффициент открытой пористости ($K_{o.п.}$), как показали проведенные исследования (см. рис. 1–5), описывается уравнением вида:

$$K_{o.п.} = a - b(H) \quad (1)$$

По данным В.Е. Забигаило [4], давление газа (Р) в песчаниках Донбасса составляет 0,8 – 0,9 от гидростатического, или $P = 0,1(0,8 - 0,9)\gamma H$, где Р – давление газа в атмосферах, γ – плотность воды 1 г/см³, Н – глубина в метрах. Изменение давления газа с глубиной залегания, в общем виде выражается как:

$$P = c(H) \quad (2)$$

Следует отметить, что газ занимает не весь объем открытых пор. Часть этого объема заполнена жидким флюидом, чаще всего водой, но иногда, особенно на нефтегазоконденсатных месторождениях, жидкими углеводородами. Коэффициент газонасыщенности песчаников продуктивных горизонтов нефтегазоконденсатных месторождений ДДВ, в среднем, изменяется от 0,7 до 0,9 [3], для выбросоопасных, наиболее газонасыщенных, песчаников Донбасса он колеблется от 0,5 до 0,85, для выбросонеопасных песчаников – от 0,25 до 0,5 [5], для алевролитов – от 0,05 до 0,2 [6]. Таким образом, открытая пористость характеризует максимально возможную газоемкость песчаников, а с учетом давления газа, максимально возможную, или потенциальную их газоносность.

Потенциальную газоносность песчаников (Γ) можно представить как произведение $\Gamma = P K_{o.n}$ (3). С учетом уравнений (1) и (2), уравнение (3) примет вид:

$$\Gamma = aсН - bсН^2 \quad (4)$$

Нулевые значения потенциальная газоносность принимает на поверхности, где $H=0$, и при достижении максимальной глубины (H_{max}), на которой $K_{o.n} = 0$. В этом случае уравнение (4) можно выразить, как:

$$aсH_{max} = bсH_{max}^2 \quad (5)$$

или,

$$H_{max}^2 = H_{max}ac/bc \quad (6)$$

Уравнение (6) представляет собой каноническое уравнение параболы, согласно которому, координаты положения ее вершины, в данном случае, глубина ($H_{г. max}$) максимальной потенциальной газоносности (Γ_{max}) определяется по уравнениям:

$$H_{г. max} = a/2b \quad (7)$$

$$\Gamma_{max} = a^2c/4b \quad (8)$$

Максимальная глубина, на которой песчаники становятся не газоносными, определяется из уравнения (5) по формуле:

$$H_{o. max} = a/b \quad (9)$$

Уравнения (3 – 9) представляют собой уравнения общего вида, без учета размерностей и тесноты связей в статистических уравнениях (1 – 2).

Проверка возможности применения прогнозной оценки глубин предельной (максимальной и нулевой) газоносности песчаников была выполнена для продуктивных горизонтов десяти нефтегазоконденсатных месторождений ДДВ. Прогнозные глубины рассчитывались по данным, приведенным в литературе [3] и уравнениям 7, 9. (табл. 1). Для всех вышеуказанных месторождений характерно закономерное уменьшение с глубиной открытой пористости песчаников и увеличение давления газа, которое близко к гидростатическому.

Таблица 1 - Расчетные глубины предельно возможной газоносности песчаников и фактические глубины залежей нефтегазоконденсатных месторождений ДДВ

Наименование месторождения	Расчетная глубина максимальной потенциальной газоносности, м	Расчетная глубина отсутствия газоносности, м	Фактическая средняя глубина залежей, м	Фактическая максимальная глубина залежей, м
Восточно-Новоселовское	2398	4796	2096	2797
Левенцовское	2122	4244	1051	1394
Новоселовское	2340	4680	2165	2700
Качановское	2219	4438	2417	3189
Котлевское	3702	7404	5023	5646
Ярошевское	3926	7852	4108	4370
Вергунское	1460	2920	1623	2082
Пролетарское	2335	4670	2180	2922
Кременовское	1790	3580	1710	2240
Талалаевское	2805	5610	3542	3725

Анализ данных (табл. 1) показывает, что расчетные глубины максимальной потенциальной газоносности песчаников примерно соответствуют средним глубинам залежей (связь прямолинейная, коэффициент корреляции $R=0,9$), а фактическая максимальная их глубина во всех случаях меньше расчетной глубины нулевой газоносности (связь прямолинейная, $R=0,88$). Отметим, что месторождения приурочены к однородным геологическим комплексам без структурного, стратиграфического или тектонического несогласий, а продуктивные горизонты представлены гранулярными коллекторами (песчаниками) порового и трещино порового типа. Указанные геологические условия, которые определяют область применения предлагаемой методики прогнозной оценки, характерны и для Донбасса.

Прогнозная оценка глубин и значений предельной газоносности песчаников Донбасса (табл. 2), выполнена на основании анализа изменения открытой пористости песчаников с глубиной; давление газа принято равным 0,85 гидростатического; за базовые, при расчетах, приняты уравнения 4, 7, 9.

Анализ полученных результатов показывает, что для условий Донбасса, от центральных районов бассейна к периферийным, наблюдается тенденция увеличения как глубины и значений максимальной потенциальной газоносности

песчаников, так и глубины отсутствия газоносности. Аналогично изменяются эти показатели для песчаников при переходе от Донбасса к ДДВ. Для условий ДДВ эти показатели выше (см. табл. 1).

Таблица 2 - Расчетные глубины и значения предельно возможной газоносности песчаников на участках разведки в Донбассе

Наименование участка	Расчетная глубина максимальной потенциальной газоносности, м	Расчетная глубина отсутствия газоносности, м	Расчетное значение максимальной потенциальной газоносности, м ³ газа/м ³ породы
Северо-Родинский	1853	3706	9,04
Кальмиуский Рудник	1471	2942	5,15
Орджоникидзевский Глубокий	1279	2558	4,03
Горловский Глубокий	1094	2188	3,80

Рассчитанное значение максимальной потенциальной газоносности песчаников Восточно-Новоселовского месторождения составляет 38,5 м³ газа/м³ породы, что в несколько раз превышает газоносность песчаников Донбасса (см. табл. 2). Однако, если в ДДВ такая потенциальная газоносность присуща коллекторам продуктивных горизонтов, то для Донбасса оцениваются песчаники, без учета их приуроченности к ловушкам.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет, по результатам геологического изучения площади, прогнозировать глубину максимальной потенциальной газоносности, глубину отсутствия газоносности и максимальную потенциальную газоносность песчаников, что, в свою очередь, дает возможность, еще на стадии геологической разведки, выделять перспективные интервалы залегания наиболее газоносных песчаников, оценивать газовый потенциал площади на больших глубинах, прогнозировать возможную газоносность песчаников для организации работ по их дегазации и промышленной добыче метана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страхов Н. М. Избр. Труды // Общие проблемы геологии, литологии и геохимии. – М., 1983. – 640 с.
2. Логвиненко Н. В. Петрография осадочных пород. – М.: Высш. шк. 1974. – 400 с.
3. Атлас родовищ нафти і газу України в шести томах. Т. III. Східний нафтогазоносний регіон. – Львів.: Українська нафтогазова академія, - 1999.- 1424 с.
4. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса / В. Е. Забигаило, А. З. Широков, И. С. Белый и др. – Киев.: Наук. думка, 1974. – 270 с.
5. Забигаило В. Е., Лукинов В. В., Безручко К. А. Соотношение влажности и пористости – показатель выбросоопасности горных пород // Уголь Украины. – Киев, 1991. - №2. – с. 28 – 29.
6. Абрамов Ф. А., Шевелев Г. А. Свойства выбросоопасных песчаников как породы коллектора. – Киев.: Наук. думка, 1972. – 98 с.