

РАЙОНИРОВАНИЕ ЗАПАДНОГО ДОНБАССА ПО УСЛОВИЯМ ПОДЗЕМНОГО АККУМУЛИРОВАНИЯ ГАЗООБРАЗНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ И ВЫБОР ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПЛАСТА-КОЛЛЕКТОРА

*И.А. Садовенко, А.В. Инкин, Ю.В. Хрипливец, Государственное высшее учебное заведение
«Национальный горный университет», Украина*

На основе анализа региональных и локальных геолого-гидрогеодинамических условий установленные критерии оценки возможности закачки углеводородного газа в обводненные породы. С их помощью выполнено районирование Западного Донбасса и выбрана Левенцовская геологическая структура, в разрезе которой заключен пермско-триасовый водоносный горизонт. Осуществленная интерпретация данных опытно-фильтрационных работ показала, что коэффициенты фильтрации и пьезопроводности выделенного коллектора изменяются в пределах $1,51 - 3,66$ м/сут и $4,5 - 9,1 \cdot 10^6$ м²/сут.

Сезонная неравномерность потребления и ограниченность запасов природного газа в Украине приводят к необходимости поиска резервных емкостей для его хранения в районе крупных промышленных центров расположенных в юго-восточных областях страны [1]. Зарубежный научно-практический опыт показывает, что одним из эффективных видов газохранилищ являются водоносные, рентабельность которых возрастает с увеличением их полезного объема, значение которого зависит от фильтрационно-емкостных свойств горных пород [2]. Оптимизация работы такого хранилища достигается на основе досконального изучения геолого-гидрогеологических условий потенциального коллектора. В связи с чем, целью данных исследований является поиск и оценка фильтрационных свойств водоносной геологической структуры на территории Донецкого бассейна, способной вмещать запасы природного газа в количестве позволяющем синхронизировать потребление энергоносителей на горнодобывающих и перерабатывающих предприятиях региона.

Закачка газа в обводненные породы связана с нарушением их естественного режима и зависит как от региональных, так и локальных геолого-структурных и гидрогеодинамических условий. В региональном плане наиболее благоприятными для хранения газа являются платформенные области, краевые прогибы, межгорные и предгорные впадины, в вертикальном разрезе осадочного чехла которых происходит закономерное изменение фильтрационных параметров и минерализации водоносных горизонтов. На этих территориях можно выделить три основные гидродинамические зоны, отличающиеся интенсивностью течения подземных вод [3, 4]: верхнюю (активного водообмена и возобновления), полностью исключаящую накопление природных газов; среднюю (замедленного водообмена), в которую закачка газа возможна лишь на отдельных участках с регионально выдержанным водупором; нижнюю (застойного водообмена), наиболее подходящую для аккумуляции газа вследствие высокой изоляции и минерализации подземных вод.

Отличительной особенностью последней зоны, подчеркивающей эффективность ее использования для создания газохранилищ, является значительная глубина залегания, высокие напоры и защищенность от поверхностного воздействия водоносных горизонтов.

К числу локальных факторов, от которых зависит пригодность водоносных пород для хранения газов, прежде всего, относятся:

- емкостные свойства, определяемые пористостью, мощностью, площадью распространения и упругими показателями вмещающих пород;
- фильтрационные характеристики и гидродинамический напор водоносных горизонтов, влияющие на приемистость скважин и ореол распространения закачиваемых газов;
- изолированность используемого коллектора, зависящая от избыточного давления в выше- и нижележащих водоносных пластах, а также проницаемости разделяющих отложений;

- совместимость углеводородных газов с горными породами и подземными водами, не адекватный учет которой может привести к кольматации призабойной зоны скважины;
- наличие перспективных для разработки полезных ископаемых.

С помощью предложенных факторов представляется возможным производить геотехнологическую и экологическую оценку пригодности коллекторов для аккумуляции газообразных углеводородов, а также прогнозировать параметры эксплуатации водоносных газоохранилищ. Так, в пределах Западного Донбасса и прилегающих к нему участков можно выделить 3 района:

1. Зона сочленения Днепровско-Донецкой впадины и Украинского кристаллического массива.
2. Район структур, граничащих с открытым Донбассом (площадь развития среднего карбона).
3. Юго-восточная часть Днепровско-Донецкой впадины (геологические структуры расположенные севернее Михайловского сброса).

Южной границей первого района является окончание распространения нижнекаменноугольных отложений, северной – Михайловский сброс. Песчаники этого района (преимущественно Павлоградско-Петропавловского) характеризуются низкими фильтрационными и емкостными свойствами, а отложения нижнего карбона – промышленной угленосностью и разработкой угольных пластов шахтным способом. Кроме того, на данной территории в резервном фонде угольной промышленности находится около десятка шахтных полей. Приведенные данные исключают возможность закачки природных газов в продуктивную толщу этого района.

Второму выделенному району, граничащему на востоке с открытым Донбассом, а на западе – с Левенцовским поднятием, в отличие от первого присущи значительные глубины залегания нижнекаменноугольных отложений (более 2000 м), обладающих еще более незначительными коллекторскими свойствами. Эти породы перекрыты толщей среднего карбона, в разрезе которого сосредоточены крупные (до 180 м) пачки песчаников и 34 угольных пласта промышленной значимости с мощностью от 0,6 до 2,35 м. Сверху залегают мезокайнозойские отложения плотных пластичных и сланцевых глин (до 150 – 170 м), являющихся региональным водоупором. Рассматриваемая территория охвачена геологоразведочными работами и является резервом Павлоградского угольного месторождения, вследствие чего не может быть использована для хранения природных газов.

Третий район имеет следующие границы: на севере – Мечебилово-Кобзевская антиклинальная зона; на юге – Михайловский сброс; на западе – р. Ворскла; на востоке – граница распространения пресных вод в триасовом водоносном комплексе (долгота г. Лозовая). В пределах его территории отложения башкирского и московского яруса приурочены к зоне весьма затруднительного водообмена и содержат мощные (до 100 – 200 м) пачки песчаников рекомендуемые для аккумуляции газа. Наличие газовых месторождений в структурах этого района подтверждает высокую степень его гидродинамической закрытости. При этом верхним региональным водоупором являются среднеюрские глины, нижним – глинистые отложения низов башкирского яруса.

Исходя из перспективности 3-го района в его пределах, Павлоградской геологоразведочной экспедицией, были проведены комплексные поисковые работы [5]. Первоначально в качестве коллекторов изучались песчаники башкирского и московского ярусов, однако результаты опытных работ показали более высокие фильтрационные свойства песчаников пермо-триаса, что позволило сориентировать на них дальнейшие исследования. Выполненные буровые, каротажные, опытно-фильтрационные и лабораторные работы подтвердили перспективность этого пласта и позволили выделить три потенциальные площади (табл. 1). Дальнейшие исследования (структурно-поисковое бурение и опробования) показали, что среди отмеченных участков наиболее значительным емкостным ресурсом обладает Левенцовская площадь. Активная пористость (n_a) пермско-триасовых отложений на этой территории колеблется от 9,6 до 29,0 %, а проницаемость (k)

от 10^{-15} до $2 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$, в то время как значения этих параметров на Северо-Орельской и Первомайской площади уменьшаются до $n_a = 8,28 - 28,3 \%$, $\kappa = 10^{-15} - 10^{-12} \text{ м}^2$ и $n_a = 5 \%$, $\kappa = 10^{-15} - 10^{-13} \text{ м}^2$ соответственно. Кроме того, в пределах Левенцовской структуры породы пермтриаса обладают наибольшей эффективной мощностью (120 м) и наименьшей глубиной залегания (300 – 680 м).

Таблица 1

Водно-коллекторские свойства пермско-триасовых отложений

Характеризуемые параметры	Площадь		
	Левенцовская	Северо-Орельская	Первомайская
Суммарная и эффективная мощность, м	113 – 240 120	137 – 225 100	100 – 300 60
Глубина залегания кровли, м	300 – 580	600 – 1400	1650 – 1800
Общая и активная пористость, %	13,7 – 33,44 9,6 – 29,0	8,72 – 32,83 8,28 – 28,3	– 5,0
Гранулометрический состав, %			
Глинистые частицы	1,25 – 16,60	1,35 – 18,66	–
Пылеватые	4,87 – 31,61	1,85 – 33,02	–
Песчаные	56,91 – 92,84	42,85 – 75,0	–
Удельный и объемный вес, кг/м ³	2620 – 2720 1750 – 2370	2610 – 2740 1710 – 2390	–
Коэффициент проницаемости, м ²	$10^{-15} - 2 \cdot 10^{-12}$	$10^{-15} - 10^{-12}$	$10^{-15} - 10^{-13}$
Мощность водоупора, м	110 – 200	200 – 320	200 – 250

Перспективный коллектор приурочен к континентальным терригенным отложениям и представлен зеленовато-серыми, кварц-полевошпатовыми крупнозернистыми песчаниками, переслаивающимися с прослоями темно-серых, сильно каолинизированных песков. Породы пласта сравнительно однородны по физико-механическим свойствам и гранулометрическому составу, как в площадном отношении, так и в вертикальном разрезе, что обуславливает относительное постоянство их фильтрационных свойств. Незначительная литологическая изменчивость пород, связанная с уменьшением объема пор под влиянием эпигенетических процессов и увеличения давления, происходит постепенно, поэтому выделение каких-либо границ внутри пласта не представляется возможным. Коллектор характеризуется повышенным и относительно выдержанным значением водообильности, а приуроченный к нему водоносный горизонт – смешанным типом циркуляции (трещинно-поровым), гидродинамическим напором, изменяющимся от 180 до 270 м и упругим режимом фильтрации, обусловленным слабопроницаемыми свойствами вышележащих пород, исключаяющими перетекание подземных вод. Водовмещающие породы имеют осадочное происхождение и слабометаморфизированы в пределах всей Левенцовской структуры.

Непосредственная кровля выделенного коллектора характеризуется наличием мощной (110 – 200 м) толщи нижнеюрских, голубовато-серых, монтмориллонитовых глин следующего гранулометрического состава: глинистых частиц 49,7 – 72,1 %, пылеватых – 13,5 – 40,6 % и песчаных – 0,5 – 12,6 %. Удельный и объемный вес пород изменяется в пределах 2660 – 2740 кг/м³ и 1950 – 2010 кг/м³ соответственно, что свидетельствует об их сильном уплотнении. Естественная влажность глин (W) колеблется от 13,41 до 22,11 % при нижнем приделе пластичности (Wp) 24,95 – 28,84 %. Сравнение влажности с пределом пластичности позволяет установить, что нижнеюрские глины находятся в твердой консистенции ($W < Wp$). Кроме того, наличие минералов монтмориллонита и дисперсионный

состав частиц обуславливает их высокую экранирующую способность пород и коэффициент проницаемости приблизительно равный 10^{-17} м^2 .

На юрских глинах с угловым несогласием залегают отложения нижнего и верхнего мела. При этом нижнемеловые породы общей мощностью до 60 м сложены серыми разномеловыми кварцевыми песчаниками, чередующимися с прослоями глин, верхнемеловые – кварцево-глауконитовыми мелко- и среднезернистыми песками сеноманского яруса и белым писчим мелом турона. Породы мезозоя трансгрессивно перекрываются палеогеновыми отложениями, представленными темно-серыми мелко- и тонкозернистыми песками бучакской свиты, а также голубовато-серыми мергелистыми глинами. Выше пород палеогена залегают четвертичные отложения мощностью до 50 м, состоящие из лессовидных суглинков, красно-бурых глин и аллювиальных песков.

Почва пермо-триасового коллектора приурочена к отложениям среднего карбона, представленного толщей разномеловых алевролитовых песчаников трещиноватого строения и обладающих меньшей, в сравнении с вышележающими породами, проницаемостью. Незначительная изменчивость литологического состава, выветрелости и трещиноватости песчаников общей мощностью от 34 до 112 м обусловило сравнительную однородность их фильтрационных свойств. Водоносный горизонт этих отложений залегает под угольным пластом h_{10} и обладает гидродинамическим напором, изменяющимся от 240 м в зоне выхода под мезозой до 1800 м при погружении. Глубина пьезометрических уровней в зависимости от рельефа местности колеблется в пределах 77 – 120 м.

С целью адекватного определения водоносности, коллекторских свойств, гидродинамических параметров и состава подземных вод выделенного пермско-триасового водоносного горизонта Левенцовской площади в соответствии с методикой [6] были проведены опытно-фильтрационные работы. На исследуемой территории выполнено четыре одиночных и одна кустовая откачка, одно пробное и опытное нагнетание. Месторасположение и форма куста скважин определялось целевым назначением и продолжительностью опытов, а также гидрогеологическими и граничными условиями участка.

Общие сведения об откачках, проводившихся эрлифтом на базе компрессора УКП – 80, и нагнетаниях, осуществляемых с помощью центробежного шахтного насоса ЦНС – 180, приведены в табл. 2. Их продолжительность согласно рекомендации [7], обуславливалась необходимостью достижения установившегося или квазистационарного режима в наблюдательных скважинах, соответствующего получению представительного (прямолинейного) участка на графиках временного $S = f(\lg(t))$ и площадного $S = f(\lg(r))$ прослеживания понижения уровня подземных вод. Также с целью повышения достоверности определяемых гидрогеологических параметров использовались данные о восстановлении уровня после прекращения откачки и построенные на их основе графики $S^* = f(\lg(t))$ и $S^* = f(\lg(r))$.

Проведения опытно-фильтрационных работ производилось по стандартной методике с учащенными замерами уровней подземных вод в начале откачек и нагнетаний, в виду неустановившегося режима фильтрации в эти периоды. Измерение дебитов скважин осуществлялось объемным способом одновременно с фиксированием динамических уровней лазерной рулеткой. Интервал замеров, в течение 2 часов после начала откачки, составлял 5 – 10 мин, последующие 6 часов – 30 мин и далее до ее окончания – 60 мин. Наблюдения за восстановлением уровня проводились по следующему графику: первые 15 мин через 2 мин, на протяжении 1 часа – через 5 мин и затем – через 1 час. По данным опытных работ установлены изменения дебитов скважин (7,5 – 17,5 $\text{дм}^3/\text{с}$) при понижениях 4,2 – 10,8 м и их приемистости (7,1 – 11,35 $\text{дм}^3/\text{с}$) при избыточном напоре 48,3 – 52,9 м.

Опытные данные об откачках и нагнетаниях проведенных на Левенцовской площади

№ скважины	Индекс	Глубина статического уровня, м	Откачки				Нагнетания				
			Дебит, $\text{дм}^3/\text{с}$	Понижение, м	Продолжительность отбора, ч	Продолжительность восстановления, ч	Расход, $\text{дм}^3/\text{с}$	Повышение, м	Удельная приемистость скважины, $\text{дм}^3/\text{с}$	Продолжительность, ч	Объем воды, м^3
22783	P-T	92,20	12,5	9,36	44	24	-	-	-	-	-
22784	P-T	84,95	9,60	6,43	45	20	-	-	-	-	-
22817	P-T	89,70	13,3	9,30	64	22	18,6	13,0	1,43	1092	65005
22825	C_2^3	89,80	8,30	65,5	47	21	-	-	-	-	-
22902	C_2^3	88,00	9,30	50,5	73	18	-	-	-	-	-

В процессе откачки отбирались пробы воды на полный химический анализ, результаты которого приведены в табл. 3. Воды пермо-триаса относятся к хлоридно-натриевым, обладают минерализацией от 38,0 до 62,7 г/дм³ и содержат различные химические элементы в следующих концентрациях: *Cu* – 1,5 – 3,5 мг/дм³, *Zn* – 0,6 – 5,0 мг/дм³, *U* – до $6 \cdot 10^{-7}$ г/дм³, *Fe* – до 20 мг/дм³, *I* – до 1,8 мг/дм³ и *Br* – до 20,5 мг/дм³. С увеличением глубины залегания пласта минерализация и количество ионов (*Cl*⁻, *SO*₄⁻² и *Na*⁺) в подземных водах повышается. Физические свойства вод характеризуются как неудовлетворительные, в виду горько соленного и очень жесткого состава, а также неблагоприятных индустриально-технических качеств (воды вспенивающиеся $F = 32118 - 50242$, корродирующие $K_k = 44,14 - 110,88$ и обладают большим количеством твердого котельного камня $K_h = 0,61 - 1,95$). Приведенные физико-химические показатели подземных вод пермо-триаса показывают, что они совершенно непригодны для орошения, хозяйственно-бытовых и технических целей.

Для выполнения качественной интерпретации данных полученных в ходе выполнения опытно-фильтрационных работ нужна адекватная схематизация области фильтрации и обоснованный выбор расчетной схемы. Необходимость упрощения реальных условий исследуемого участка вызвана, с одной стороны сложностью и неоднородностью его геологического строения, а, с другой – незначительным влиянием ряда естественных параметров на конечный результат изысканий. При этом типизация режима подземных вод при проведении опытных откачек и нагнетаний возможна по совокупностям гидрогеологических и технологических факторов. Так исследуемый, для оценки возможности аккумуляции газообразных углеводородов, пермско-триасовый водоносный горизонт, по профильной структуре комплекса, может быть представлен как однослойный пласт, в виду относительной однородности его физико-механических свойств в вертикальном разрезе. По режиму подземных вод выделенный коллектор является напорным, по характеру емкостных свойств – гетерогенным (трещинно-поровым) и по степени фильтрационной анизотропии – изотропным. С точки зрения гидродинамических границ пласт может рассматриваться как неограниченный, поскольку в южном направлении он имеет весьма широкое распространение, а в северном – в 30 км от Левенцовского участка перекрывается вышележащим бучакским горизонтом, характеризующимся высокой водопроницаемостью и являющимся его гидравлическим продолжением. По наличию

дополнительного фильтрационного питания и взаимодействию с другими пластами водоносный горизонт принимается изолированным, что подтверждается данными пробных откачек, согласно которых при отборе воды из толщи пермо-триаса не были отмечены изменения уровней в горизонтах свит C_2^3 и P_{2bc} . В виду незначительного угла падения пласта, в расчетной схеме, он считается горизонтальным, а его кровля и подошва, из-за низких фильтрационных характеристик – непроницаемой.

Таблица 3

Качественная характеристика подземных вод пермско-триасового водоносного горизонта

№ скважины	Жесткость, мг-экв/дм ³		Сухой остаток мг/дм ³	Формула химического состава
	Общая	Постоянная		
22783	178,03	178,03	630,84	$pH\ 5.9\ M\ 63.1\ \frac{Cl98}{(K + Na)84}$
22784	109,95	109,95	371,88	$pH\ 4.3\ M\ 37.2\ \frac{Cl98}{(K + Na)82}$
22825	292,40	291,80	725,10	$pH\ 6.8\ M\ 72.5\ \frac{Cl100}{(K + Na)76}$

Технологические факторы типизации опытно-фильтрационных работ, оказывающие меньшее влияние на режим подземных вод, чем гидрогеологические, в основном определяют структуру фильтрационного потока а, следовательно, и качество обработки полученных данных. В рассматриваемом случае буровые скважины по степени вскрытия водоносного пласта считаются несовершенными обладающими точечным источником (длина фильтра значительно меньше мощности пласта), а по пространственному расположению – строго вертикальными. Принимается, что все скважины работают в синхронном режиме, с одновременным включением и выключением.

Предварительные одиночные откачки проводились в песчаниках пермо-триаса (скв. № 22783 и 22784) и карбона (скв. № 22825 и 22902) с построением графиков восстановления уровня после их остановки. Опытная кустовая откачка из пермо-триаса происходила в течение 4 суток на скв. № 22817 с регистрацией уровней в скв. № 21729, 22784, 22783 (рис. 1) и получением графиков временного, площадного и комбинированного $S = f(\lg(t/r^2))$ прослеживания (рис. 2). Анализ графиков показывает уменьшение понижения уровня подземных вод с увеличением расстояния от центральной (опытной) скважины. Резкий подъем уровня спустя 42 часа после начала откачки объясняется ее остановкой в этот период по техническим причинам.

Для обоснованной расчетной схемы количественная интерпретация проведенных откачек возможна несколькими методами: отношений, разностей, графоаналитическим, эталонной кривой, интегральных преобразований Лапласа, Карсона и В.Б. Георгиевского. При этом наиболее надежные результаты дает графоаналитический метод, который для сравнения рекомендуется применять вместе с каким либо другим и контрольными расчетами. Его сущность заключается в логарифмической аппроксимации формулы описывающей понижения уровня подземных вод в конкретных условиях. В нашем случае (неограниченный однородный полностью изолированный пласт) для установления понижения подходит формула Тейса и ее преобразование к уравнению прямой линии временного прослеживания в полулогарифмических координатах [8]:

$$S = \frac{0,183Q}{T} \left(\lg t + \lg \frac{2,25a}{r^2} \right),$$

$$S = C \lg t + A, \quad (1)$$

$$C = \frac{Q}{4\pi T} \ln 10 \approx \frac{0,183Q}{T}, \quad A = C \lg \frac{4a}{e^\gamma r^2} \approx C \lg \frac{2,25a}{r^2}, \quad T = \frac{0,183Q}{C}, \quad a = 10^{\frac{A/C + \lg \frac{r^2}{2,25}}$$

где S – понижение подземных вод; Q – дебит скважины; T – водопроницаемость ($T = Km$); K – коэффициент фильтрации; m – мощность водоносного пласта; a – коэффициент пьезопроводности; r – горизонтальное расстояние от опытной до наблюдательной скважины; γ – постоянная Эйлера; C – угол наклона прямой; A – величина, которую отсекает прямая на оси ординат

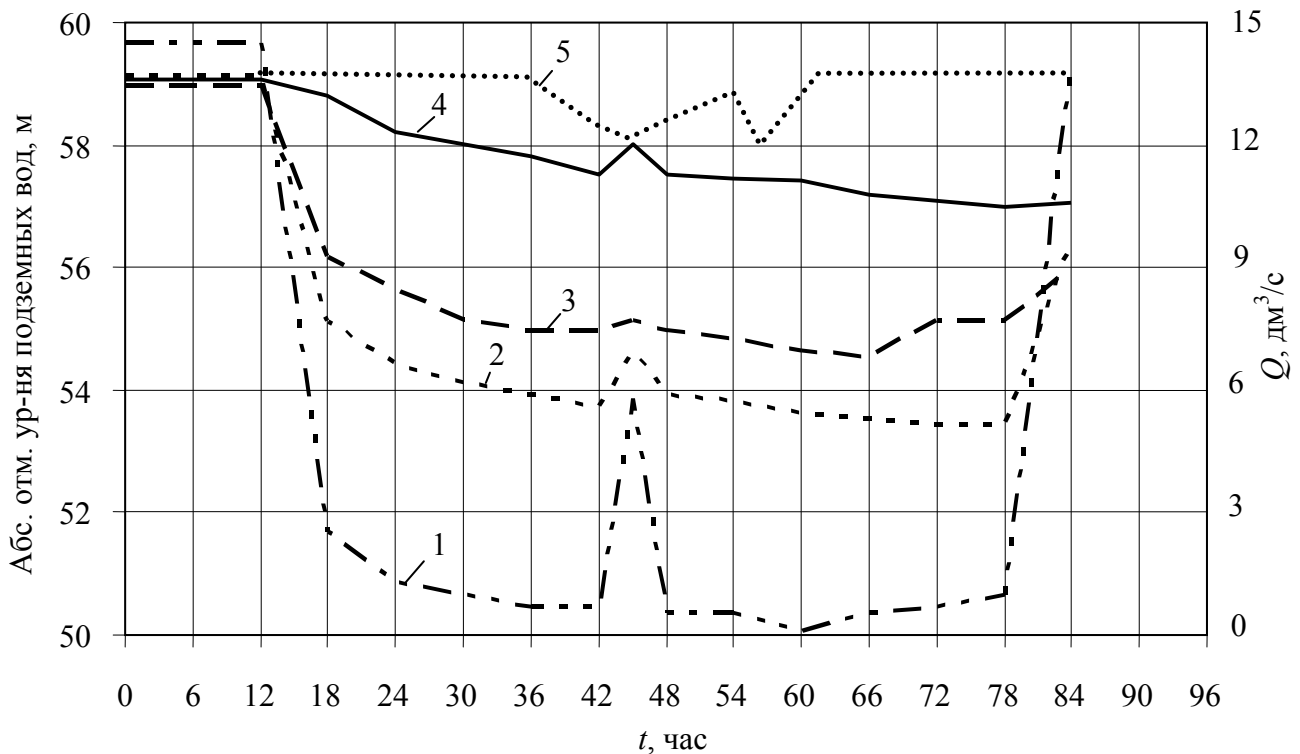


Рис. 1. Графики колебания уровня и дебита подземных вод при кустовой откачке: 1 – 4 соответственно в центральной № 22817 (стат. ур-нь 59,67 м) и наблюдательных № 21729 (стат. ур-нь 59,13 м), 22783 (стат. ур-нь 58,97 м), 22784 (стат. ур-нь 59,06 м) скважинах; 5 – изменение дебита

Для определения точности обработки данных опытно-фильтрационных работ графоаналитическим методом и учета несовершенства скважин применялся способ отношения понижений и биссектрис. При этом в качестве базовой аналитической зависимости, нестационарной фильтрации к точечному источнику в изотропном пласте ограниченному в разрезе двумя непроницаемыми границами (условие II рода), использовалось следующее выражение:

$$S = \frac{Q}{4\pi K} f(d, \rho_i^j, t, a), \quad (2)$$

где $f(d, \rho_i^j, t, a)$ – вспомогательная функция, учитывающая влияние границ и определяемая из уравнения:

$$f(d, \rho_i^j, t, a) = \frac{1}{d} \operatorname{erfc} \frac{d}{2\sqrt{at}} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^2 \frac{1}{\rho_i^j} + \operatorname{erfc} \frac{\rho_i^j}{2\sqrt{at}},$$

d – расстояние между центрами фильтров опытной и наблюдательной скважин; ρ_i^j – расстояние от наблюдательной скважины до j -й фиктивной, отраженной от верхней ($i = 1$) и нижней ($i = 2$) границы.

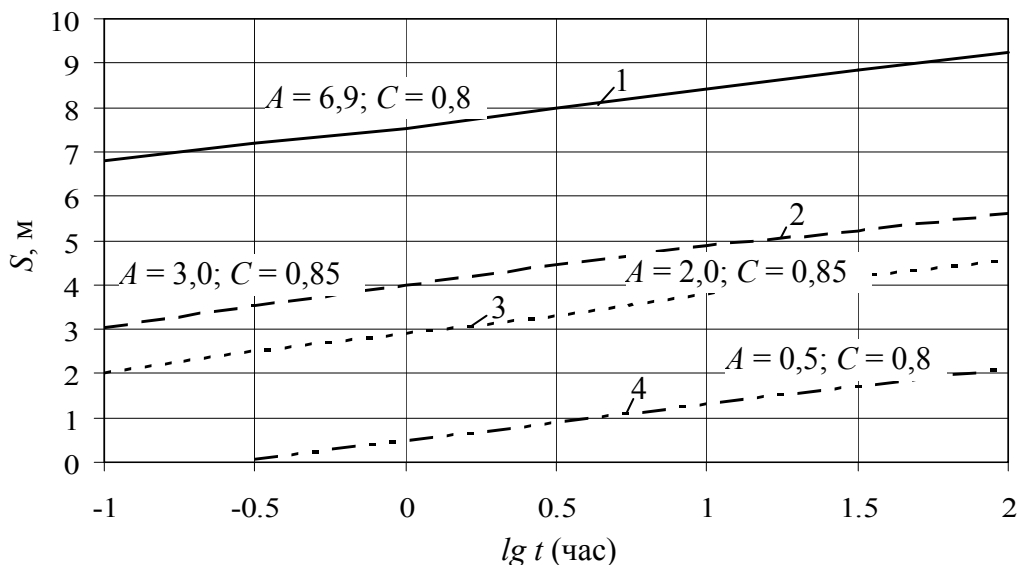


Рис. 2. Графики полулогарифмической зависимости понижения уровня воды в скважинах при кутовой откачке. Обозначения см. рис. 1

Исходя из приведенной зависимости, расчет пьезопроводности водоносного горизонта производился с помощью системы уравнений описывающей понижение в двух наблюдательных скважинах

$$S_1 = \frac{Q}{4 \pi K} f(d_1, \rho_{i,1}^j, t, a), \quad S_2 = \frac{Q}{4 \pi K} f(d_2, \rho_{i,2}^j, t, a),$$

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{f(d_1, \rho_{i,1}^j, t, a)}{f(d_2, \rho_{i,2}^j, t, a)}, \quad (3)$$

Путем прогонки аргументов функций достигалось, чтобы на графике, построенном в координатах S_1/S_2 (ось ординат) – $f(d_1, \rho_{i,1}^j, t, a) / f(d_2, \rho_{i,2}^j, t, a)$ (ось абсцисс), кривая наблюдаемых значений представляла собой прямую линию, проходящую через начало координат под углом 45° (была биссектрисой). Этот результат свидетельствовал о правильно подобранном значении пьезопроводности, после нахождения которой, коэффициент фильтрации определялся из следующего выражения

$$\kappa = \frac{Q}{4\pi \cdot S_m} \left[\frac{1}{d} + \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^2 \frac{1}{\rho_i^j} \right] \quad (4)$$

где S_m – понижение в наблюдательной скважине в период стационара.

Использование способа биссектрисы, являющегося графическим аналогом точечного способа получения параметров, возможно только с применением специализированных компьютерных программ, поэтому его реализация осуществлялась с помощью программного комплекса «ANSDIMAT» (Институт геоэкологии Российской академии наук) предназначенного для численной обработки опытно-фильтрационных опробований прямыми и обратными методами.

Контрольные расчеты водопроницаемости пермско-триасового горизонта были выполнены по формулам установившейся фильтрации с учетом несовершенства скважин по степени вскрытия пласта

– для центральной скважины:

$$Km = \frac{0,366 \cdot Q}{S_0} \left(\lg \frac{R}{r_0} + 0,217 \zeta_0 \right), \quad (5)$$

– для одной наблюдательной скважины:

$$Km = \frac{0,366 \cdot Q}{S_0 - S_1} \left[\lg \frac{r_1}{r_0} + 0,217 (\zeta_0 - \zeta_1) \right], \quad (6)$$

– для двух наблюдательных скважин:

$$Km = \frac{0,366 \cdot Q}{S_1 - S_2} \left[\lg \frac{r_2}{r_1} + 0,217 (\zeta_1 - \zeta_2) \right], \quad (7)$$

где R, r_0 – радиус влияния откачки ($R = 1,5\sqrt{at}$) и центральной скважины; $\zeta_0, \zeta_1, \zeta_2$ – соответственно фильтрационное сопротивление опытной, первой и второй наблюдательной скважины

При выполнении расчетов по формулам (1)–(7) расстояния между реальными скважинами принимались согласно их расположению на местности (скв. № 22817 – скв. № 21729 – 10 м; скв. № 22817 – скв. № 21783 – 132 м; скв. № 22817 – скв. № 21784 – 470 м). При этом их горнотехнические параметры задавались следующими: $r_0 = 0,1$ м; $L_{Tw} = 90$ м; $L_{Bw} = 30$ м; $L_{Tp} = 80$ м; $L_{Bp} = 40$ м. Анализ результатов расчетов приведенный в табл. 4. показывает хорошую сходимость и площадную однородность коэффициентов водопроницаемости и пьезопроводности определенных по данным пробной и кустовой откачки интерпретированным различными методами. Кроме того, установленные фильтрационные параметры нормально согласуются с результатами контрольных расчетов. Полученные по ним завышенные значения водопроницаемости, в скважинах близлежащих к центру возмущения (№ 21729 и 22783), объясняются искажением линий тока в зоне с радиусом близким к мощности опробуемого горизонта.

Таблица 4

Коллекторские параметры пермско-триасового водоносного горизонта определенные по результатам обработки данных опытно-фильтрационных работ

№ скважины	Технологические данные		Опытные откачки					Расчетные значения	
	Одиночная откачка ($Q, \text{дм}^3/\text{с}$) / ($S_0, \text{м}$)	Кустовая откачка ($Q, \text{дм}^3/\text{с}$) / ($S_{0,1,2,3}, \text{м}$)	Графоаналитический метод		Метод отношений		Аналитический расчет $Km, \text{м}/\text{сут}$ (один./куст.)	$K, \text{м}/\text{сут}$	$a, \text{м}^2/\text{сут}$
			$K, \text{м}/\text{сут}$ (один./куст.)	$a, \text{м}^2/\text{сут}$ (один./куст.)	$K, \text{м}/\text{сут}$	$a, \text{м}^2/\text{сут}$			
22817	–	$\frac{13,3}{9,3}$	– 1,51	–	–	–	– 285	3,3	$6 \cdot 10^6$
22783	$\frac{12,8}{9,36}$	– 4,61	$\frac{2,74}{2,3}$	$\frac{7,2 \cdot 10^6}{-}$	2,82	$5,2 \cdot 10^6$	$\frac{258,6}{441,8}$		
22784	$\frac{9,6}{6,43}$	– 2,14	$\frac{3,66}{2,15}$	$\frac{9,1 \cdot 10^6}{4,7 \cdot 10^6}$	2,82	$5,2 \cdot 10^6$	$\frac{283,2}{321,5}$		
21729	– –	– 5,7	– 2,02	– –	–	–	– 438,2		

Таким образом, с помощью обоснованных критериев, оценки возможности закачки газа в обводненные породы, установлено, что на территории Западного Донбасса наиболее перспективным емкостным ресурсом обладает Левенцовская структура. Приуроченный к ней пермско-триасовый водоносный горизонт сравнительно однороден по физико-механическим свойствам и гранулометрическому составу, а также характеризуется повышенным и относительно выдержанным значением минерализации подземных вод. Выполненная различными способами обработка результатов опытно-фильтрационных работ позволила определить коэффициенты фильтрации и пьезопроводности перспективного коллектора, величина которых изменяется в пределах $1,51 - 3,66$ м/сут и $4,5 - 9,1 \cdot 10^6$ м²/сут соответственно. Расчетные значения фильтрационных параметров были установлены путем статистической обработки полученных данных и составили: $K = 3,3$ м/сут и $a = 6 \cdot 10^6$ м²/сут.

Список литературы

1. Инкин А.В. Гидродинамическая модель газохранилища в водоносных пластах Кривбасса / А.В. Инкин // Збірник наукових праць НГУ. – 2010. – № 34, Т. 2, – С. 216 – 221.
2. Садовенко И.А. Газогидродинамическая оценка параметров хранения газа в водоносном горизонте / И.А. Садовенко, Д.В. Рудаков, А.В. Инкин // Геотехническая механика: Межведомственный сборник научных трудов. – 2010. – Вып. 91. – С. 77 – 84.
3. Гольдберг В.М. Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения / В.М. Гольдберг, С. Газда. – М.: Недра, 1984. – 262 с.
4. Мироненко В.А. Горнопромышленная гидрогеология / В.А. Мироненко, Е.В. Мольский, В.Г. Румынин. – М.: Недра, 1989. – 287 с.
5. Городец О.А. Отчет о поисках и оценке коллекторов для захоронения минерализованных шахтных вод Западного Донбасса / Городец О.А., Держак С.В., Чемерис Б.Б. – Павлоград: ГРЭ ПГО «Донбассгеология», 1985. – 219 с.
6. Антонов В.В. Поиски и разведка подземных вод / В.В. Антонов. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный горный институт, 2006. – 94 с.
7. Шестаков В.М. Теория и методы интерпретации опытных откачек / В.М. Шестаков, И.К. Невечера. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 158 с.
8. Синдаловский Л.Н. Справочник аналитических решений для интерпретации опытно-фильтрационных опробований // Л.Н. Синдаловский. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2006. – 769 с.

ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ИЗУЧЕНИЯ ВЕРХНЕГО ВЕНДА УКРАИНСКОГО ПОДОЛЬЯ, СОДЕРЖАЩЕГО ОСТАТКИ МЯГКОТЕЛОЙ ЭДИАКАРСКОЙ (ВЕНДСКОЙ) ФАУНЫ.

Е.В. Солдатенко, М.В. Рузина, Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Украина

A. El Albani, C. Fontaine, Institut de Chimie des lieux et des matériaux, IC2MP, Université de Poitiers, France

Сформулирована проблема обоснования комплексной методики изучения Верхнего Венда украинского Подолья, содержащего остатки мягкотелой Эдиакарской (Вендской) фауны. Приведены результаты минералого-петрографических исследований и томографического изучения образцов Могилёв-Подольской серии Верхнего Венда. Обоснована целесообразность комплексной междисциплинарной методики изучения горных пород и остатков мягкотелых фоссилий для получения достоверной литологической и палеогеографической информации.