

Академик НАН Украины А. Е. Лукин, Е. М. Довжок,
А. Ш. Книшман, В. И. Гончаренко, А. И. Дзюбенко

Гелиевая аномалия в нефтегазоносных визейских карбонатных коллекторах Днепровско-Донецкой впадины

В пределах южного сегмента Сребненского нижневизейского мегаатолла на одном из месторождений в скв. 1 в водорастворенном газе из карбонатных коллекторов (продуктивный горизонт В-25) установлено аномально высокое (1,78% (мас.), или 10,72% (мольн.)) содержание гелия. Это позволяет предполагать присутствие в центральной части Днепровско-Донецкой впадины обширного Сребненского ареала уникально высокой гелиеносности.

Гелиеносность относится к числу наиболее важных геохимических характеристик природных газов. Именно газовые и газоконденсатные месторождения являются источником гелия, который, благодаря уникальным физико-химическим свойствам, составляет основу ряда современных криогенных технологий, необходимых для металлургии и сварки, авиации, судостроения и ракетостроения, ядерной энергетики, лазерной техники, медицины и др. Кроме того, содержание гелия в различных генерациях природных газов и его изотопный состав являются важнейшими геохимическими, геодинамическими и флюидодинамическими показателями. Вследствие общеизвестных уникальных физико-химических свойств земной гелий — редкий и рассеянный газ, присутствующий в природных газах различного химического состава обычно в виде примеси, содержание которой не превышает тысячных, сотых, редко — десятых долей процента [1]. При этом к гелийсодержащим относятся газы с концентрацией гелия свыше 0,02%, которые в свою очередь разделены на четыре группы: бедные (содержание He 0,02–0,05%), богатые (0,05–0,30%), весьма богатые (0,30–1,0%) и уникально богатые (>1,0%) [2].

Содержание гелия в газе газоконденсатных, газовых, нефтяных и гетерофазных месторождений Украины варьируют в пределах 0–0,12%. Газы с повышенным (свыше 0,05%) содержанием He здесь известны в основном в Днепровско-Донецкой впадине (ДДВ), что согласуется с основной закономерностью гелиеносности — связью ее зон и ареалов преимущественно с нефтегазоносными провинциями древних платформ и ведущей ролью гранитов докембрийского фундамента как источника He [1]. В соответствии с указанной закономерностью, основные гелиеносные зоны в ДДВ должны быть приурочены к ее бортам (моноклинальным склонам Воронежского массива и Украинского щита) и зонам их сочленения по системам краевых нарушений с грабеном.

Действительно, максимальное содержание гелия установлено на тех месторождениях, залежи которых залегают либо в разуплотненных кристаллических породах (граниты, гнейсы, амфиболиты и т. д.) докембрийского фундамента, либо в вышележащих нижнекаменноугольных отложениях его маломощного осадочного чехла. Так, на Юлиевском месторождении, основные запасы которого связаны с массивной газоконденсатной залежью в нижнепротерозойских кристаллических породах фундамента, концентрации He в пробах газа, отобранного в скважинах 1, 2, 3, 10, 14 в интервале глубин 3468–3730 м, составляют 0,07–0,12%.

Это существенно выше, чем содержание гелия в пробах газа, отобранных в продуктивных горизонтах разновозрастных палеозойских (D_3-P_1) комплексов многочисленных месторождений ДДВ (0–0,07%). Поэтому особого внимания заслуживает аномально высокое (1,78% (мас.), или 10,72% (мольн.)) содержание гелия в пробе, отобранной из коллекторов нижневизейского рифогенно-карбонатного комплекса на одном из месторождений (в Варвинском районе Черниговской области), которое приурочено к южной части Сребненской депрессии. В девоне последняя представляла собой бессолевою вулканотектоническую мезоструктуру центрально-кольцевого типа, которая влияла и на последующее осадконакопление, что особенно ярко проявилось в ранней перми (Сребненская соленосная депрессия с развитием в центральной части мощной соленосной толщи с сильвинитом и бишофитом в верхней части, а на обрамлении — доломитизированных рифогенно-карбонатных тел [3]).

Влияние этой древней структуры, соответствующей апикальной части одного из дериватов сложного Днепровско-Донецкого суперплюма (выделенного в свое время исследователями Института геофизики имени С. И. Субботина НАН Украины в качестве мантийного диапира), достаточно четко проявилось и на этапе ранневизейского карбонатонакопления, которое, судя по данным картирования мощностей и фаций нижневизейского рифогенно-карбонатного комплекса (РКК), характеризуется четкой закономерной зональностью [4]. В центральной части нижневизейской Сребненской впадины, по данным глубокого бурения и сейсморазведки, выделяется небольшая область полного замещения известняков депрессионными темноцветными терригенно-глинисто-доманикоидными отложениями с повышенным содержанием органического вещества (и высокой степенью его битуминизации), аномально высокими концентрациями элементов группы железа (ванадий, никель, хром, титан) и халькофилов (молибден, рений, цинк, кадмий, медь), резко повышенной ториевой и, особенно, урановой радиоактивностью. Широкое развитие эта фация получает в вышележащих рудовских слоях, с которыми связан региональный радиоактивный репер в кровле нижневизейского РКК, а полное замещение карбонатных пород в центре впадины отражает стратиграфически скользящие пространственно временные взаимоотношения XIII и XIIa микрофаунистических горизонтов визейского яруса. На основной же части Сребненской впадины нижневизейские отложения представлены морскими депрессионными глинисто-кремнисто-карбонатными отложениями (20–40 м), разрезы которых сложены темноцветными битуминозно-глинистыми неравномерно окремнелыми шламово-микрозернистыми (с остатками радиолярий, спикулами губок, планктонными фораминиферами и др.) известняками.

На обрамлении области развития депрессионных фаций, по данным сейсморазведки и глубокого бурения, выделена цепочка рифогенно-карбонатных тел (Сребненский мегаатол), промышленная нефтегазоносность которых установлена на Селюховском, Приречном, Беличевском, Кампанском, Анастасьевском, Липоводолинском месторождениях и предполагается на ряде других площадей (крупные рифогенно-карбонатные массивы закартированы в пределах Яблуновского, Рудовского и других месторождений, однако, как в свое время на Липоводолинском, Анастасьевском и других месторождениях, их возможная продуктивность пока не получила должной оценки).

Рифогенно-карбонатные массивы нижневизейского Сребненского мегаатолла характеризуются большим морфогенетическим разнообразием. Наряду с обширными уплотненными органогенными постройками внешнего обрамления на периферии собственно депрессионной области присутствуют также их сателлиты — предрифово-шлейфовые аккумулятивные тела и рифы-пиннаклы [4]. Такова природа прогнозного рифогенно-карбонатного

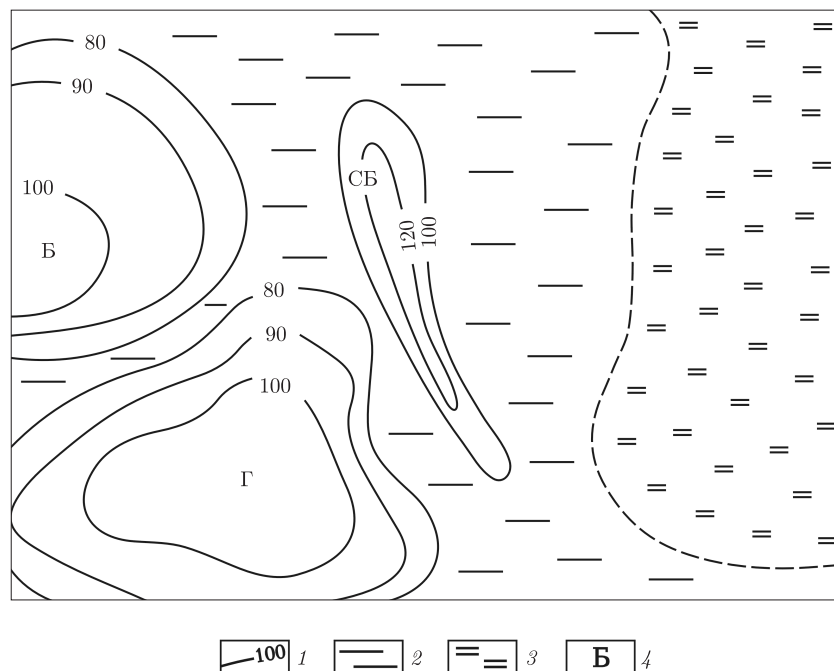


Рис. 1. Сегмент Сребненского нижневизейского мегаатолла:
 1 — изопахиты нижневизейских рифогенных карбонатов; 2 — темноцветные глинисто-карбонатные отложения; 3 — доманикиты; 4 — рифогенно-карбонатные массивы

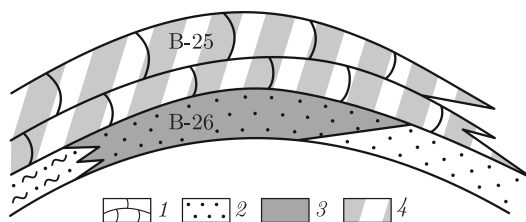


Рис. 2. Разрез нижневизейских продуктивных горизонтов структуры СБ:
 1 — рифогенно-карбонатные коллекторы; 2 — песчаные коллекторы; 3 — нефтяная залежь; 4 — предполагаемое газонасыщение

тела СБ (рис. 1), которое существенно отличается от основных построек внешнего обрамления (Б, Г) по форме и высоким градиентам толщины. Это валоподобное предрифово-шлейфовое аккумулятивное тело, осложненное рифом-пиннаклом на его южном окончании, где открыто газоконденсатное месторождение. Для оценки перспектив нефтегазоносности его остальной части с нефтяными залежами в нижневизейских песчаниках горизонта В-26 (рис. 2) была пробурена специальная скважина, которая в интервале 3791–3818 м вскрыла нижневизейские известняки (продуктивный горизонт В-25). Выделение карбонатных коллекторов в указанном интервале проводилось (табл. 1) на основе метода баланса пористости с оценкой ее по нейтронному ($K_{\Pi}^{n\gamma}$), акустическому ($K_{\Pi}^{ак}$) и боковому ($K_{\Pi}^{бк}$) каротажу. Определялись коэффициенты вторичной пористости ($K_{\Pi}^{вт}$) и ее составляющих — трещинной ($K_{\Pi}^{тр}$) и кавернозной ($K_{\Pi}^{кав}$) пористости. При интерпретации было принято минимальное (из указанного в [5] диапазона 0,85–1,0) значение коэффициента газонасыщения.

Таблица 1. Результаты интерпретации геофизических исследований карбонатных пород горизонта В-25 нижнего виле, проведенных в скважине № 1, пробуренной на структуре СБ

Интервал, м	Толщина общая, м	Толщина эффективная, м	$K_{п}^{п\gamma}$, %	$K_{п}^{ак}$, %	$K_{п}^{бк}$, %	$K_{п}^{вт}$, %	$K_{п}^{кав}$, %	$K_{п}^{тр}$, %	$K_{пг}$, %	Литология, тип коллектора	Характер насыщения
3766,0–3768,4	2,4	2,0	3,5	5	3	1,5		0,3	85	Известняк трещиноватый	Возможно газонасыщенный
3772,0–3774,0	2,0	2,0	3,5	2,5	2	1,5	1,5	0,2	85	Известняк трещиновато-кавернозный	Возможно газонасыщенный
3780,8–3782,0	1,2	1,2	4	5	—	2,5	1	—	85	Известняк трещиновато-кавернозный	Возможно газонасыщенный
3782,8–3785,6	2,8	2,8	2,5	2,5	—	1,5	0,5	—	85	Известняк трещиновато-кавернозный	Возможно газонасыщенный
3788,8–3789,6	0,8	0,8	4	6	—	2	1	—	85	Известняк трещиноватый	Возможно газонасыщенный
3791,6–3794,8	3,2	3,2	4	5	4,5	2	0,5	1	85	Известняк кавернозно-трещиноватый	Возможно газонасыщенный
3799,6–3801,6	2,0	1,6	3,5	5	2,5	1,5	—	0,6	85	Известняк трещиноватый	Возможно газонасыщенный
3803,2–3804,0	0,8	0,8	3,5	5	5	1,5	—	1	85	Известняк кавернозно-трещиноватый	Возможно газонасыщенный
3808,0–3810,8	2,8		2,5	2	3	—	—	—	—	Известняк	Плотный
3814,4–3817,2	2,8	2,8	4	5	4	2	—	0,8	85	Известняк кавернозно-трещиноватый	Возможно газонасыщенный

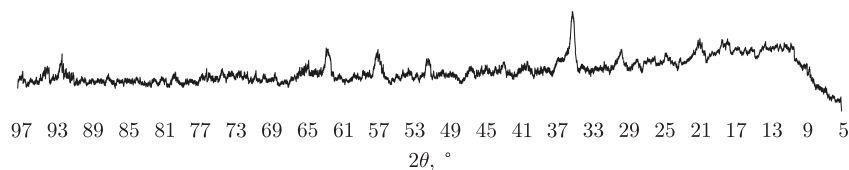


Рис. 3. Дифрактограмма (ДРОН-3) взвеси в пластовой жидкости (скв. № 1, инт. 3791–3818 м; горизонт В-25). Минеральный состав: магнетит, гетит, кальцит, анкерит, сидерит, антраксолит, полевоый шпат, анатаз, цинкит, барит, циркон, медь самородная, каолинит, хлорит

При испытании из указанного интервала были получены притоки воды с повышенным содержанием растворенного газа. Ее пробы были отобраны во время свабиrowания, которое проводилось при скорости поднятия сваба 1500–2000 м/ч (объем жидкости, поднимаемой за один рейс, составлял 300–450 л, снижение уровня за один рейс — 80–120 м; снижение уровня методом свабиrowания по схеме с установленным эксплуатационным пакером на НКТ проведено до глубины 3350 м при депрессии 34 МПа). Пробы отбирались во время слива жидкости, поднятой свабом с соответствующей глубины до мерной емкости (пластиковой бутылки). Последняя помещалась непосредственно в трубу перед началом выхода жидкости. После заполнения она закрывалась пластиковой пробкой на резьбе и ставилась в вертикальное положение пробкой вниз для обеспечения герметичности. При отстаивании отобранных проб жидкости минеральная взвесь осаждалась на дно, на поверхности образовывалась гидрофобная масляная пленка, над жидкостью скапливался газ. Вещественный состав вышеуказанных продуктов фазовой дифференциации был изучен в лабораториях Черниговского отделения УкрГГРИ.

Жидкость является типичной для глубокозалегающих горизонтов (зона весьма затрудненного водообмена) высокоминерализованной (свыше 150 г/кг) пластовой водой хлоркальциевого типа с отношением $Na/Cl = 0,55$ и повышенным содержанием брома, бора, аммония и калия. Пленка, образовавшаяся на поверхности воды, имеет конденсатно-нефтяную природу и представляет собой смесь нафтенных, метановых и ароматических углеводородов.

Твердофазный осадок представляет собой смесь различных минералов (рис. 3), представленный каолинитом, хлоритом, магнетитом, гетитом, анкеритом, сидеритом, твердым битумом типа антраксолита, полевым шпатом, анатазом, цинкитом, баритом, цирконом, а также частицами самородных металлов (медь, цинк). Не исключая техногенного загрязнения (высокое содержание магнетита), следует отметить, что в целом указанная минеральная ассоциация вполне соответствует составу вторичных коллекторов глубокозалегающих продуктивных горизонтов нижнего карбона ДДВ, сформированных в результате гипогенно-метасоматических процессов преобразования как карбонатных, так и терригенных (песчаных) пород [6].

В свете указанных особенностей природы и вещественного состава жидкой и твердой фаз продуктов опробования нижневизейских карбонатных коллекторов Светличного месторождения особого внимания заслуживает гелиево-углеводородно-азотный состав газа (табл. 2). Отсутствие в изученных пробах даже следов кислорода (в сочетании с аномально высоким содержанием гелия и повышенной ролью гомологов метана) позволяет исключить загрязнение воздухом и рассматривать этот газ как аутентичный глубинный. В связи с этим возникает вопрос об источниках азота и гелия. Согласно наиболее обоснованным представлениям [7], источник больших концентраций молекулярного азота в газовых залежах на глубинах свыше 2–3 км связан с метаморфическими или магматическими породами.

Это находится в соответствии с геохимией азота в алмазоносных кимберлитах, лампроитах (и в самих алмазах), а также с данными экспериментальных исследований газов, выделяющихся из различных кристаллических пород при нагревании [7]. При этом наибольшие (7–18%) концентрации N₂ были установлены в газах, полученных при нагревании разнообразных вулканических пород (базальтов, андезитов, липаритов и др.), что находится в соответствии с указанными особенностями строения Сребненской депрессии — наличием в ее основании крупной рифейско-девонской вулканотектонической структуры [8]. Кроме того, при нагревании эффузивов (особенно базальтов) выделяется значительное количество CO₂, содержание которого в изученных пробах также повышено по сравнению с обычным свободным газом месторождений ДДВ.

Более сложным является вопрос об источнике гелия. Как отмечалось, повышенная гелиеносность газов свойственна нефтегазоносным провинциям древних платформ при достижении максимума в базальных слоях осадочного чехла и разуплотненных породах докембрийского фундамента. Это вполне соответствует базирующимся на геологических и изотопно-геохимических закономерностях гелиеносности представлениям о господстве в земной коре радиогенного гелия (изотоп ⁴He — продукт α-распада радиоактивных элементов в земных недрах) и доминирующей роли среди его источников пород “гранитного слоя” (в частности, верхней аккреционной кромки — кристаллического фундамента нефтегазоносных осадочных бассейнов). В данном случае, учитывая большие (до 8 км и, возможно, глубже) глубины залегания фундамента, для появления этой гелиевой аномалии следует предполагать наличие внутричехольных источников гелия, к которым, помимо девонских вулканитов, возможно, относятся обогащенные ураном доманикоидные (черносланцевые) фации (рудовские слои), парагенетичные нижневизейскому РКК (на стратиграфически скользящих границах рифогенных карбонатов и черных сланцев присутствуют радиоактивные реперы). Вместе с тем, не следует игнорировать и возможную роль гораздо более глубоких источников гелия, причем связанных не только с нижележащими верхнедевонскими эффузивами, а также породами рифея [8] и архейско-протерозойского фундамента, но и с мантией. В связи с этим следует учесть, что центральная часть ДДВ (данные по Глинско-Розбышевскому, Яблуновскому и другим месторождениям), включая Сребненскую депрессию (данные по Светличному, Ярошевскому, Талалаевскому месторождениям), характеризуется повышенными (до $16,7 \cdot 10^{-8}$) значениями отношения ³He/⁴He [9, 10].

Таким образом, есть основания предполагать наличие связанной с одноименной мезоструктурой ДДВ Сребненской газогелиевой аномалии, которая нуждается в дальнейшем

Таблица 2

Состав газа	% (мольн.)	% (мас.)
O ₂	0,00	0,00
CO ₂	0,23	0,42
N ₂	55,93	64,90
He	10,72	1,78
H ₂	0,00	0,00
Метан	22,75	15,11
Этан	4,42	5,50
Пропан	3,95	7,21
i-Бутан	0,54	1,30
n-Бутан	1,08	2,61
Пентан + высшие УВ	0,08	0,38

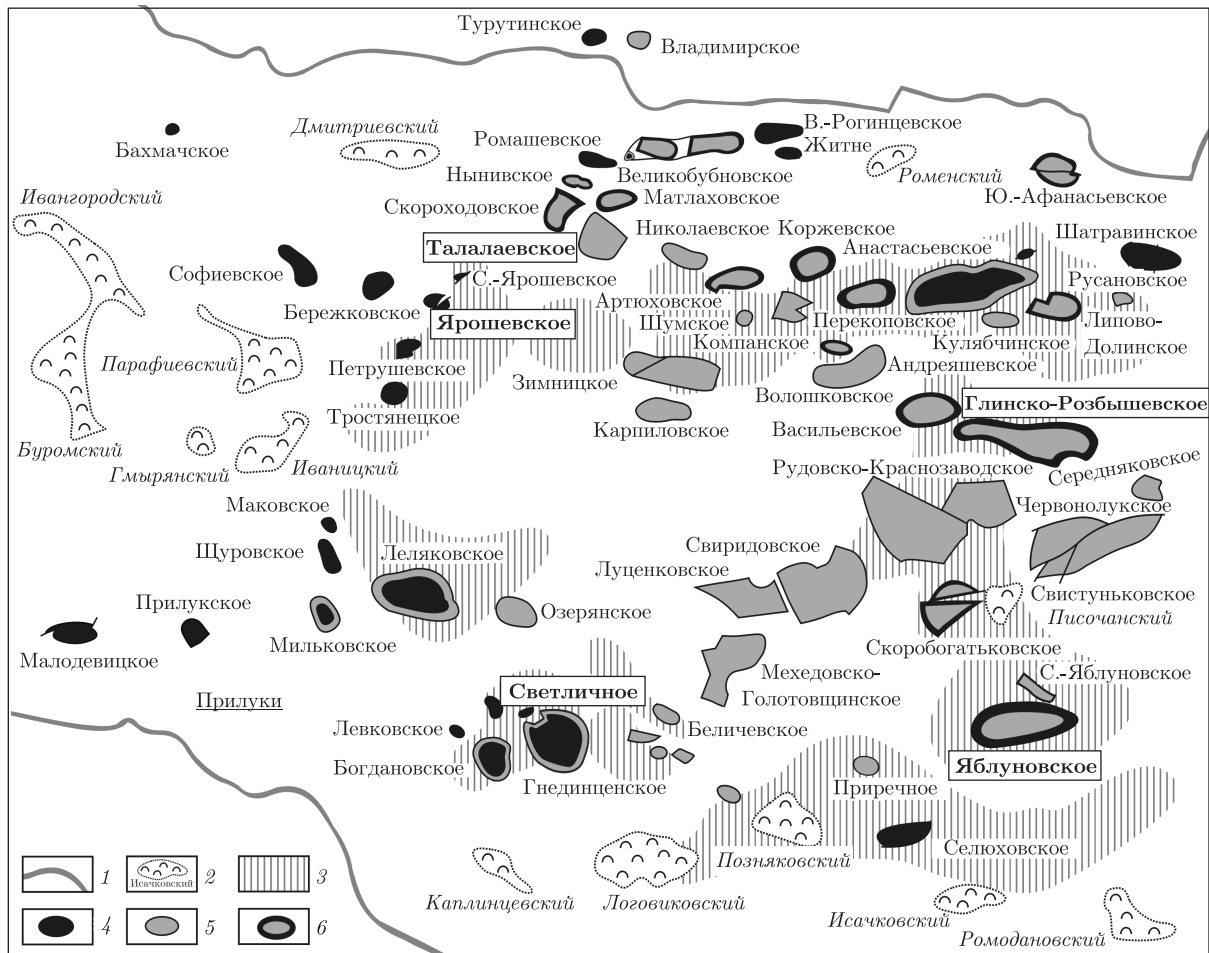


Рис. 4. Фрагмент карты нефтегазоносности ДДВ, включающий Сребненскую депрессию:
 1 – краевые нарушения; 2 – соляные штоки; 3 – рифогенно-карбонатные зоны; месторождения: 4 – нефтяные; 5 – газовые, газоконденсатные; 6 – нефтегазоконденсатные (в рамках выделены названия тех месторождений, где в составе гелия свободных и растворенных газов ранее были установлены повышенные содержания изотопа ^3He)

изучении, включая определение содержания гелия в газах нефтяных, газоконденсатных и газовых месторождений в пределах Сребненской депрессии и ее обрамления (рис. 4). Помимо несомненного теоретического значения, данный феномен представляет значительный практический интерес, учитывая огромную роль гелия в развитии передовых технологий и его неуклонно возрастающее потребление в мире.

1. Якуцени В. П. Геология гелия. – Ленинград: Недра, 1968. – 232 с.
2. Helium in the Rise. Crio Gas // J. Intern. – 2008. – March. – P. 1–2.
3. Лукин А. Е., Галицкий И. В. О биогермах в нижнепермских отложениях Днепровско-Донецкой впадины // Докл. АН СССР. – 1974. – **215**, № 1. – С. 170–173.
4. Лукин А. Е. Литогеохимические факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах. – Киев: Наук. думка, 1997. – 224 с.
5. Вендельштейн Б. Ю., Резванов Р. А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов. – Москва: Недра, 1985. – 320 с.
6. Лукин А. Е. Гипогенно-аллогенетическое разуплотнение – ведущий фактор формирования вторичных коллекторов нефти и газа // Геол. журн. – 2002. – № 4. – С. 15–32.

7. Соколов В. А. Геохимия природных газов. – Москва: Недра, 1971. – 336 с.
8. Лукин А. Е., Владимиров А. С., Ермаков И. М. Проблема додевонского рифтогенеза в Днепровско-Донецком авлакогене // Геотектоника. – 1992. – № 2. – С. 30–46.
9. Травникова Л. Г., Астахов М. И. Изотопно-геохимическая характеристика природных газов Днепровско-Припятской нефтегазоносной провинции // Происхождение и формирование состава природных газов по данным изотопной геохимии. – Ленинград: ВНИГРИ, 1981. – С. 83–104.
10. Гордиенко В. В., Тарасов В. Н. Современная активация и изотопия гелия территории Украины. – Киев: Знання, 2001. – 100 с.

Черниговское отделение Украинского
государственного геологоразведочного института
Институт геологических наук НАН Украины, Киев

Поступило в редакцию 22.03.2012

Академік НАН України **О. Ю. Лукін, Є. М. Довжок, О. Ш. Книшман,
В. І. Гончаренко, О. І. Дзюбенко**

Гелієва аномалія у нафтогазоносних візейських карбонатних колекторах Дніпровсько-Донецької западини

В межах південного сегмента Срібненського нижньовізейського мегаатолу на одному з родовищ у скв. 1 у водорозчиненому газі з карбонатних колекторів (продуктивний горизонт В-25) встановлений аномально високий (1,78% (мас.), або 10,72% (мольн.)) вміст гелію. Це дозволяє припускати існування в центральній частині Дніпровсько-Донецької западини великого Срібненського ареалу унікально високої гелієносності.

Academician of the NAS of Ukraine **A. E. Lukin, E. M. Dovzhok,
A. Sh. Knishman, V. I. Goncharenko, O. I. Dzubenko**

Helium anomaly in petroliferous Visean carbonate reservoirs of the Dnieper-Donets Depression

Abnormally high content (1.78% mass. or 10.72% mol.) of helium in water-solved gas from carbonate reservoirs (productive horizon V-25) is established within a southern segment of the Srebnian Lower Visean megaatoll in one of the deposits (well 1). This suggests the existence of the Srebnian area with an extremely high content of He-bearing gases.