



<http://dx.doi.org/10.15407/dopovidi2016.08.070>

УДК 552.58:553.98:551.79(477)

Академик НАН Украины А. Е. Лукин, И. П. Гафич, В. В. Макогон,
А. Б. Холодных

Институт геологических наук НАН Украины, Киев

E-mail: ukrnigri@mail.ru

Перспективы нефтегазоносности глубокозалегающих улсортских карбонатных куполов в центральной части Днепровско-Донецкой впадины

Турнейско-нижневизейские рифогенно-карбонатные комплексы, представленные в Западной Европе и Северной Америке улсортскими фациями, кардинально отличаются от других глобальных этапов карбонатного рифообразования отсутствием типичных “экологических рифов”. Это темноцветные (с повышенным содержанием керогена и микробиогенного пирита) пелитоморфные известняки, биота которых представлена разноразмерными фрагментами криноидей, а также мшанками и брахиоподами. Они отличаются плотностью и повышенными прочностными свойствами. Однако, как показали результаты изучения улсортских фаций в Днепровско-Донецком авлакогене, на больших глубинах они приобретают вторичные коллекторские свойства и обладают значительным углеводородным потенциалом.

Ключевые слова: рифогенно-карбонатные комплексы, улсортские купола, углеводородный потенциал, большие глубины, Днепровско-Донецкая впадина.

Раннекарбонный и прежде всего турнейско-ранневизейский этап формирования глобальных рифогенно-карбонатных комплексов (РКК) отличается от других РКК отсутствием типичных “экологических рифов”: биокарбонатных каркасных и (или) каркасно-аккумулятивных сооружений и продуктов их волнового разрушения (парагенез собственно рифа, предрифового шлейфа и зарифовых отложений), изначально обладающих высокими коллекторскими свойствами.

В Западной Европе и Северной Америке он представлен так называемыми улсортскими (Waulsortian) фациями, хорошо изученными по обнажениям и данным неглубокого бурения на территории Бельгии (именно по названию деревни Улсорт в динантском бассейне

© А. Е. Лукин, И. П. Гафич, В. В. Макогон, А. Б. Холодных, 2016

Бельгии данный фациальный комплекс и был выделен свыше 150 лет назад Э. Дюпоном в качестве “улсортских слоев” — “Assise de Waulsort” [1]), Центральной Франции, Англии, Ирландии, США (Оклахома, Монтана, Техас, Нью-Мексико) и Канады (Альберта). Вместо типичных рифов здесь присутствуют куполовидные карбонатные тела (улсортские карбонатные купола), которые также получили наименование иловых холмов (mud mounds) [2]. Размеры их в поперечнике варьируют от нескольких сотен метров до 2–3 км и более, а высота над дном морского палеобассейна — от первых десятков до нескольких сотен метров. Толщина улсортских отложений в Западной Европе и Северной Америке варьирует от 100 до 1000 м.

Степень выраженности куполоподобной формы зависит от палеотектонической позиции. В шельфовых зонах турнейско-визейских (динантских, миссисипских) морских бассейнов это уплощенные тела, а в их обширных депрессионных областях — четко выраженные купола с градиентом толщин свыше 100–200 м на 1,5–2 км [2]. Они сложены массивными пелитоморфными (микритовыми) темноцветными известняками, остатки макробиоты которых представлены разнообразными по величине и биоструктуре фрагментами криноидей (от единичных криноидных “табличек” до фрагментов “стеблей”, “рук” и “чашечек” морских лилий), а также колониальных мшанок-фенестелид. На склонах улсортских куполов (иловых холмов) локализуются брахиоподовые банки. Залегаящие в межкупольном пространстве улсортские слои представлены в основном темно-серыми криноидными известняками и черными битуминозными калькаренитами. Последние представляют собой древние залежи нефти (первичная открытая пористость криноидных калькаренитов достигала 20–30%). Все указанные литотипы улсортских фаций установлены в составе турнейских и главным образом нижневизейских, а также частично верхневизейских и даже серпуховских (но уже наряду с типичными “экологическими рифами”) отложений Днепровско-Донецкого авлакогена [3]. В составе указанных РКК широко распространены криноидные известняки и калькарениты с высокой первичной пористостью, матрикс которых образован пелитоморфным темноцветным известняком и (или) битумом (продуктами биodeградации древних нефтяных скоплений–мальтой–асфальтом–асфальтитом).

Таким образом, в отличие от рифовых сооружений других РКК, улсортские купола представляют собой темноокрашенные массивные пелитоморфные плотные малопроницаемые образования. Их литологические, нано-микроструктурные и геохимические особенности свидетельствуют о микробиогенной природе пелитоморфного матрикса иловых холмов, что согласуется с обилием фоссилизированных пиритом сульфатредуцирующих бактерий (рис. 1).

Об интенсивных микробиогенных процессах свидетельствует также резко облегченный состав сульфидной ($^{34}\text{S}_{\text{шир}}$) и органической ($^{34}\text{S}_{\text{орг}}$) серы, в то время как зарифовые фации силурийских, девонских, пермских РКК характеризуются изотопно-тяжелой сульфатной серой [3].

Ведущая роль анаэробно-бактериальных процессов в формировании микритового карбонатного вещества улсортских куполов объясняет механизмы скрепления иловых частиц (и фрагментов микробииоты) и ранней литификации улсортских куполов (несмотря на относительную глубоководность и связь с депрессионно-морскими условиями). Биокарбонатная природа улсортских куполов позволяет рассматривать их как гомолог карбонатных органогенных построек в типичных палеозойских и мезозойских РКК. Вместе с тем коренным отличием улсортских куполов от рифовых построек других РКК является, как отмечалось, полное отсутствие первичных коллекторских свойств. Эти плотные темноокра-

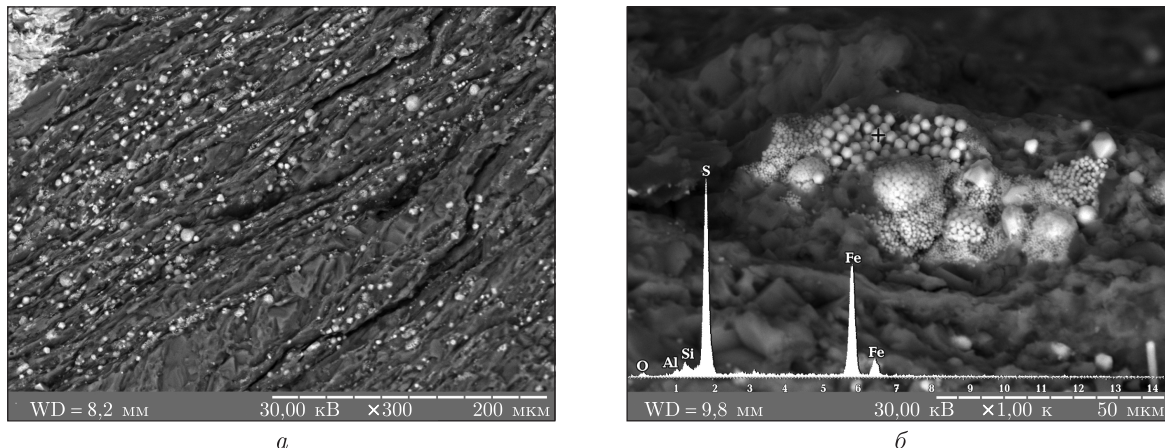
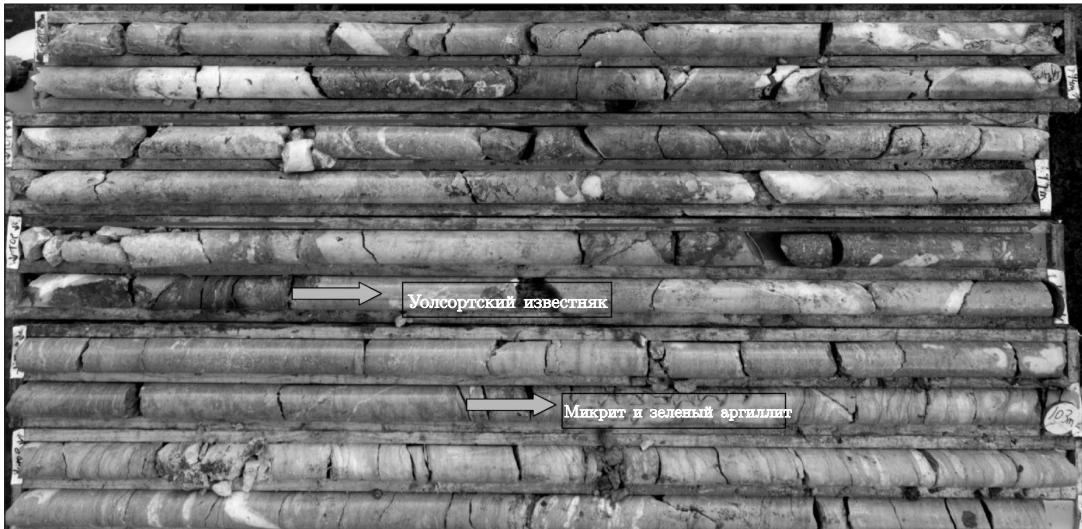


Рис. 1. Микробиогенная пиритизация в нижневизейском черном микритовом известняке. Электронный микроскоп РЕМ-106 с рентгеноспектральным зондом. (ДДВ, скв. С-17, инт. 5974,5–5980,58 м)

пенные (за счет дисперсного FeS_2 и S-содержащего органического вещества) породы отличаются от биоморфных известняков девонских, среднекаменноугольных, нижнепермских, мезозойских и, тем более, кайнозойских РКК высокими прочностными свойствами. Их эксплозивное мелкооскольчатое разрушение в лабораторных условиях происходит при более высоких нагрузках на одноосное сжатие. В то же время породы уолсортских фаций характеризуются значительными вариациями основных петрофизических и физико-механических показателей, что в значительной мере связано с неравномерным окремнением. Так, на Беличевском месторождении, массивная газоконденсатная залежь которого приурочена к интенсивно-трещиноватому куполовидному массиву неравномерно окремненных известняков нижнего визе, эти показатели варьируют следующим образом: коэффициент анизотропии — от 0,78 до 1,35; модуль Юнга — от 2,2 до 8,8; коэффициент Пуассона — от 0,22 до 0,38; коэффициент затухания ультразвука — от 0,6 до $102,5 \text{ м}^{-1}$. Для типичных литотипов уолсортских фаций мелкооскольчатое разрушение массивных темноцветных пород с коэффициентом анизотропии 0,8–1,1 наблюдается в интервале значений σ_p 50–110 кгс/см². Резкое снижение прочности (значения σ_p менее 40 кгс/см²) отмечается для пород с неравномерным окремнением и повышенным содержанием глинистого вещества. С увеличением глубины более 3800–4000 м происходит снижение прочности (до значений σ_p 12–33 кгс/см²), а на глубинах 5500–6500 м обнаружены признаки интенсивного разрушения.

Для темноцветных пелитоморфных нано- и микропористых малопроницаемых известняков, слагающих уолсортские купола на больших (более 5–6 км) глубинах, при повышении пластовых температур свыше 120–140 °С “подключаются” физико-химические факторы разрушения (разуплотнения), связанные с их гидрофобностью [5]. Нагнетание сначала газообразных, а затем и жидких низкокипящих углеводородов в гидрофобный нано-микропористый агрегат приводит к повышению внутривещного давления и различным формам разрушения, первая стадия которого связана с дискообразованием, а вторая — с дезинтеграцией и превращением прочной плотной малопроницаемой породы в рыхлый агрегат (рис. 2).

С указанным феноменом разуплотнения первоначально плотных, с высокими показателями прочности и повышенной акустической жесткостью уолсортских куполов связан парадокс их нефтегазоносности. По сравнению с другими РКК, с которыми в различных про-



а



б



в

Рис. 2. Различная степень саморазрушения керна карбонатных пород уолсортских куполов в зависимости от глубины залегания.

а — отложения верхнего динанта Ирландии Tulla Licences, интервал глубин 85–106 м [1]; б — ДДВ, скв. С-17, интервал глубин 6186,1–6193,6 м; в — ДДВ, скв. С-17, интервал глубин 6210,4–6216,3 м

винциях мира связаны зоны интенсивного нефтегазонакопления (верхний девон, средний карбон — нижняя пермь, верхняя юра, мел), нижнекаменноугольные и, в частности, турнейско-нижневизейские РКК нефтегазоносных бассейнов Западной Европы и Северной Аме-

рики отличаются явно пониженным углеводородным потенциалом. Достаточно сопоставить в этом отношении миссисипий (мелкие залежи в структурах облекания, отсутствие значительных месторождений в карбонатных формациях) и пенсильваний — вулфкемп (огромные разведанные запасы нефти мегаатолла Хорспу, Центральной платформы Пермской впадины и других зон интенсивного нефтегазоаккумуляции Мидконтинента) [3]. Поэтому, когда в свое время (в начале 1970-х гг.) одним из авторов данной работы была поставлена проблема промышленной нефтегазоносности разновозрастных РКК Украины в целом и Днепровско-Донецкого региона в частности, наибольший скептицизм проявился при оценке перспектив нефтегазоносности карбонатных пород турне и особенно нижнего визе.

В практике геологоразведочных работ в ДДВ, в частности, укоренилось представление о “визейской плите” как о региональной малопроницаемой толще плотных темноцветных кремнисто-карбонатных отложений. Однако данные глубокого бурения и сейсморазведки позволили установить ее гетерогенный характер. В частности, в приосевой зоне ДДВ она представляет собой мозаику большого количества микритовых куполов (иловых холмов), залегающих среди депрессионных отложений, представленных глинисто-кремнисто-карбонатными доманикоидами (гидрокарбонелитами) (рис. 3). При этом уолсортские купола обнаруживают четкую связь с погребенными палеоподнятиями, к которым приурочены месторождения с залегающими на глубинах более 4–5 км газоконденсатными залежами в полифациальных преимущественно терригенных верхневизейских отложениях (продуктивные горизонты В-18–В-23).

Несмотря на отсутствие достаточно целенаправленных поисков нефтяных и газовых залежей в рифогенно-карбонатных ловушках (степень освоения их углеводородного потенциала в нефтегазоносных регионах Украины по сравнению с терригенными комплексами невелика), был открыт ряд месторождений с нефтяными и газоконденсатными залежами именно в турнейских и нижневизейских РКК (Богатойское, Кампанское, Мачехское, Новониколаевское, Селпоховское, Беличевское и др.). Субстратом формирования этих вторичных коллекторов являются уолсортские фации. Основным фактором их формирования является разноориентированная открытая (микро)трещиноватость, интенсивность которой возрастает с глубиной. Отмечено несколько уровней ее увеличения, приуроченных к глубинам 3,5–3,8; 4–4,5; 5–5,5; 6–6,5 км. На глубине более 6,5 км, судя по данным бурения сверхглубокой скв. С-17, при подъеме керна нижневизейских карбонатов наблюдается их полное “саморазрушение”, свидетельствующее о высоком внутривисковом давлении и газонасыщенности. Таким образом, происходит трансформация плотных уолсортских “иловых холмов” в разуплотненные тела. Уолсортский купол (плотный “иловый холм”) превращается в природный резервуар углеводородного флюида, фазовое состояние которого определяется конкретными геотермобарическими условиями (на глубинах более 5 км это преимущественно разнообразные газоконденсатные системы). Данные изучения морфологии трещин свидетельствуют о взаимодействии сжимающих и растягивающих радиальных и тангенциальных напряжений. Этот сложный геодинамический режим трещинообразования, по-видимому, лишь частично связан с тектоническими факторами (активизация сдвиговых смещений на нео- и актуотектоническом этапах). Главной же причиной такого импульсного (квазиэксплозивного) разуплотнения уолсортских куполов является, как уже отмечалось [5], физико-химическая трансформация в условиях повышенных температур и давлений. Это результат взаимодействия ряда факторов, главными из которых являются: а) стягивание тектонических напряжений на залегающие в анизотропной слоисто-зональной среде первоначально весьма прочные (по сравнению с вмещающими отложениями) куполообразные

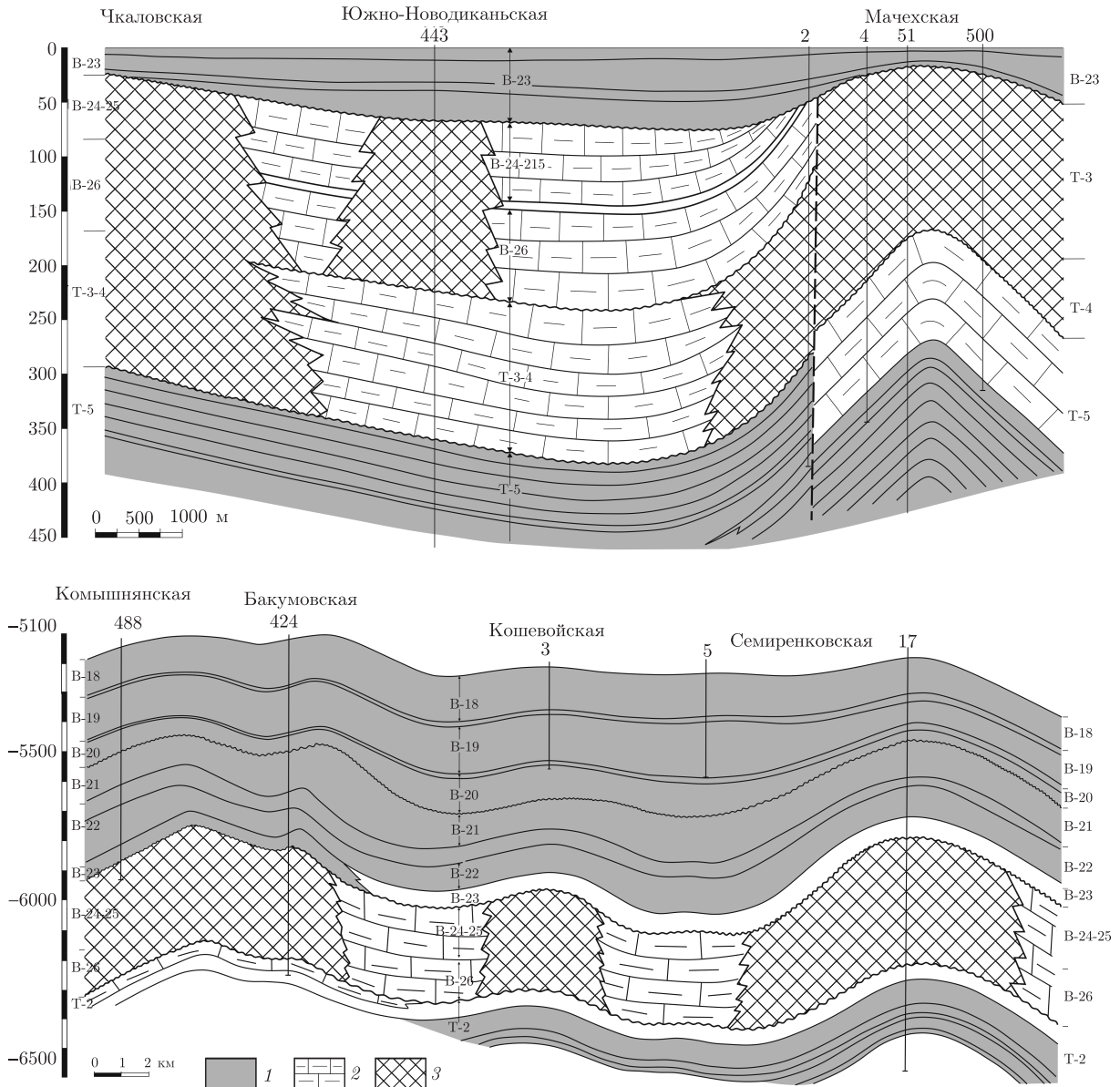


Рис. 3. Литолого-палеотектонические разрезы турнейско-нижневизейских отложений центральной части ДДВ.
 1 — полифациальные карбонатно-терригенные отложения; 2 — карбонатно-глинистые отложения, доманикоиды; 3 — улсортские купола

тела; б) термолитиз керогена и гидрофобизация матрицы; в) гелиево-водородная продувка и углеводородная накачка в формирующийся гидрофобный трещинный коллектор [5, 6].

Геолого-геофизические данные и результаты литолого-палеогеографического картирования турнейских и нижневизейских отложений свидетельствуют о широком распространении улсортских куполов в пределах обширной депрессионной области морского турнейско-ранневизейского бассейна, фрагмент которого показан на рис. 4, а. Данные глубокого бурения на Семиренкова, Комышнянская, Мачехская, Яблуновская и других месторождениях центрального сегмента ДДВ позволяют предположить их присутствие на многих

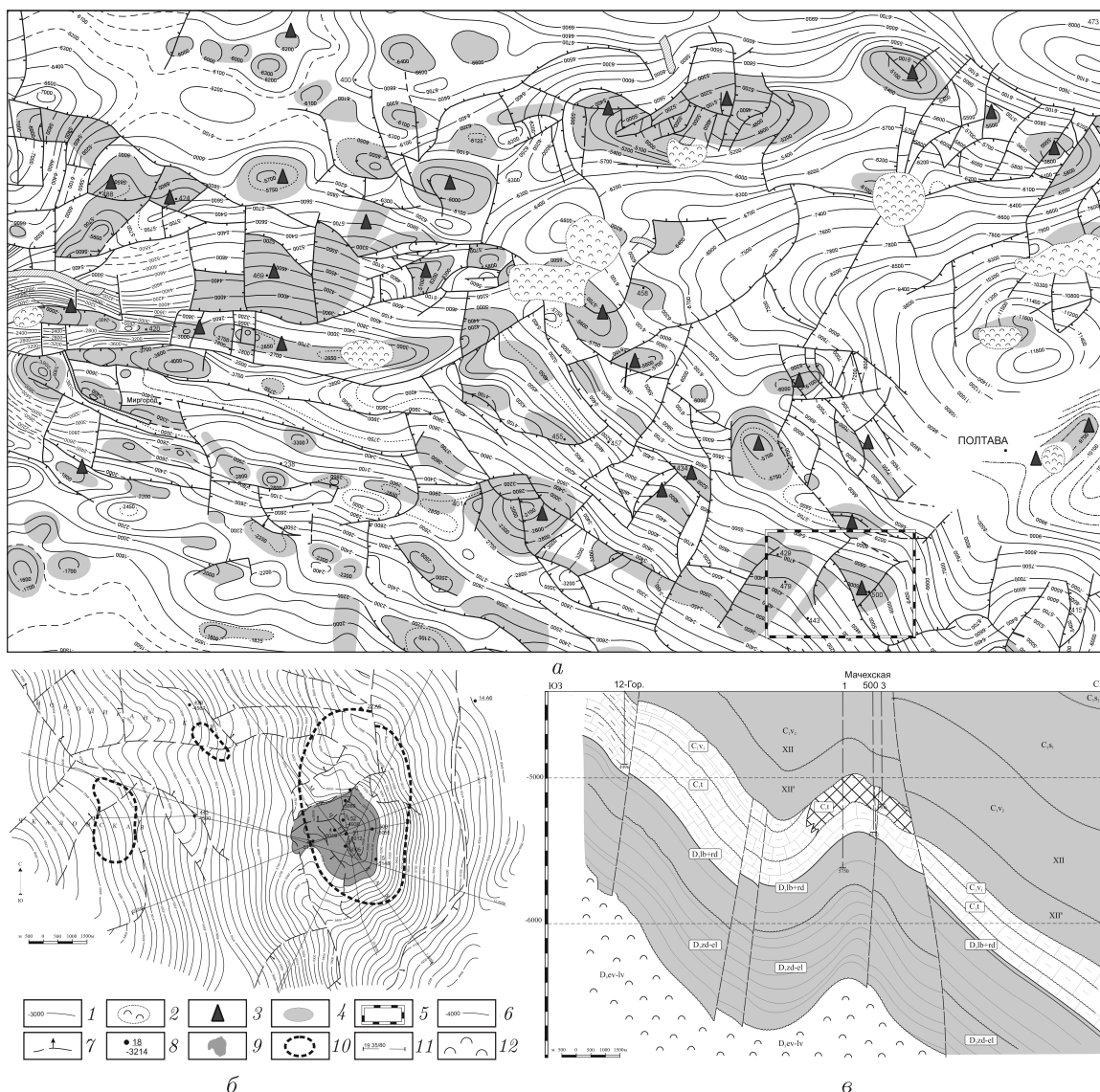


Рис. 4. Оценка нефтегазоносности уолортских куполов Днепровско-Донецкого региона: *a* – перспективы нефтегазоносности уолортских куполов центральной части ДДВ на глубинах более 5 км; *б* – установленная и предполагаемая нефтегазоносность разуплотненных уолортских куполов на Новодиканьско-Мачехском участке южного моноклинального склона приосевого грабена; *в* – геологический разрез по линии фрагмента регионального профиля Зачепиловка–Бельск.

Условные обозначения: *a*: 1 – изогипсы отражающего горизонта V_{B2-n} (по данным сейсморазведки МОГТ); 2 – соляные штоки; 3 – месторождения с газоконденсатными залежами на глубинах более 5 км; 4 – участки локализации уолортских куполов; 5 – Новодиканьско-Мачехский участок; *б*: 6 – изогипсы кровли турнейских отложений; 7 – разрывные нарушения; 8 – скважины: в числителе – номер, в знаменателе – отметка кровли турнейских отложений; 9 – турнейский карбонатный резервуар массивной залежи Мачехского газоконденсатного месторождения; 10 – контуры прогнозных карбонатных резервуаров по данным сейсморазведки; 11 – сейсмические профили; *в*: 12 – каменная соль, остальные условные обозначения см. на рис. 3

погребенных локальных структурах — древних палеоподнятиях (см. рис. 4, а). Это, во-первых, существенно расширяет стратиграфический и глубинный диапазоны промышленной нефтегазоносности, а во-вторых, увеличивает фонд перспективных ловушек. Массивный характер новообразованного в уолсортском куполе резервуара позволяет рассчитывать на открытие ряда значительных по запасам газоконденсатных залежей типа Мачехского месторождения (см. рис. 4, б).

Указанная трансформация уолсортских куполов и превращение их в интенсивно разуплотненные породные массивы свидетельствует об условности разделения традиционных и нетрадиционных источников углеводородов. Породы уолсортских фаций в условиях залегания на небольших и средних глубинах представляют собой типичные черные сланцы (black shales) существенно карбонатного состава. При их физико-химической, тектоно- и флюидодинамической активизации они превращаются в резервуары залежей традиционного типа. Это позволяет рассматривать месторождения центральной части ДДВ, характеризующиеся большим стратиграфическим, глубинным и фазово-геохимическим диапазоном, как своего рода гибридные углеводородные системы, для эффективного освоения которых (комплексная разработка залежей традиционного и нетрадиционного типов) необходимо применение новых методов.

Особого внимания заслуживает возможно высокая гелиеносность газов глубокозалегающих уолсортских фаций в ДДВ, о чем свидетельствует аномально высокое (1,78% (мас.) или 10,72% (мольн.)), существенно превышающее модальные концентрации He за счет генерации их радиоактивными элементами (U, Th) вмещающих депрессионных фаций, содержание He в пробе водорастворенного газа, отобранной из карбонатных коллекторов нижнего визе на Светличном месторождении [6]. При этом есть основания предполагать повышенную роль мантийного гелия и в перспективе рассматривать глубокозалегающие уолсортские купола центральной части ДДВ как возможный источник изотопа ^3He .

Цитированная литература

1. Lees A. Waulsortian // Geological Belgica. – 2006. – 9, No 1–2. – P. 151–155.
2. Уилсон Дж. Карбонатные фации в геологической истории. – Москва: Недра, 1980. – 463 с.
3. Лукин А. Е. Литогеодинамические факторы нефтегазоаккумуляции в авлакогенных бассейнах. – Киев: Наук. думка, 1997. – 224 с.
4. Лукин А. Е., Вакарчук С. Г. Турнейско-нижневизейский рифогенно-карбонатный комплекс Днепровско-Донецкой впадины и общие проблемы формирования раннекаменноугольных нефтегазоносных рифов // Геол. журн. – 1999. – № 2. – С. 21–32.
5. Лукин А. Е. О природе и перспективах газоносности низкопроницаемых пород осадочной оболочки Земли // Доп. НАН України. – 2011. – № 3. – С. 114–123.
6. Лукин А. Е., Довжож Е. И., Книшман А. Ш., Гончаренко В. И., Дзюбенко А. И. Гелиевая аномалия в нефтегазоносных визейских карбонатных коллекторах Днепровско-Донецкой впадины // Доп. НАН України. – 2012. – № 7. – С. 97–104.

References

1. Lees A. Geological Belgica, 2006, 9, No 1–2: 151–155.
2. Wilson J. Carbonate facies in geologic history, Moscow, Nedra, 1980 (in Russian).
3. Lukin A. E. Lithogeodynamic factors of oil-gas accumulation in aulacogenic basins, Kiev: Naukova Dumka, 1997 (in Russian).
4. Lukin A. E., Vakarchuk S. G. Geol. zhurn., 1999, No 2: 21–32 (in Russian).

5. *Lukin A. E.* Dopov. NAN Ukraine, 2011, No 3: 114–123 (in Russian).
6. *Lukin A. E., Dovzhok I. E., Knishman A. S., Goncharenko V. I., Dziubenko A. I.* Dopov. NAN Ukraine, 2012, No 7: 97–104 (in Russian).

Поступило в редакцію 17.02.2016

Академік НАН України **О. Ю. Лукін, І. П. Гафіч, В. В. Макогон,
А. Б. Холодних**

Інститут геологічних наук НАН України, Київ
E-mail: ukrnigri@mail.ru

Перспективи нафтогазоносності глибокозалягаючих уолсортських карбонатних куполів у центральній частині Дніпровсько-Донецької западини

Турнейсько-нижньовізейські рифогенно-карбонатні комплекси, представлені в Західній Європі та Північній Америці уолсортськими фаціями, кардинально відрізняються від інших глобальних етапів карбонатного рифоутворення відсутністю типових “екологічних рифів”. Це темнокольорові (з підвищеним вмістом керогену і мікробіогенного піриту) пелітоморфні вапняки, біота яких представлена різнорозмірними фрагментами криноїдей, а також моховинками і брахіоподами. Вони відрізняються щільністю і підвищеними міцністними властивостями. Однак, як показали результати вивчення уолсортських фацій в Дніпровсько-Донецькому авлакогені, на великих глибинах вони набувають вторинних колекторських властивостей і мають значний вуглеводневий потенціал.

Ключові слова: рифогенно-карбонатні комплекси, уолсортські куполи, вуглеводневий потенціал, великі глибини, Дніпровсько-Донецька западина.

Academician of the NAS of Ukraine **A. E. Lukin, I. P. Gaphich, V. V. Makogon,
A. B. Kholodnyh**

Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kiev
E-mail: ukrnigri@mail.ru

Prospects of gas-petroleum potential of deep-lying Waulsortian carbonate bosses in the central part of the Dnieper-Donets depression

Tournaisian-Lower Viséan reef-carbonate complexes are presented with Waulsortian facies in Western Europe and Northern America. They differ radically from other global stages of reef-carbonate formation by the absence of typical “ecological reefs”. They are dark-coloured (with heightened content of kerogen and microbiogenic pyrites) micrite limestones. Their biota are presented mainly by fragments of crinoids and also bryozoans and brachiopods. They are distinguished from typical reef-carbonate rocks by heightened tightness (low primordial porosity and practical absence of permeability) and increased strength properties. But as it has been demonstrated by the results of investigation of Waulsortian facies in the Dnieper-Donets aulacogene, they begin to take secondary-reservoirs properties and offer a substantial hydrocarbon potential at great depths.

Keywords: reef-carbonate complexes, Waulsortian bosses, hydrocarbon potential, great depths, Dnieper-Donets depression.