
В.П. Коболев, А.О. Верпаховская

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины

СКОПЛЕНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ В ПАЛЕОДЕЛЬТЕ ДНЕПРА КАК ОБЪЕКТ СЕЙСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрены результаты сейсмических исследований, выполненных на НИС «Профессор Логачев» в 2001 г. и на НИС «Профессор Водяницкий» в 2011 г. Полученные результаты свидетельствуют о наличии газогидратной залежи на площади палеодельты Днепра.

***Ключевые слова:** метан, газогидратная залежь, подгидратный газ, глубинный разлом.*

Введение

Нефтегазонасыщенные объекты в Черном море имеют сложное геологическое строение и залегают в разных термобарических условиях. Одними из них являются скопления природных газогидратов, которые в обозримом будущем могут стать одной из перспективных возможностей увеличения ресурсной базы Украины. Газогидраты — наименее исследованный и наиболее проблемный тип газовых ресурсов Черного моря, с точки зрения как оценки принципиальной возможности его вовлечения в промышленный оборот, так и всесторонней характеристики ресурсной базы и, соответственно, оценки масштабов предполагаемой добычи и определения временных рамок ее начала. По разным оценкам, прогнозные запасы газа в газогидратах Черного моря могут варьировать от 20 до 49 трлн м³ (О.Д. Корсаков, С.Н. Ступак., Ю.А. Бяков, 1989, 1991; А. Василев, Л. Димитров, 2002).

Впрочем, говорить о том, что Украина в обозримом будущем сможет достичь энергетической независимости благодаря разработке черноморских газогидратов, было бы преждевременным. Прежде всего, это касается необходимости целенаправленного поиска и разведки месторождений газогидратов в исключительно украинской экономической зоне Черного моря с целью определения реальных запасов метанового газа. Во-вторых, следует иметь в виду, что эффективные промышленные технологии добычи

© В.П. КОБОЛЕВ, А.О. ВЕРПАХОВСКАЯ, 2014

метана из аквамаринных газогидратов, разработкой которых сегодня интенсивно занимаются ученые многих стран, появятся не раньше следующего десятилетия. При этом созданные в будущем новые методы и технологии должны будут обеспечить себестоимость добычи, сопоставимую с себестоимостью традиционного газа. Уже сейчас можно предположить, как это повлияет на мировой газовый рынок. Украина, рано или поздно, все равно обратится к этой проблеме. Однако к тому времени должен быть создан подобающий фундамент, основы которого необходимо закладывать сегодня.

Поэтому разработка и испытание различных аппаратурно-методических и технологических приемов картирования газогидратных скоплений геофизическими методами и их внедрения в практику поисково-разведочных работ представляется актуальным.

С этой целью в 2011 г. на континентальном склоне северо-западной части Черного моря Институтом геофизики им. С.И. Субботина были выполнены опытно-методические комплексные геофизические исследования на НИС «Профессор Водяницкий». Работы проводились в рамках целевой комплексной программы научных исследований НАН Украины «Комплексная оценка состояния и прогнозирования динамики морской среды и ресурсов Азово-Черноморского бассейна» (В.П. Коболев, 2011, В.П. Коболев, П.А. Буртный, С.Н. Довбыш и др., 2011 и др.).

Одной из главных задач работ являлась отработка методических приемов проведения сейсмических, ориентированных на газогидратные залежи, исследований. Объектом опытно-методических сейсмических работ был выбран полигон палеодельты Днепра, в пределах которого была оконтурена площадь возможного залегания газогидратного скопления по данным предшествующих сейсмических исследований (Ludmann et al., 2004).

Методика исследований

Работы проводились с использованием цифровой телеметрической системы XZone® Bottom Fish. Регистрация волнового поля осуществлялась 12-ти канальной косой с расстоянием между сейсмоприемниками 3 м. Для возбуждения упругих колебаний использовались пневмоисточники (пушки) объемом 10, 20 и 40 куб. дюймов. Запись проводилась с дискретностью 0.0005 с и продолжительностью 3 с. Работа сейсморазведочного комплекса осуществлялась по «классической» технологии морских работ с фланговой системой наблюдений (В.П. Коболев, П.А. Буртный, С.Ф. Михайлюк и др., 2011).

На полигоне Днепровского каньона было отработано 11 профилей, информативные галсы которых вынесены на рис. 1.

Особенности и основные принципы построения графа обработки морских сейсмических наблюдений с применением разработанного в Институте геофизики НАН Украины под руководством В.Н. Пилипенко оригинального метода конечно-разностной полноволновой миграции суммы общей глубинной точки (ОГТ) детально изложены в статье (А.О. Верпаховская, В.Н. Пилипенко, В.П. Коболев, 2013). Метод более устойчив при изучении сложных геологических разрезов. Эффективность метода конечно-разностной миграции подтверждается как модельными, так и практическими примерами обработки материалов сейсмичес-

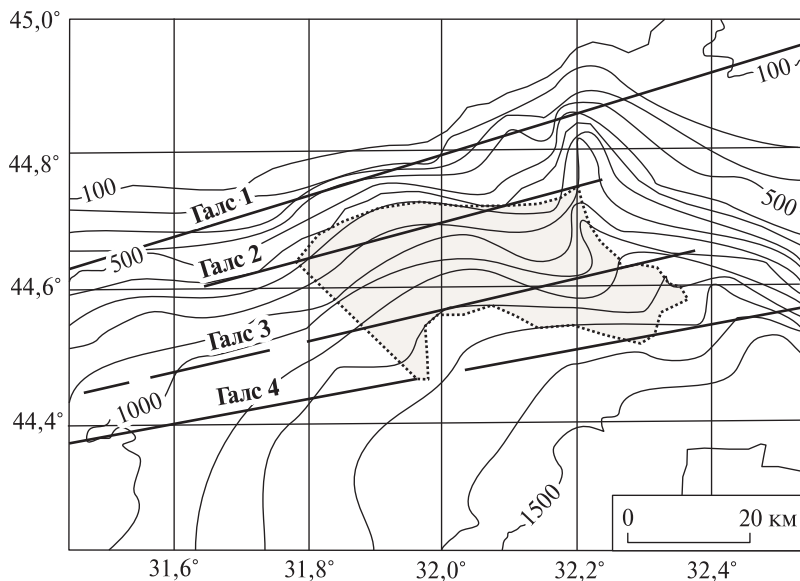


Рис. 1. Карта рельефа дна палеодельты Днепра с контуром распространения границы BSR по (Ludmann et al., 2004, пунктирная линия) и расположение профилей сейсмических наблюдений с нумерацией результативных галсов, выполненных Институтом геофизики в 2011 г.

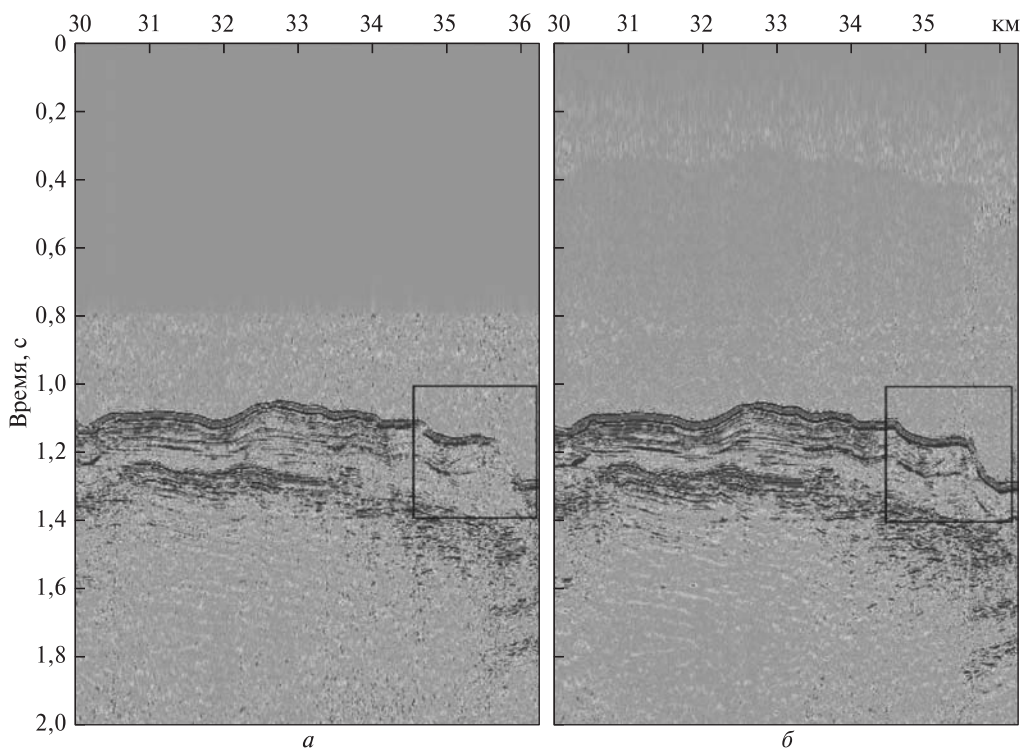


Рис. 2. Фрагмент временного разреза: а) сумма ОГТ; б) результат применения конечно-разностной полноволновой миграции суммы ОГТ во временном масштабе глубин. Прямоугольником выделен участок склона с тектоническим нарушением (Верпаховская, Пилипенко, Кобелев, 2013)

ких наблюдений, в частности, 2011 года. На рис. 2 представлены увеличенные фрагменты временных разрезов, полученных в результате суммы ОГТ (а) и конечно-разностной полноволновой миграции суммы ОГТ во временном масштабе глубин (б). Здесь хорошо видна разница в изображении неоднородностей строения среды в результате суммы ОГТ и после применения конечно-разностной миграции.

Результаты работ

Полигон палеодельты Днепра. Днепровский каньон начинается от кромки шельфа, глубоко врежется в верхнюю часть склона и выходит на абиссальную равнину в виде конуса выноса. Борта Днепровского каньона асимметричны, левый борт более крутой, глубина вреза достигает сотен метров. В результате эрозионных процессов в бортах обнажаются доголоценовые отложения. Часто встречаются выходы глин новоэвксинского возраста. На отдельных участках вскрыты нижнечетвертичные и дочетвертичные отложения. Современные

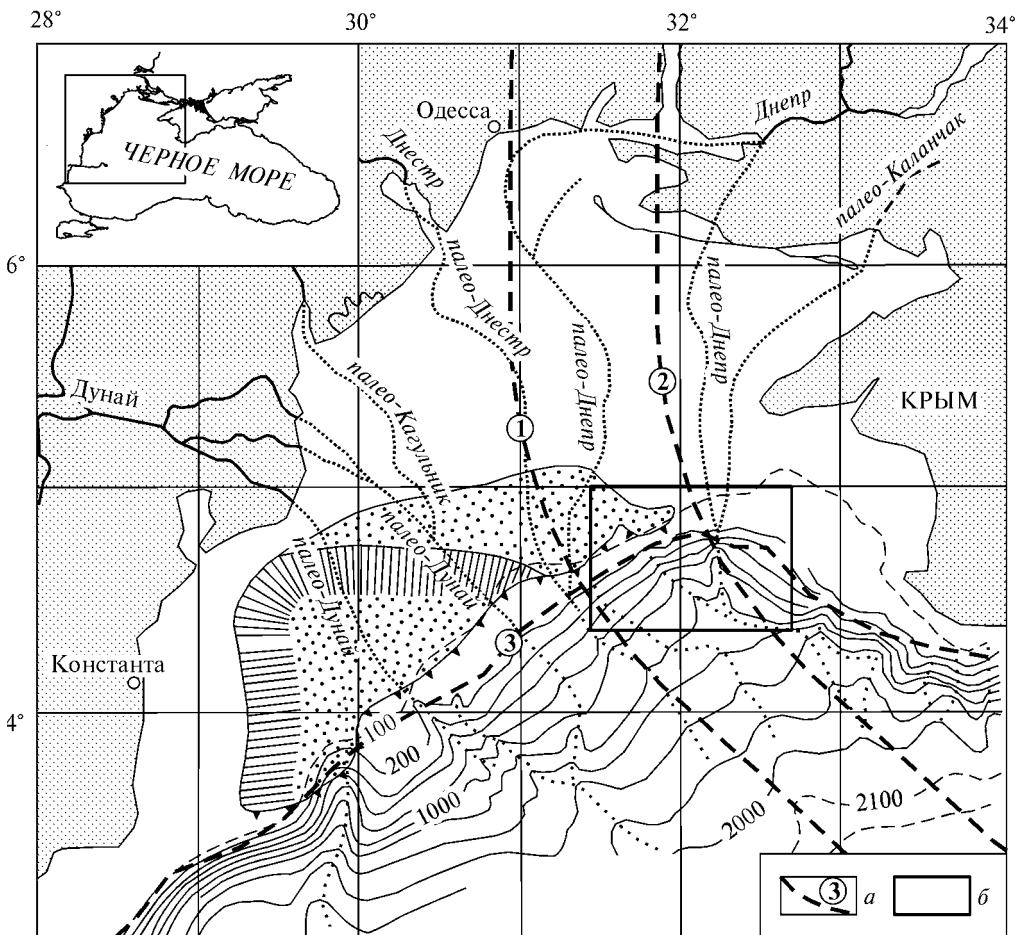


Рис. 3. Морфологическая схема северо-западной части Черного моря. а — глубинные разломные зоны: 1 — Одесско-Синопская, 2 — Николаевская, 3 — Циркумчерноморская; б — расположение площади исследований палеорула Днепра

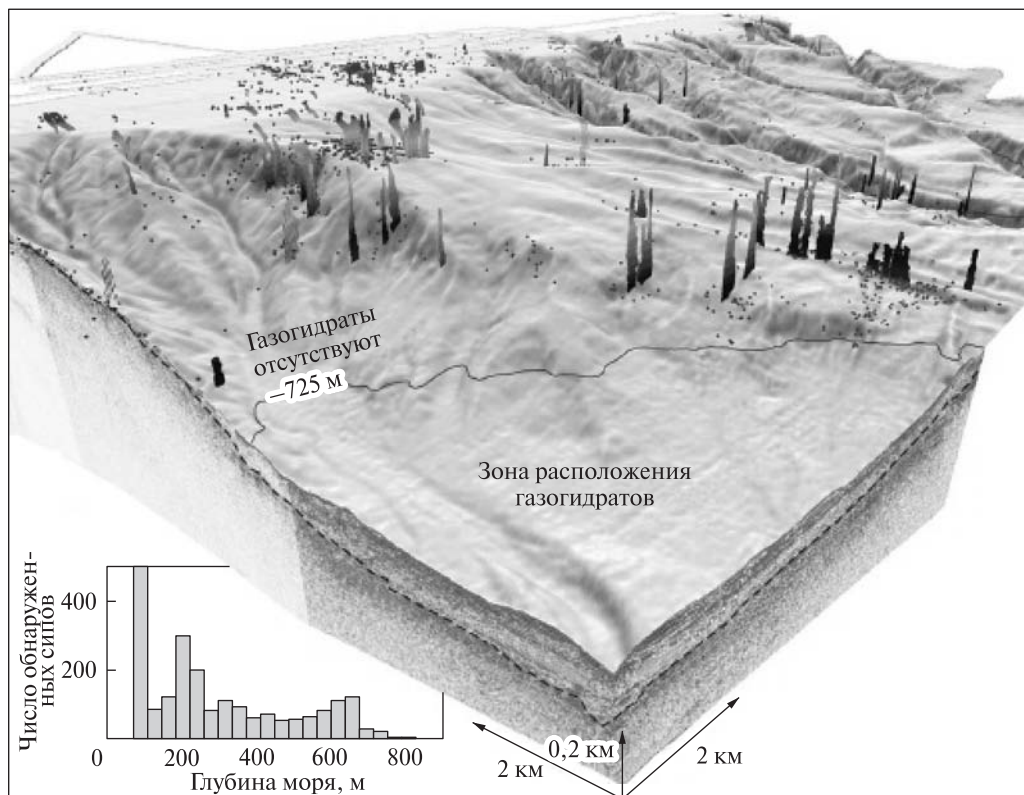


Рис. 4. Обзорная батиметрическая карта с расположением газовых сипов и газогидратной зоны (Nauds et al., 2006)

осадки в каньоне представлены турбидитами, которые распространены на участках тальвегов (Wong et al., 2002). Днепровский каньон трехступенчатый, что обусловлено особенностями геологического строения континентального склона. Первая ступень расположена между глубинами 150—550 м, вторая — 550—930 м, а третья начинается с отметки 930 м. Углы наклона для каждой из них составляют соответственно 1,3°, 2°, 0,3° (Lericolais et al., 2012).

Следует отметить, что Днепровский каньон пространственно совпадает с Николаевским глубинным разломом субмеридионального простирания (рис. 3). Последний в пределах континентального склона примыкает к Одесско-Синопской разломной зоне глубинного заложения, которая служит разделом двух типов подводного рельефа: структурно-денудационного к востоку от нее и структурно-аккумулятивного западнее. Характерной особенностью структурно-денудационного восточного склона является увеличение уклона поверхности с глубиной до 120 и сильное расчленение рельефа.

На структурно-аккумулятивном более пологом западном склоне широко развиты современные геологические процессы: подводные оползни, обвалы, суспензионные потоки (Wong et al., 2002), в результате чего происходит перенос и переотложение тонкодисперсного осадочного материала с материковой отмели через континентальный склон на абиссальную равнину глубоководной части моря (Lericolais et al., 2012).

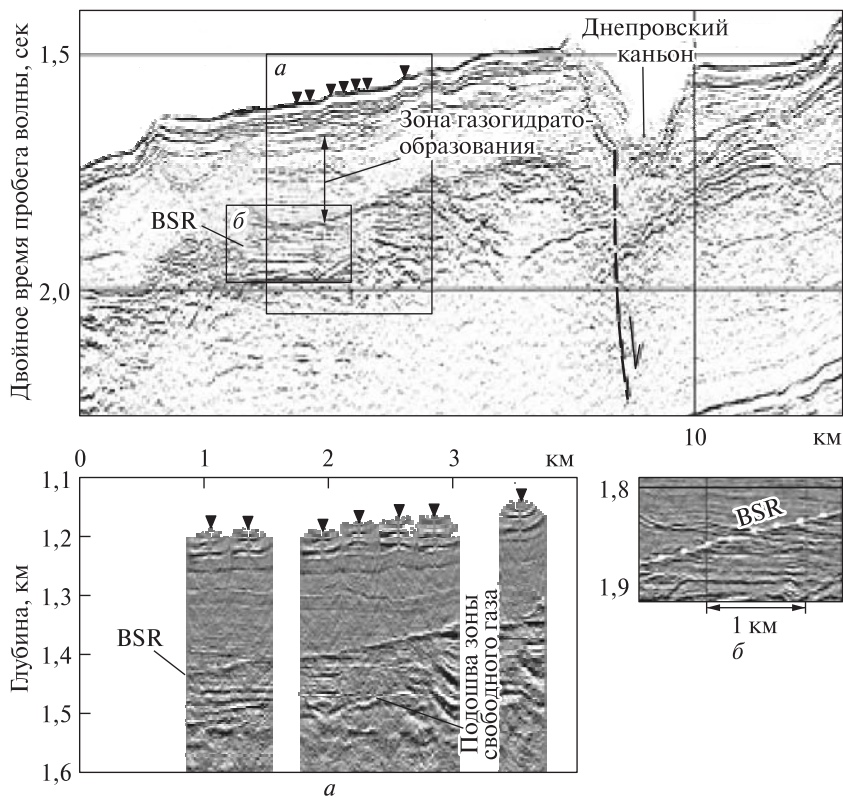


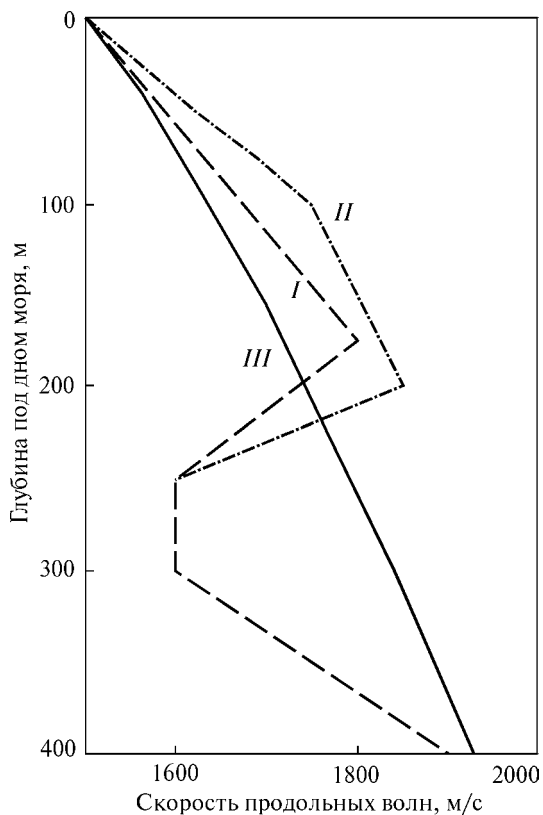
Рис. 5. Фрагмент временного разреза по профилю, который пересекает Днепровский каньон (по Ludmann et al., 2004)

В северо-западной части Черного моря северо-западный склон является, пожалуй, наиболее богатой по распространению сипов территорией, а по оценке (Hornafius, Quigley, Luyendyk, 1999) — возможно самой активной в мире. В 2001—2004 гг. на площади палеodelты Днепра были выполнены комплексные исследования с целью изучения связи между пространственным распределением метановых сипов, морфологией морского дна и строением придонных структур (Ludmann et al., 2004; Nauds et al., 2006). Комплекс работ включал: детальное многолучевое эхолотирование, акустическое высокочастотное профилирование, сейсмические исследования методом отраженных волн с использованием широкоугловых донных станций и гидроакустические наблюдения водной толщи.

Анализ полученных данных показал, что распределение метановых сипов по площади не случайно. Для большей части обнаруженных сипов предельная глубина, которая более или менее соответствует зоне стабильности для чистого гидрата метана при придонной температуре (8,9 °C) в этой части Черного моря (Nauds et al., 2006), составляет 725 м. Это позволяет говорить о том, что газовые гидраты играют роль буфера для восходящей миграции газов и тем самым предотвращают просачивание метана в толщу воды (рис. 4).

Выходы газа встречаются в местах, где сконцентрированные потоки флюидов превышают вмещающий объем порового пространства, в результате чего метан просачивается через донные осадки в толщу воды (Judd, 2003). При нормальных

Рис. 6. Рассчитанные (Ludmann et al., 2004) скорости продольных волн по данным донных наблюдений с донными станциями на профилях 1,2 (I) и профиле 3 (II). Для сравнения показана эмпирическая зависимость по (Hamilton, 1971) скорости от глубины для осадочных отложений не содержащих газогидраты (III)



условиях большая часть метана окисляется посредством консорциумов сульфатредуцирующих бактерий в анаэробных условиях или в зоне их аэробной активности (Reeburgh et al., 1993; Voetius et al., 2000; Michaelis et al., 2002). Миграция флюидов осуществляется через тектонические нарушения в придонных осадочных горизонтах, зоны глубоких разломов и грязевые диапиры путем диффузии растворенного или свободного газа (Hovland, Curzi, 1989; Moore et al., 1991) или в виде геоморфологических сфокусированных потоков (Orange, Breen, 1992; Orange, Anderson, Breen, 1994). Частично этот газ может быть газогидратным (Kvenvolden, 1993). При изменении давления и/или температуры газовые гидраты могут диссоциировать и тем самым подпитывать газовые сипы на дне моря, что в результате приводит к дестабилизации осадков (Bourgiak, Vanneste, Saoutkine, 2000; Bunz et al., 2005).

Впервые об обнаружении в северо-западной части Черного моря газогидратных скоплений, а точнее — границы BSR сообщил Томас Лудман с коллегами (Ludmann et al., 2004). Во время экспедиционных исследований на НИС «Профессор Логачев» в июне-июле 2001 года были выполнены многоканальные сейсмические наблюдения на галсах общей протяженностью 1130 км, а также получено три широкоугольных сейсмических разреза в северо-западной части Черного моря с использованием донных океанических сейсмометров и океанических донных гидрофонов.

Путем сопоставления материалов многоканальных сейсмических исследований методом отраженных волн с данными широкоугольных донных станций были обнаружены более или менее непрерывные границы BSR на пространственно-ограниченной территории к западу от Днепровского каньона в интервале глубин моря 700—1350 м. (см. рис. 1).

Фрагмент временного разреза с характерными для границы BSR отражениями представлен на рис. 5. Эти отражения имитирует морское дно, но с противоположной полярностью. Коэффициент отражения границы BSR обычно на 30 % выше такового для морского дна, и она пересекает границы осадочных слоев, в

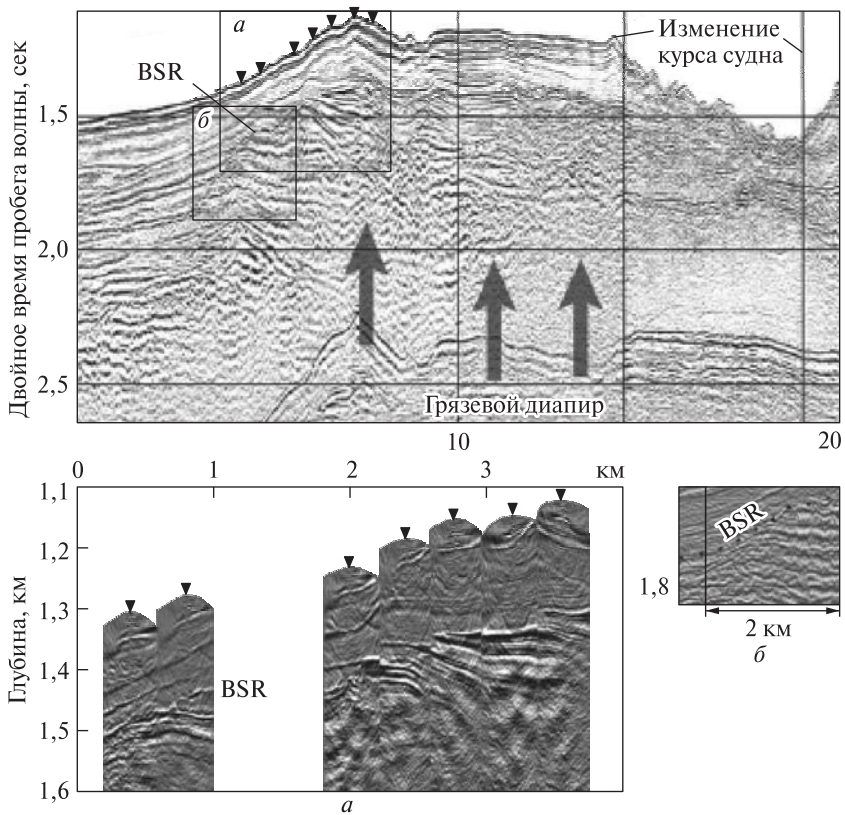


Рис. 7. Фрагмент временного разреза по профилю, который пересекает область грязевого диапиризма (по Ludmann et al., 2004 с изменениями)

данном случае под большим углом (Ludmann et al., 2004). Кроме того, под границей BSR фиксируется зона высокоамплитудных отражений, которые могут быть связаны с наличием здесь свободного газа (Hyndman, Davis, 1992).

Прямо над BSR фиксируется зона примерно 100-метровой толщины низкоамплитудных отражений, которой авторы приписывают наличие газогидратной цементации. Эта зона характеризуется скоростью Р-волн 1,750—1,850 м/с (рис. 6).

У подошвы ЗСГ наблюдаемая инверсия скорости от 1850 до 1600 м/с свидетельствует о наличии свободного газа ниже границы BSR. На профиле донных станций в том же месте граница BSR, простирающаяся параллельно морскому дну и секущая осадочные слои, четко определяется как отдельное отражение с глубины 1,44 км ниже уровня моря на юге до 1,35 км на севере. Превышение на 50 м/с максимальной скорости в ЗСГ на профиле 3 по сравнению с аналогичными данными донных сейсмометров по профилям 1 и 2 указывает на более высокую концентрацию газогидратов на примыкающей к Днепровскому каньону площади (рис. 6). Кроме того, граница BSR в этом месте находится на глубине 1,48 км (расстояние 2,3 км, профиль 3) при положительной полярности и низких амплитудах которые, возможно, указывают на подошву ЗСГ (рис. 5) (Ludmann et al., 2004).

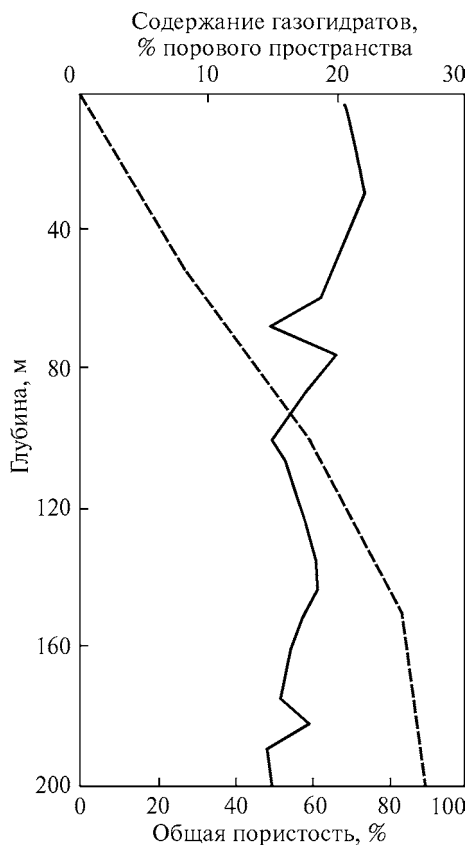
На рис. 7 приведен временной разрез по профилю, который пересекает область грязевого диапиризма. Здесь несколько диапиров нарушили верхнюю толщу, что возможно привело к неравномерному распределению свободного газа ниже

Рис. 8. Рассчитанные (Ludmann et al., 2004) средние концентрации газогидратов (в % порового пространства, прерывистая линия) и полученная по результатам глубоководного бурения в Черном море (Ross, 1978) общая пористость (непрерывная линия) в зависимости от глубины

подошвы ЗСГ. В зависимости от концентрации свободного газа, граница BSR может не проявляться. На профиле наблюдений донными станциями BSR представлена дискретной отражающей границей в диапазоне глубин 1,1–1,32 км.

Объем метана, связанный с пространственно ограниченным скоплением газогидратов в палеорусле Днепра при средней мощности газогидратного слоя 100 ± 5 м был оценен Т. Лудманом с коллегами (Ludmann et al., 2004). Этот объем соответствует зоне, ограниченной поверхностями, в которых скорость Р-волн осадков соответствует отмеченным на рис. 6 изменениям градиента. Эта зона мощностью около 100 м простирается под дном моря, где градиент скорости уменьшается, но все же остается положительным до контакта гидрат—свободный газ (175–200 м под дном моря), где этот градиент становится отрицательным и скорость падает в конечном итоге до 1600 м/с на глубине 250 м под дном. Поскольку область распространения газогидратов также характеризуется низкоамплитудными отражениями по данным многоканальной сейсморазведки (см. рис. 5), авторы пришли к выводу, что газогидраты ограничены этой 100-м зоной и не достигают дна моря, хотя придонная область находится в ЗСГ. Этот вывод авторы подтверждают отсутствием признаков газогидратов в образцах донных отложений (1–2 м под дном моря), которые неоднократно отбирались ударными гравитационными трубками различными экспедициями. Вместе с тем, в 1990 году экспедицией на НИС «Михаил Ломоносов» в пределах рассматриваемой площади с глубины 950 м была поднята колонка, в которой наблюдались «быстро исчезающие белесые кристаллики» газогидратов (Е.Ф. Шнюков и др. 1990).

На рис. 8 показана рассчитанная средняя концентрация газогидратов, кроме того, нанесена полученная по результатам глубоководного бурения в Черном море (Ross, 1978) общая пористость в зависимости от глубины. Для расчета содержания метана средняя пористость осадков и объем пор, заполненных газогидратами, были приняты соответственно 55 и 15 ± 2 %. Мощность зоны свободного газа под ЗСГ по данным широкоугольных сейсмических наблюдений составляет 100 ± 5 м, а поровое пространство, занимаемое газом в этой зоне — $1 \pm 0,1$ %. Общая площадь, на которой выделена граница BSR, составляет 805 ± 20 км² (см. рис. 1). Если предположить, что газогидраты находятся в виде гидрат-цементи-



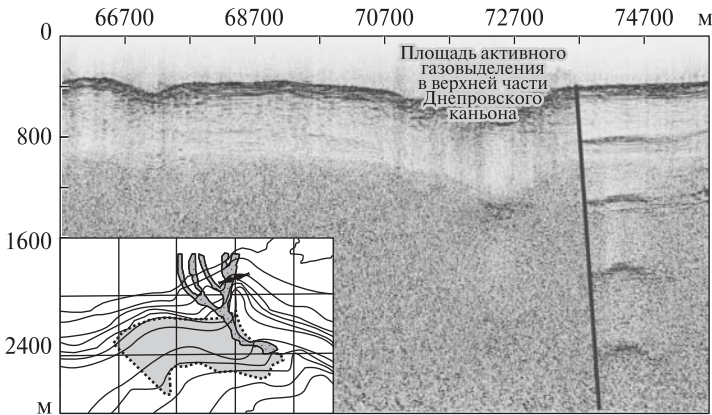


Рис. 9. Фрагмент временного разреза галса 1. Расположение профиля наблюдений показано на врезке

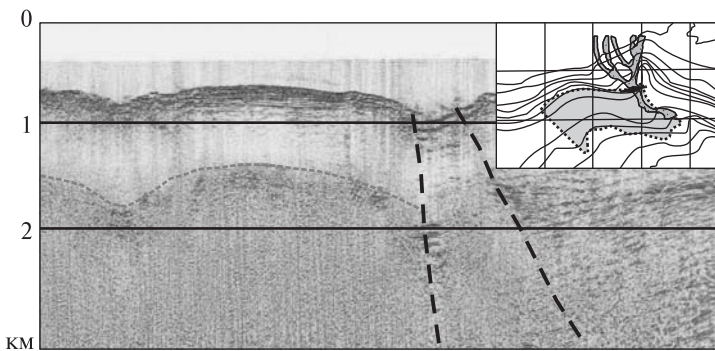


Рис. 10. Фрагмент временного разреза галса 2. Расположение профиля наблюдений показано на врезке

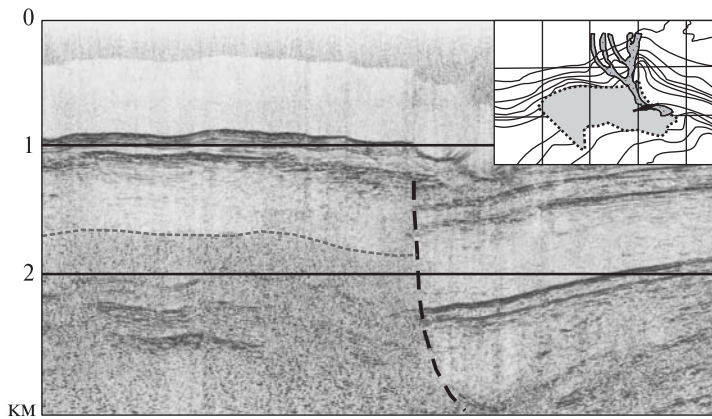


Рис. 11. Фрагмент временного разреза галса 3. Расположение профиля наблюдений показано на врезке

рованного осадка выше BSR на всей этой площади, то вычисленное количество метана, ограниченного этим слоем, составит $(12 \pm 3) \times 10^{11} \text{ м}^3$. Объем свободного газа ниже BSR оценивается в $(4 \pm 1) \times 10^8 \text{ м}^3$. Таким образом, общий объем метана, связанный с газогидратами и свободным газом, по оценкам наших немецких коллег составляет $(12 \pm 3) \times 10^{11} \text{ м}^3$ (Ludmann et al., 2004).

На рис. 9 представлен 10-километровый фрагмент временного разреза по профилю VII-2, пересекающему Днепровский каньон в его верхней мелководной части, полученный при проведении опытно-методических работ на НИС «Профессор Водяницкий» в 2011 г. Как видно, восточный борт каньона ограничен тек-

тоническим нарушением, которое соответствует положению Николаевского глубинного разлома. Примерно на глубине 600 м под дном моря к западу от Днепровского каньона четко прослеживается граница фронта газонасыщенных осадков (так называемый «газовый карман»), по отсутствию четких отражающих границ выше которой можно предположить гидратсодержащие осадки.

На параллельном галсе 2, фрагмент временного разреза которого приведен на рис. 10, в западной части появляются признаки более или менее протяженной восточной границы BSR, которую мы отождествляем с западной окраиной возможного расположения газогидратных залежей. Следует отметить, что галс 2 пересекает область грязевого диапира, который прорывает целостность вышележащих слоев осадочных отложений. Над грязевым диапиром наблюдаются «провисания» отражающего горизонта, а с запада тяготеет зона локальных потоков рассеяния с высокими концентрациями газов в придонных водах.

Более четко грязевой диапир и нижняя граница газогидратонасыщенных отложений прослеживается на фрагменте временного разреза галса 3 (рис. 11) западнее разломной зоны Днепровского каньона. Грязевой диапир обнаруживает непосредственную связь с процессом формирования газогидратов и, как следствие, с неотектоническими нарушениями, которые служат главными факторами инициации движения газовой флюиды.

Можно предположить, что накопление свободного газа происходит под газогидратомещающими осадками. Интересно, что о наличии свободного газа ниже границы BSR локально свидетельствуют сегменты отражений, которые изменяют амплитуду, пересекая BSR (рис. 11). Этот газ появляется, чтобы сосредоточиться в конкретных отложениях, вероятно, в связи с их более высокой проницаемостью.

Подтверждением достоверности идентификации границы BSR с газогидратными залежами является отрицательная полярность отраженного от BSR сейсмического сигнала, которая интерпретируется как следствие изменения на этой границе фазового состояния газовой составляющей (выше BSR — более высокоскоростные осадки, цементированные гидратами, ниже — несцементированные низкоскоростные осадки с растворенным в поровых водах газом). Прямо над границей BSR наблюдается зона с низкими амплитудами отражения, которой мы приписываем наличие газовых гидратов. Таким образом, остается актуальной задачей разработка программно-алгоритмических приемов обработки сейсмических материалов с целью поиска и оконтуривания сравнительно небольших газогидратных тел, расположенных к тому же под мощным слоем воды.

Выводы

Полученные результаты сейсмических исследований на акватории палеодельты Днепра однозначно свидетельствуют о наличии газогидратной залежи, размеры и мощность которой требуют уточнения последующими детальными исследованиями.

В целом локализация большинства газовых сипов в зоне Циркумчерноморской разломной зоны и, в частности, наличие газогидратной залежи в акватории палеодельты Днепра, которая является отражением регионального Николаевского глубинного разлома, свидетельствуют о глубинном источнике метана.

Таким образом, полученный к настоящему времени фактический материал позволяет с оптимизмом судить о перспективах газогидратных скоплений украинской экономической зоны Черного моря, а также наметить акваторию палеодельты Днепра в качестве первоочередного объекта для постановки поисково-разведочных работ и опытно-экспериментального бурения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Василев А., Димитров Л.* Оценка пространственного распределения и запасов газогидратов в Черном море // Геология и геофизика. — 2002. — 43, № 7. — С. 672 — 684.
2. *Верпаховская А.О., Пилипенко В.Н., Коболев В.П.* Особенности обработки морских сейсмических наблюдений с использованием конечно-разностной миграции // Геофизический журнал — 2013. — 35, № 5. — С. 187—195.
3. *Коболев В.П.* Дослідно-методична комплексна геолого-геофізична експедиція 66-го рейсу НДС «Професор Водяницький» в західній частині Чорного моря // Геолог України. — 2011. — № 1. — С. 40—61.
4. *Коболев В.П., Буртный П.А., Довбыш С.Н., Михайлюк С.Ф. и др.* Опытные-методические комплексные геолого-геофизические исследования в 66-ом рейсе НИС «Профессор Водяницкий» // Геология и полезные ископаемые Мирового океана — 2011. — №1. — С. 102—119.
5. *Коболев В.П., Буртный П.А., Михайлюк С.Ф. и др.* Аппаратурно-техническое обеспечение морских геофизических исследований на НИС «Профессор Водяницкий» // Геофизический журнал — 2011. — 33 — № 5. — С. 90—99.
6. *Корсаков О.Д., Бяков Ю.А., Ступак С.Н.* Газовые гидраты Черноморской впадины // Сов. геология. — 1989. — № 12. — С. 3—10.
7. *Корсаков О.Д., Ступак С.Н., Бяков Ю.А.* Черноморские газогидраты — нетрадиционный вид углеводородного сырья // Геол. журнал. — 1991. — № 5. — С. 67—75.
8. *Шнюков Е.Ф., Иванников А.В., Безбородов А.А. и др.* Результаты геологических исследований 51-го рейса в Черном море на НИС «Михаил Ломоносов». — К.: Препр. ИГН. — № 90—8. — 1990. — 49 с.
9. *Boetius A., Revenschlag K., Schubert C.J., Rickert D., Widde, F., Gieseke A., Armann R., Jørgensen B.B., Witte U., Pfannkuche O.* A marine microbial consortium apparently mediating anaerobic oxidation of methane. // Nature 407, 2000. — P. 623— 626.
10. *Bouriak S., Vanneste M., Saoutkine A.* Inferred gas hydrates and clay diapirs near the Storegga Slide on the southern edge of the Vøring Plateau, offshore Norway. Mar. Geol. 2000. — 163 — P. — 125—148.
11. *Bunz S., Mienert J., Bryn P., Berg K.* Fluid flow impact on slope failure from 3D seismic data: a case study in the Storegga Slide. // Basin Res. 2005. — T 17 — P. 109—122.
12. *Hamilton EL (1971)* Elastic properties of marine sediments. // J Geophys. Res. 76: — P. 579—604.
13. *Hornafius J.S., Quigley D., Luyendyk B.P.* The world's most spectacular marine hydrocarbon seeps (Coal Oil Point, Santa Barbara Channel, California): quantification of emission // J. Geophys. Res. — 1999. — 104 — P. 20703— 20711.
14. *Hovland M., Curzi, P.* Gas seepage and assumed mud diapirism the Italian Central Adriatic Sea. Mar. Pet. Geol. 1989. — 6 — P. 161—169.
15. *Hyndman R.D., Davis E.E.* A mechanism for the formation of methane hydrate and seafloor bottom-simulating reflectors by vertical fluid expulsion // J Geophys Res. 1992. — 97(B5) — P. 7025— 7041.
16. *Judd A.G.* The global importance and context of methane escape from the seabed. Geo Mar. Lett. 2003 — 23 — P. 147— 154.
17. *Kvenvolden K.A.* Gas Hydrates-Geological Perspective and Global Change // Reviews of Geophysics, 1993. — 31 — PP. 173—187.
18. *Lericolais G., Bourget J., Popescu I., Jermannaud P., Mulder T., Jorry S., Panin N.* Late Quaternary deep-sea sedimentation in the western Black Sea: New insights from recent coring and seismic data in the deep basin // Global and Planetary Change, 2012. — doi:10.1016/j.gloplacha. — 2012. — 05.002.

19. Ludmann T., Wong H.K., Konerding P., Zillmer M., Petersen J., Fluh E. Heat flow and quantity of methane deduced from a gas hydrate field in the vicinity of the Dnieper Canyon, northwestern Black Sea. // *Geo Mar. Lett.* 2004. — 24 — P. 182—193.
20. Michaelis W., Seifert R., Nauhaus K., Treude T., Thiel V., Blumenberg M., Knittel K., Gieseke A., Peterknecht K., Pape T., Boetiu, A., Amann R., Jørgensen B.B., Widdel F., Peckmann J., Pimenov N.V., Gulin M.B. Microbial reefs in the Black Sea fuelled by anaerobic oxidation of methane. *Science*, 2002. — 297 — Pp. 1013—1015.
21. Moore J.C., Brown K.M., Horath F., Cochran G., MacKay M., Moore G. 1991. Plumbing accretionary prisms. In: Tarney, J., Pickering, K.T., Knipe, R.J., Dewey, J.F. (Eds.), *The Behavior and Influence of Fluids in Subduction Zones.* // The Royal Society, London, P. 49—62.
22. Nauds L., Greinert J., Artemov Yu., Staelens P., Poort J., Van Rensbergen P., De Datist M. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dniepr paleo-delta, northwestern Black Sea // *Marine Geology.* — 2006. — 227. — P. 177—199.
23. Orange D.L., Anderson R.S., Breen N.A. 1994. Regular canyon spacing in the submarine environment: the link between hydrology and geomorphology. // *GSA Today* 4 — P. 29—39.
24. Orange D.L., Breen N.A. The effects of fluid escape on accretionary wedges: 2. Seepage force, slope failure, headless submarine canyons, and vents. *J. Geophys. Res.* 1992. — 97 — P. 9277—9295.
25. Reeburgh W.S., Whalen S.C., Alperin A.J. The role of methylotrophy in the global methane budget. In: Murrel J.A., Kelle, D.P. (Eds.), *Microbial Growth on C-1 Compounds.* Intercept, Andover, UK. — 1993. — P. 1—14.
26. Ross D.A. 1978. Summary of results of Black Sea drilling. In: Ross D.A., Neprochnov Y.P., et al. (Eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, vol. 42/2. US Government Printing Office, Washington — P. 1149—1178.
27. Wong H.K., Ludmann T., Panin N., Konerding P., Dinu C. 2002. Northwestern Black Sea: Upper Quaternary water level and sedimentation. In: Briand, F. (Ed.), *Turbidite Systems and Deep-Sea Fans of the Mediterranean and the Black Seas*, CIESM Workshop series, vol. 17. — P. 85—89.

Статья поступила 14.11.2013

В.П. Кобольев, О.О. Верпаховська

СКУПЧЕННЯ ГАЗОВИХ ГІДРАТИВ У ПАЛЕОДЕЛЬТІ ДНІПРА ЯК ОБ'ЄКТ СЕЙСМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Розглянуто результати дослідно-методичних сейсмічних досліджень, виконаних на НДС «Професор Логачов» в 2001р. і на НДС «Професор Водяницький» у 2011р. Отримані результати свідчать про наявність газогідратних покладів на площі палеодельти Дніпра.

Ключові слова: метан, газогідратний поклад, підгідратний газ, глибинний розлом

V. P. Kobolev, A. O. Verpakhovskaya

ACCUMULATIONS OF GAS HYDRATES IN THE DNIEPER PALEO-DELTA AREA AS AN OBJECT OF SEISMIC STUDIES

The results of seismic studies, carried out on the RV Professor Logatchev» in 2001 and on the RV Professor Vodyanitsky» in 2011, are considered. The results indicate the presence of gas hydrate deposits in the area of the Dnieper paleo-delta.

Key words: methan, gas-gidrate pool, undergidrate gas, deep fault