

УДК: 528+550.837+553.98

С.П. Левашов^{1,2}, Н.А. Якимчук^{1,2}, И.Н. Корчагин³, Д.Н. Божжежа², И.С. Пидлисна⁴¹Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, г. Киев, e-mail: slevashov@mail.ru, yakymchuk@gmail.com²Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАНУ, г. Киев³Институт геофизики им. С.И. Субботина НАНУ, г. Киев, e-mail: korchagin@karbon.com.ua⁴Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, г. Киев

Применение мобильных геофизических методов для поисков скоплений углеводородов в районах распространения сланцев

Анализируются результаты применения технологии частотно-резонансной обработки и декодирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для обнаружения и картирования в зонах распространения сланцев локальных участков скопления повышенных концентраций нефти, газа, газоконденсата. С использованием мобильной технологии обработаны спутниковые снимки крупных поисковых блоков на территориях распространения сланцев в Украине, Польше, Румынии. В пределах обследованных участков обнаружены и закартированы аномальные зоны типа «залежь газа» («залежь газа, нефти»). Параметры многих аномальных зон (площади и максимальные значения оценок пластового давления флюидов в коллекторах) позволяют считать их локальными участками для первоочередного детального изучения геофизическими методами и разбуривания. Это по сути зоны «Sweet spots». Начало освоения углеводородного потенциала на обследованных площадях с обнаруженных аномальных зон позволит существенно уменьшить экологическую нагрузку на окружающую среду. Результаты исследований показали, что прогнозируемые продуктивные горизонты могут располагаться как выше, так и ниже сланцев. Поэтому, при поисках скоплений УВ в областях распространения сланцев целесообразно изучать практически весь (доступный для разбуривания) интервал разреза. Результаты экспериментов свидетельствуют, что апробированная мобильная технология обработки и интерпретации данных ДЗЗ позволяет оперативно обнаруживать и картировать зоны «Sweet spots» в пределах распространения сланцевых пород.

Ключевые слова: мобильная технология, аномалия типа залежь, нефть, газ, газоконденсат, сланцы, разломная зона, спутниковые данные, прямые поиски, обработка данных ДЗЗ, интерпретация.

Введение

Проблема поисков, разведки и добычи нефти и газа из нетрадиционных коллекторов (пород угленосных формаций, сланцев, плотных песчаников, кристаллических комплексов и массивов) в настоящее время является исключительно актуальной и обсуждаемой в академической научной среде и специалистами нефтегазового сектора мировой экономики. Однако, если на североамериканском континенте уже идет активная и полномасштабная добыча нефти и газа из такого типа коллекторов, то в других регионах мира (в том числе и в Европе) процесс освоения такого типа нетрадиционных ресурсов находится, можно сказать, на начальной стадии.

Проводя на протяжении более чем десяти лет активную и целенаправленную апробацию мобильных и оперативных методов «прямых» поисков скоплений нефти и газа в различных регионах мира, авторы также неоднократно использовали их для поисков скоплений УВ в коллекторах нетрадиционного типа. Некоторые результаты проведенных масштабных экспериментов уже в этом году непосредственно анализируются в этой статье. Акцент при этом делается на поиски нефти и газа в различных регионах распространения сланцевых комплексов в Центральной и Восточной Европе (Рис. 1) (Попеску и др., 2013). Проведенные работы можно классифицировать как мелкокомасштабные исследования рекогносцировочного характера. Такого рода экспериментальные исследования с применением частотно-резонансной технологии обработки и дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) проведены в районах распространения сланцев на:

а) Олесской лицензионной площади в Западной Украине;

б) лицензионных участках № 27 (Damnica), № 28 (Lebork), Karwia и № 29 (частично) в Польше (балтийское побережье);

в) лицензионных участках № 337, № 338, № 339 и № 359 в юго-восточной части Польши;

г) лицензионном блоке Барлад в восточной Румынии.

Основная цель выполненных экспериментальных исследований – изучение возможности применения мобильного метода частотно-резонансной обработки и интерпре-

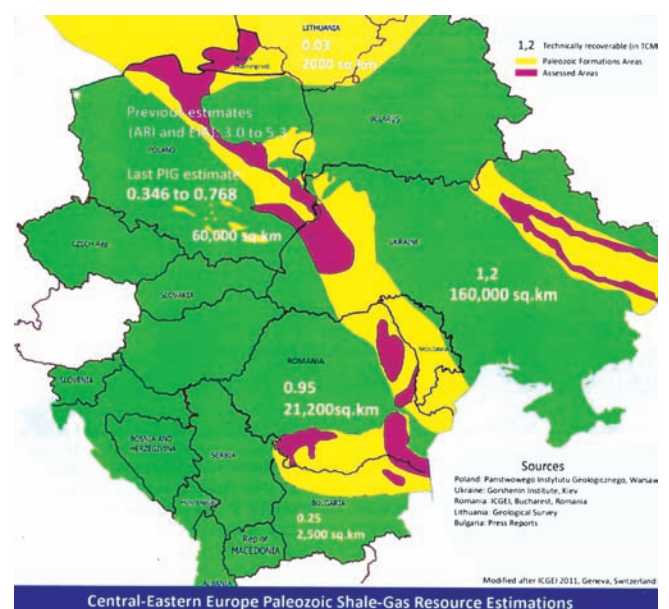


Рис. 1. Карта-схема оценки ресурсов газа в сланцевых породах (коллекторах) в Центральной и Восточной Европе (Попеску и др., 2013).

тации данных ДЗЗ для обнаружения и картирования в зонах распространения сланцевых пород локальных участков скопления повышенных концентраций УВ (нефти, газа, газоконденсата), в пределах которых из пробуренных скважин могут быть получены промышленные (коммерческие) притоки углеводородов. Другими словами – исследование возможности оперативного обнаружения и картирования так называемых зон “Sweet spots” (Валяев, 2012; Лукин, 2014).

О целесообразности проведения исследований

Необходимость проведения исследований по озвученной проблеме обусловлена следующими принципиальными моментами:

1. Достигнутыми успехами США в области поисков, разведки и добычи нефти и газа из нетрадиционных коллекторов – сланцев, плотных песчаников, пород в угленосных бассейнах.
2. Активным и целенаправленным изучением областей распространения сланцев в Европе и других регионах мира.
3. Началом проведения поисковых работ и бурения скважин с целью обнаружения залежей газа в нетрадиционных коллекторах в Украине (Юзовская и Олесская поисковые площади).
4. Не совсем удачными результатами работ по поискам и добыче газа из сланцев в Польше, которую можно считать лидером в этом направлении в Европе. В частности, в декабре 2013 г. правительственным чиновником было заявлено, что уже пробурены 51 скважина, в 24 из них проведены работы по ГРП (гидроразрыв пласта). Но ни одна из них пока не находится в промышленной эксплуатации.
5. Активным противодействием планируемым работам по поискам и добыче сланцевого газа в европейских странах экологических структур и организаций, а также территориальных громад.
6. Имеющимся значительным опытом авторов в области применения мобильных геофизических методов для поисков и разведки скоплений УВ в различных нефтегазоносных регионах, в том числе и в коллекторах нетрадиционного типа (Левашов и др., 2011б; 2012б; 2014а; 2014б).

О мобильных методах и технологиях. Возможности и отличительные особенности используемых мобильных методов охарактеризо-

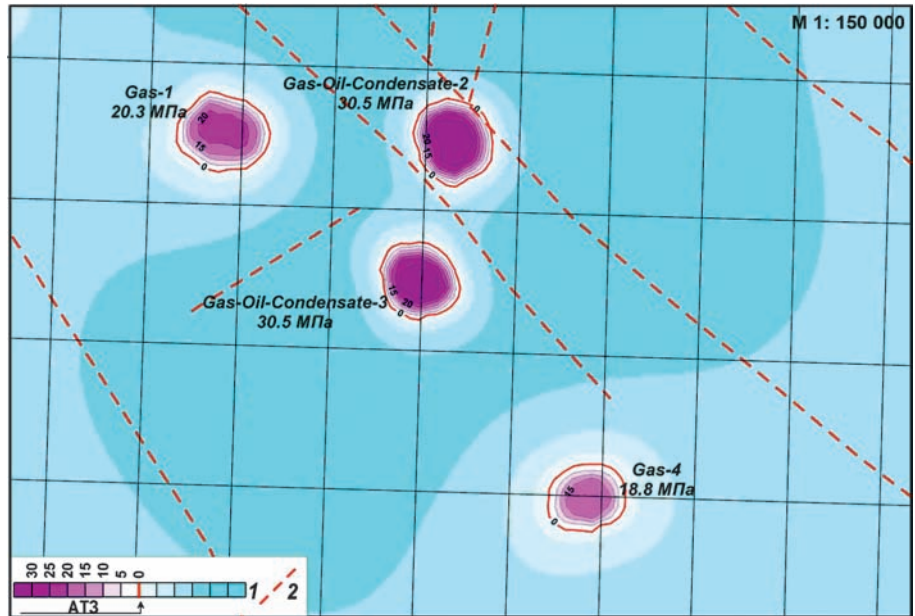
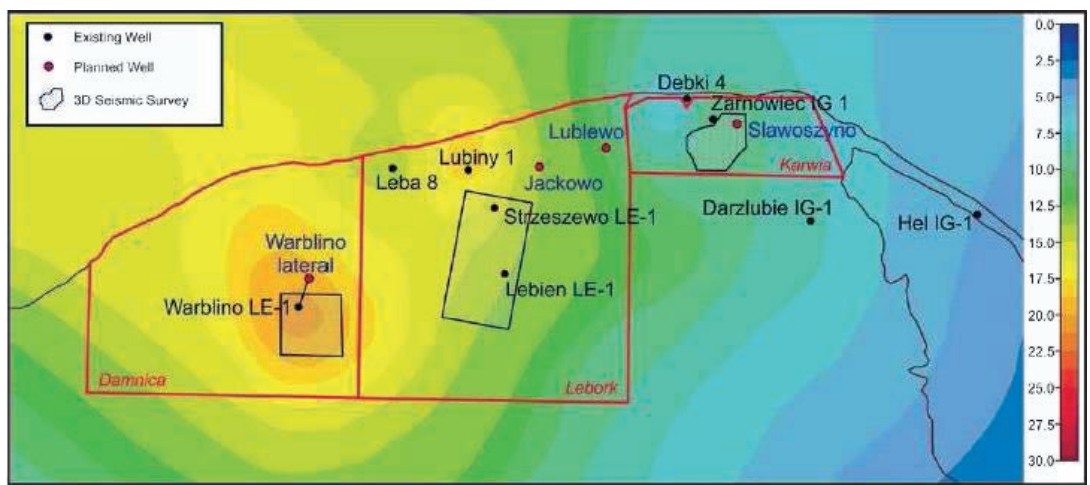


Рис. 2. Карта аномальных зон типа «газ» и «газ + нефть + конденсат» в пределах фрагмента Олесской площади. 1 – шкала значений величины пластового давления, МПа; 2 – тектонические нарушения.

ваны во многих публикациях (Левашов и др., 2010; 2011а; 2012а; 2012б; 2014а; 2014б). Еще раз останавливаться на них не будем. Отметим только, что используемые авторами мобильные методы – это, по сути, «прямые методы» поисков нефти и газа. Более того, в последних публикациях акцентируется также внимание на то, что эти методы работают в рамках новой парадигмы геофизических исследований – «вещественной» (Левашов и др., 2012а). Разработанные в рамках этой парадигмы технологии и методы (в том числе и другими коллективами) направлены на поиск конкретного (искомого в каждом конкретном случае) вещества – нефти, газа, газоконденсата, золота, цинка, урана, и т.д.

По материалам традиционных геофизических исследований осуществляется построение физических моделей изучаемых участков: скоростной, плотностной, магнитной, температурной, и т.д. В дальнейшем, в результате геологической интерпретации физических моделей среды в разрезе выделяются тектонические элементы, структуры,



Source: 3Legs Resources

Рис. 3. Контуры лицензионных участков № 27 (Dannica), № 28 (Lebork), Karwia и положение пробуренных скважин в их пределах (Польша).

объекты, с которыми могут быть связаны определенные виды полезных ископаемых (а могут и не быть).

Отмеченные особенности традиционных и «прямых» методов дают основание утверждать, что прямое (прямолинейное) сопоставление результатов, полученных традиционными методами, с материалами «прямых» методов в принципе некорректно. Во многих случаях полученные материалы не будут соответствовать друг другу. Такие материалы следует рассматривать только как дополняющие друг друга!

Представленные ниже результаты получены с использованием мобильной технологии частотно-резонансной обработки и интерпретации данных ДЗЗ (Левашов и др., 2010; 2011а; 2012а). Они были продемонстрированы в стендовом докладе на конференции в Казани в 2014 г. (Левашов и др., 2014б).

Олесская поисковая площадь. Координаты контура Олесской площади заимствованы из документа, обнаруженного на одном из сайтов Интернета. Контур поисковой площади нанесены на карту месторождений и структур Западного нефтегазоносного региона Украины (по состоянию на 01.01.2004 г.), а также на тектоническую схему Западноукраинского битумонафтогазоносного региона. Эти графические материалы использовались при обработке данных ДЗЗ в пределах отдельных участков площади.

Для увеличения масштаба обработки данных ДЗЗ, а, следовательно, информативности (детальности) полученных результатов, исследованная площадь была разбита на пять отдельных фрагментов. Спутниковые снимки отдельных участков обработаны в масштабе 1:150000. Никакая другая геолого-геофизическая информация в процессе проведения экспериментальной обработки данных ДЗЗ в пределах площади исследований не использовалась.

Обнаруженные в пределах одного из пяти обследованных фрагментов аномальные зоны представлены на рисунке 2. Всего же в пределах обследованного блока выделено и закартировано 14 аномальных зон: две зоны типа

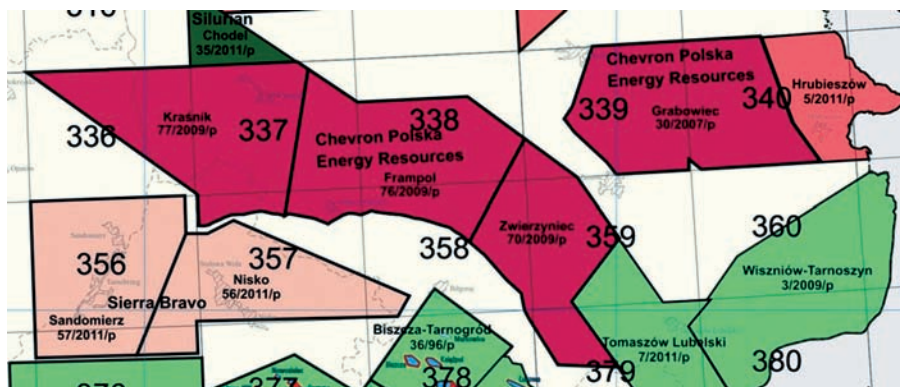


Рис. 5. Фрагмент карты лицензионных блоков на юго-западе Польши. Обработаны спутниковые снимки территории, в пределах которых расположены участки 337, 338, 339 и 359.

«нефтяная + газовая + конденсатная залежь» (№№ 2 и 3, рис. 2) и 12 аномалий типа «газовая залежь». Десять из них попадают в пределы лицензионной площади полностью, три аномалии пересекают контур участка обследования и одна аномальная зона обнаружена за его пределами.

Площади обнаруженных аномальных зон изменяются от 19.0 до 86.0 км², а оценки максимальных значений пластового давления флюидов в коллекторах в контурах аномалий – от 3.1 до 30.5 МПа.

Общая площадь всех закартированных аномальных зон по изолинии 0 МПа составляет 484 км², а по изолинии 15 МПа – 228 км². По отношению к площади лицензионного участка (6369 км²) это составляет 7.29 % и 3.58 % соответственно.

Лицензионные участки № 27 (Dannica), № 28 (Lebork), Karwia и № 29 (Польша). На настоящий момент в пределах Олесской площади пробуренных скважин на газ в сланцах нет. Поэтому возникла необходимость обработать данные ДЗЗ на участках, где такие скважины имеются. Такие участки обнаружены на сайте компании 3Legs Resources plc (www.3legsresources.com). Контур лицензионных участков № 27, № 28, Karwia и положение пробуренных скважин в их пределах показаны на рисунке 3.

Спутниковые снимки участков расположения блоков обработаны в масштабе 1:125000. Отметим, что площади обработанных спутниковых снимков больше площади ли-

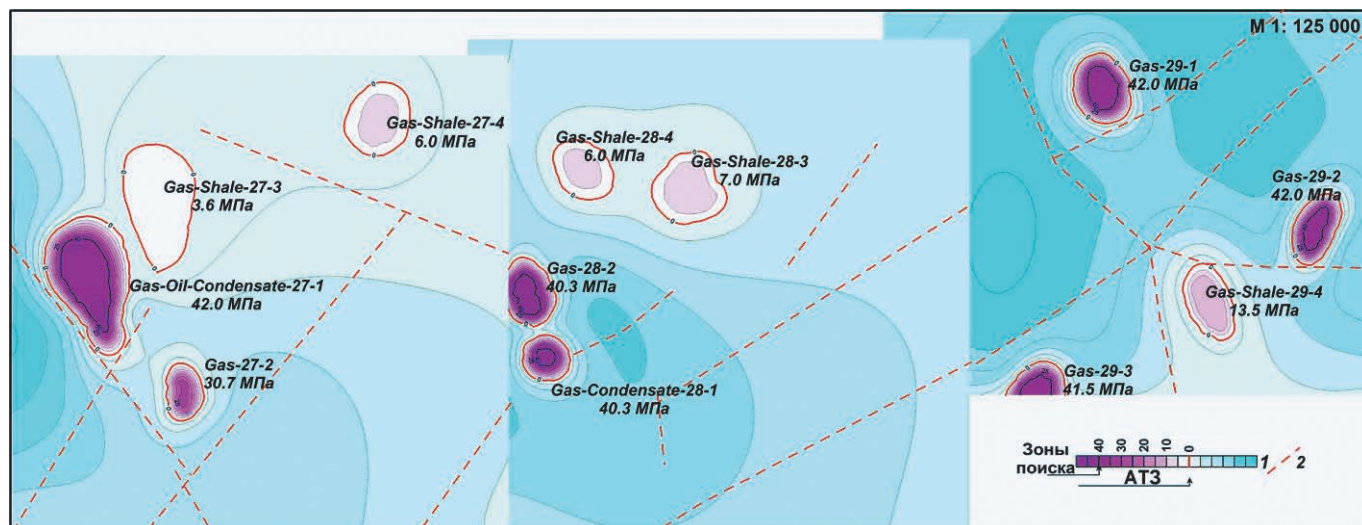


Рис. 4. Карта аномальных зон типа «газовая залежь» на лицензионных площадях № 27, № 28, № 29. 1 – шкала значений комплексной величины пластового давления, МПа; 2 – тектонические нарушения.

цензионных блоков. Результаты обработки представлены на рисунке 4.

Всего в пределах обследованных участков обнаружено и закартировано 7 аномальных зон типа «газ» («газ + конденсат») с относительно высокими значениями пластового давления флюидов в коллекторах и пять аномальных зон с невысокими значениями (Рис. 4).

На участке расположения блока № 27 (766 км²) обнаружено 4 аномалии с пластовыми давлениями от 3.6 до 42 МПа. Общая их площадь по изолинии 0 МПа – 96 км², по изолинии 20 МПа – 29 км². По отношению к площади спутникового снимка (1150 км²) это составляет 8.35 % и 2.52 % соответственно.

В районе расположения блока № 28 (1055 км²) обнаружено 4 аномалии с пластовыми давлениями от 6.0 до 40.3 МПа. Общая площадь аномалий по изолинии 0 МПа – 50 км², по изолинии 20 МПа – 12 км². По отношению к площади обследованного снимка (1200 км²) это составляет 4.17 % и 1.0 %.

На участке расположения блока № 29 (230 км²) обнаружено 4 аномалии с пластовыми давлениями от 13.5 до 42.0 МПа. Общая их площадь по изолинии 0 МПа – 47 км², по изолинии 20 МПа – 21 км². По отношению к площади обработанного снимка (1050 км²) это составляет 4.48 % и 2.0 % соответственно.

Акцентируем внимание на следующих моментах.

1. Ни одна из пробуренных в пределах обследованных участков скважин не попала в контуры обнаруженных и закартированных аномалий.

2. Пробуренная в апреле 2014 г. скважина **Lublewo LEP-1ST1H** (Рис. 3) с горизонтальным стволом 1512 м расположена в безаномальной зоне. Вероятность получения в этой скважине промышленных (коммерческих) притоков газа даже после проведения запланированных 20 этапов ГРП близка к нулю.

3. Вертикальная скважина **Slawoszyno** (Рис. 3) также расположена вне контуров обнаруженных аномалий. Получение в этой скважине коммерческих притоков газа также проблематично.

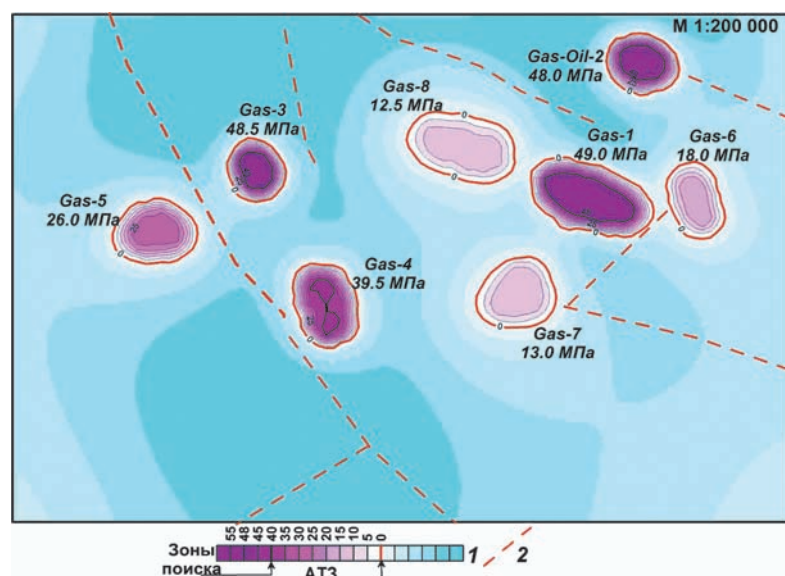


Рис. 6. Карта аномальных зон типа «газовая залежь» на одной из лицензионных площадей (юго-запад Польши). 1 – шкала значений комплексной величины пластового давления, МПа; 2 – тектонические нарушения по спутниковым данным.



Рис. 7. Положение лицензионного блока Барлад (Румыния). [Интернет-ресурс].

Лицензионные блоки № 337, № 338, № 339 и № 359 (Польша). Участки расположены на юго-востоке Польши. Их приближенное положение показано на рис. 5. Обработка данных ДЗЗ каждого блока выполнена отдельно. Масштаб обработки – 1:150000 и 1:200 000.

Всего в пределах четырех блоков обнаружено и закартировано 29 аномальных зон типа «газ» и «газ + нефть». Среди них есть зоны как с высокими значениями пластового давления флюидов в коллекторах, так и с низкими.

На участке расположения блока № 337 (1230 км²) обнаружено 8 аномалий с пластовыми давлениями от 12.5 до 49.0 МПа. Общая их площадь по изолинии 0 МПа – 245 км², по изолинии 20 МПа – 90 км². По отношению к площади спутникового снимка (2750 км²) это составляет 8.91 % и 3.27 % соответственно.

В районе расположения блока № 338 (1200 км²) обнаружено 11 аномалий с пластовыми давлениями от 2.0 до 40.8 МПа. Общая площадь аномалий по изолинии 0 МПа – 188 км², по изолинии 20 МПа – 43.2 км². По отношению к площади снимка (2100 км²) это составляет 8.95 % и 2.06 %.

В пределах блока № 339 (1200 км²) выделено 5 аномалий с пластовыми давлениями от 1.3 до 47.3 МПа. Общая их площадь по изолинии 0 МПа – 48.5 км², по изолинии 20 МПа – 7,6 км². По отношению к площади обработанного спутникового снимка (1900 км²) это составляет 2.55 % и 0.40 % соответственно.

В районе расположения блока № 359 (850 км²) обнаружено 4 аномалии с пластовыми давлениями от 16.5 до 46.5 МПа. Общая площадь аномалий по изолинии 0 МПа – 68.8 км², по изолинии 20 МПа – 4.8 км². По отношению к площади снимка (2100 км²) это составляет 3.28 % и 0.23 %.

Результаты обработки в пределах наиболее перспективного лицензионного блока из четырех обследованных представлены на рисунке 6.

Пробуренные в пределах четырех блоков скважины не попадают в контуры обнаруженных аномальных зон.

Лицензионный блок Барлад (Румыния). Приближенные координаты контура блока Барлад заимствованы из рис. 7 (сайт в Интернете). Положение в пределах блока трех запроектированных скважин Paltinis, Pungesti, Ropeni также перенесено на результативную карту обнаруженных и закартированных аномальных зон со спутниково-

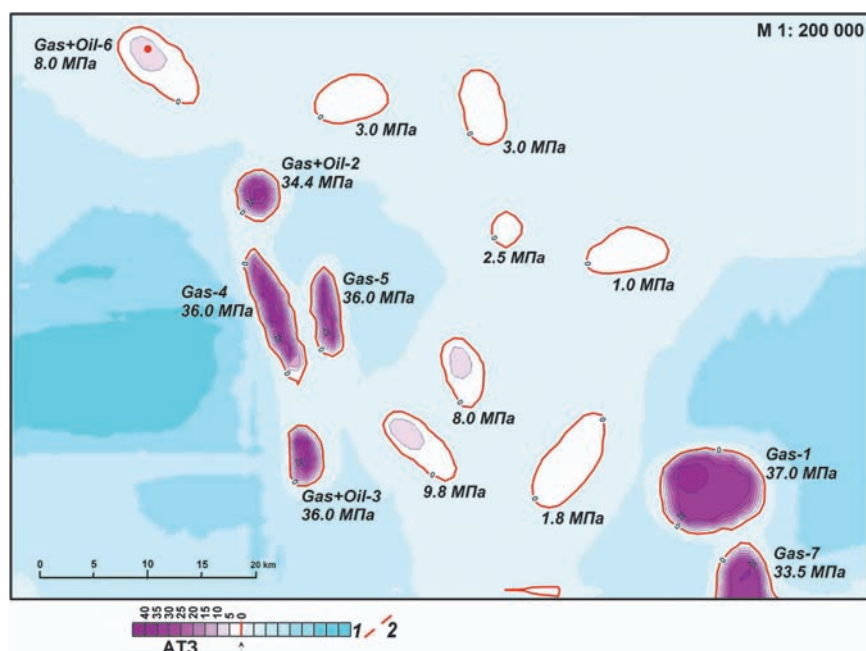


Рис. 8. Карта аномальных зон типа «газ» и «газ + нефть» в пределах фрагмента лицензионного блока Барлад (Румыния). 1 – шкала значений комплексной величины пластового давления, МПа; 2 – тектонические нарушения.

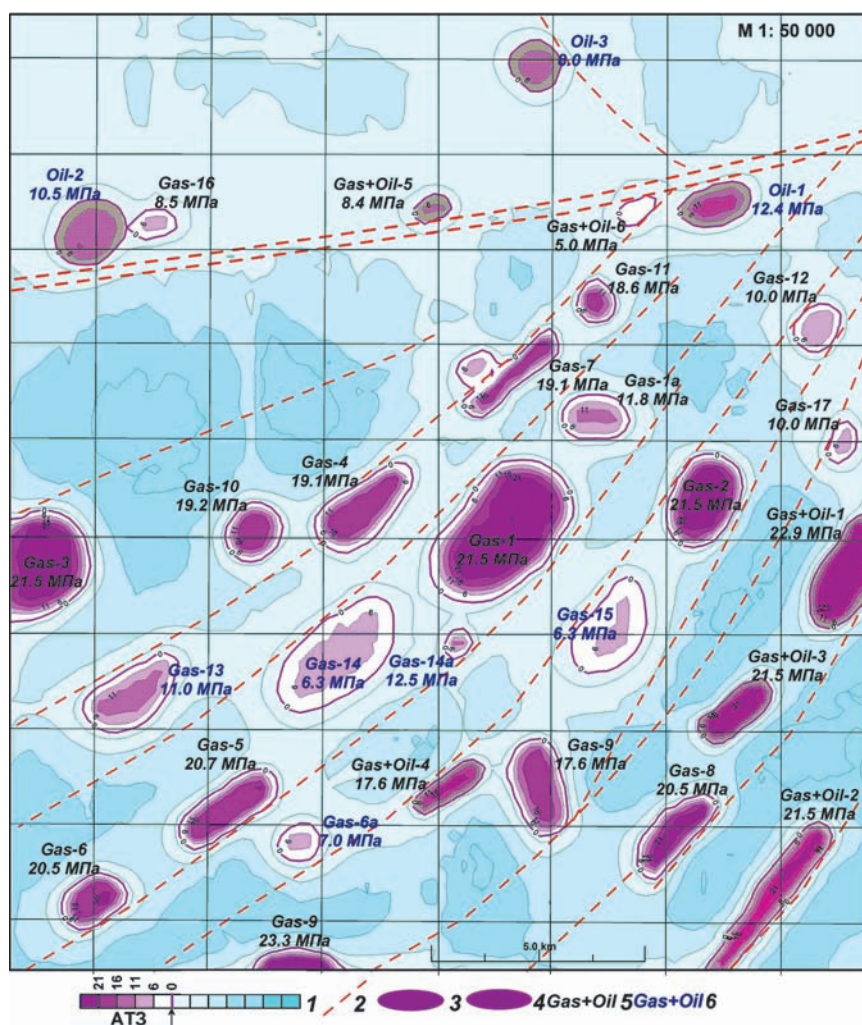


Рис. 9. Карта аномальных зон типа «нефтегазовая залежь» на поисковой площади в Англии. 1 – шкала максимальных значений комплексной величины пластового давления, МПа; 2 – тектонические нарушения по спутниковым данным; 3 – аномальные зоны типа «газовая залежь»; 4 – аномальные зоны типа «нефтяная и нефтегазовая залежь»; 5 – наиболее перспективные поисковые зоны; 6 – слабо перспективные поисковые зоны.

го снимка, обнаруженного в Интернете.

С целью увеличения масштаба обработки данных ДЗЗ исследованная площадь была разбита на три отдельных фрагмента (участка). Спутниковые снимки этих участков обработаны в масштабе 1:200000. Другие геолого-геофизические сведения по району работ в процессе проведения экспериментальной обработки данных ДЗЗ не использовались.

Обнаруженные и закартированные в пределах одного фрагмента обследованной площади аномальные зоны представлены на рисунке 8.

Всего обработано три снимка общей площадью 11300 км². На обследованных площадях обнаружено и закартировано 27 аномальных типа «газовая залежь». Аномальные эффекты на резонансных частотах нефти и конденсата в пределах обследованной площади зафиксированы только в пределах трех аномальных зон (№№ 2, 3 и 6, рис. 8). Площади обнаруженных аномальных зон изменяются от 7.0 до 79.0 км², а максимальные значения пластового давления флюидов в коллекторах в контурах аномалий от 1.0 до 37.0 МПа. Отметим также, что четыре аномальные зоны обнаружены и закартированы за пределами блока Барлад.

Общая площадь всех закартированных аномальных зон по изолинии 0 МПа составляет 747 км², а по изолинии 15 МПа – 121 км². По отношению к площади обработанных снимков (11300 км²) это составляет 6.61 % и 1.07 %.

По данным проведенных исследований в пределах блока Барлад первоочередного внимания (детального изучения) заслуживают аномальные зоны с оценками пластовых давлений в 20.0, 34.4, 36, 36, 37, 33.5 МПа.

Представляют также определенный интерес и аномальные зоны с пластовыми давлениями 7, 7.1, 8, 8, и 9.8 МПа. В их пределах могут быть проведены детальные исследования с целью оценки возможностей обнаружения скопления газа в верхней части разреза до глубины 1000 м.

Остальные аномалии не представляют практического интереса на данном этапе изучения блока Барлад (по полученным результатам, естественно).

Запроектированная скважина Paltinis попала в аномальную зону с давлением 2.0 МПа. Однако по полученным данным ее бурение в этом месте нецелесообразно. Здесь низкие значения пластового давления и аномальные отклики зафиксированы не на всех резонансных частотах газа.

Скважина Pungesti попадает в аномальную зону с более высокими оценками зна-

чений пластового давления – 8.0 МПа. Если принять во внимание гидростатический принцип, то в пределах этой аномалии заслуживает детального изучения верхняя часть разреза до 800-900 м. Более определенно перспективы этой зоны могут быть оценены при проведении детальных исследований. Тем не менее, на данном этапе работ можно констатировать, что целесообразность проведения гидро-разрывов пластов в интервале разреза на глубинах свыше 900-1000 м вызывает сомнение.

Скважина Rorepi попадает на край одной из перспективных аномалий. Однако ее положение относительно аномалии не является оптимальным.

Наиболее перспективной (по полученным данным) на обнаружение промышленных скоплений УВ является центральная часть блока Барлад. Перспективная аномалия зафиксирована также в северной части этого блока.

Основные выводы. Результаты оперативно выполненных экспериментальных исследований на локальных участках распространения сланцев в Восточной Европе (Олесская площадь, лицензионные блоки на севере и юго-востоке Польши, а также в Румынии) позволяют констатировать:

1. В пределах обследованных лицензионных блоков на территориях Украины, Польши, и Румынии обнаружены и закартированы аномальные зоны типа «залежь газа» («залежь газа, нефти»). Параметры некоторых аномальных зон (их площади и максимальные значения оценок пластового давления флюидов в коллекторах) позволяют классифицировать их как перспективные объекты, вероятность получения промышленных (коммерческих) притоков УВ из которых относительно высокая.

2. Обнаруженные аномальные зоны следует считать локальными участками для первоочередного детального изучения геофизическими методами и разбуривания. **Это по сути зоны “Sweet spots”.**

3. Начало освоения обследованных лицензионных блоков с обнаруженных аномальных зон позволит, в целом, **существенным образом уменьшить вредное воздействие (экологическую нагрузку) на окружающую среду.**

4. Полученные оценки максимальных значений пластовых давлений в обнаруженных и закартированных аномальных зонах колеблются в достаточно широком интервале. Это позволяет сделать вывод, что прогнозируемые продуктивные горизонты могут располагаться как выше, так и ниже сланцевых комплексов. Поэтому, при поисках скоплений УВ в областях распространения сланцевых пород целесообразно изучать практически весь (доступный для разбуривания) интервал разреза.

5. Аномальные зоны с очень низкими значениями пластового давления не следует считать объектами первоочередного детального изучения.

Главный вывод – мобильная технология частотно-резонансной обработки и интерпретации данных ДЗЗ позволяет оперативно обнаруживать и картировать зоны «Sweet spots» в пределах распространения сланцевых пород.

Возможные дополнительные исследования. Обработка данных ДЗЗ в пределах обследованных участков проведена в достаточно мелком масштабе. Этот первый этап исследований – рекогносцировочный. Обнаруженные и закартированные на этом этапе аномальные зоны явля-

ются объектами для первоочередного детального изучения геофизическими методами (в том числе и мобильными). Авторы не рекомендуют использовать выделенные на этом этапе аномальные зоны для выбора мест заложения поисковых скважин.

Второй этап применения мобильных методов – это обработка данных ДЗЗ в пределах выделенных на первом этапе аномальных зон в более крупном масштабе. Это позволит детализировать и уточнить контуры аномальных зон и закартировать пропущенные перспективные объекты небольших размеров. В более крупном масштабе отдельные крупные аномальные зоны могут распасться на несколько локальных. На этом этапе с помощью использования технологии частотно-резонансного сканирования данных ДЗЗ могут быть получены оценки (приближенные) глубин залегания и мощностей целевых продуктивных горизонтов (аномально поляризованных пластов (АПП) типа «газ», «нефть» и «конденсат»). Примеры обработки данных ДЗЗ в крупном масштабе приводятся в работе (Левашов и др., 2014а).

На третьем этапе обнаруженные и закартированные аномальные зоны могут быть детализированы наземными геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ (Левашов и др., 2012а; 2014а). При этом зондирование ВЭРЗ позволит оценить глубины залегания и мощности продуктивных горизонтов. Зондирование ВЭРЗ по площади дает возможность рассчитать площади распространения продуктивных горизонтов, их объемы, а также оценить приближенно потенциальные ресурсы нефти и газа в пределах распространения отдельных аномальных зон.

Результаты наземных геоэлектрических исследований по точности и детальности превосходят результаты обработки данных ДЗЗ. Примеры проведения всех трех этапов исследований приводятся в (Левашов и др., 2014а).

Поисковый участок в угольном бассейне Англии. Краткое описание строения площади работ (400 км²) сводится к следующему. Территория проекта содержит участки около 16 старых угольных шахт. Каждая шахта разрабатывала один или несколько угольных пластов на глубинах до 1000 м. Простирается по латерали каждой отработанной выработки изменяется от 100 м до 1000 м. Все пласты (и выработки) постепенно погружаются вниз с запада на восток. Мощности угольных пластов, из которых велась добыча, варьируют в интервале 1-3 м. Последующее обрушение выработок превратило их в зоны с высокой проницаемостью мощностью 10-20 м и с пористостью около 25 %. Эти проницаемые зоны могут быть залиты водой, или могут быть заполнены воздухом, метаном, двуокисью углерода или смесью этих газов.

На первом этапе работ авторы поставили перед собой следующую, более объемную по сравнению с предложенной задачей: с использованием частотно-резонансного метода обработки данных ДЗЗ обнаружить и закартировать в пределах участка максимальное количество аномальных зон типа «залежь газа», «залежь нефти», «залежь конденсата» во всем интервале разреза.

Участок расположен в угленосном бассейне, коллектора которого также относятся к нетрадиционным. В связи с этим, проведенные исследования в Англии можно (и даже следует) считать естественным продолжением работ по изучению возможностей применения мобильных

геофизических методов для поисков скоплений УВ в нетрадиционных коллекторах (в том числе и в сланцах) на поисковых блоках в Украине, Польше и Румынии.

Для увеличения масштаба обработки обследованный участок был разбит на два фрагмента – северный и южный. Спутниковые снимки этих фрагментов поместились на лист формата А3 в масштабе 1:50000. Каждый фрагмент обрабатывался отдельно. На последнем этапе обработки полученные результаты «соединены» в одну карту (Рис. 9). Обнаруженные аномальные зоны нанесены также на спутниковый снимок участка работ.

Все обнаруженные и закартированные в пределах обследованной площади аномальные зоны показаны на рисунке 9. В угольных бассейнах, как свидетельствует практический опыт авторов, аномалий достаточно много и они небольшие по площади. Рис. 9 полностью подтверждает это.

В используемом при обработке данных ДЗЗ масштабе 1: 50 000 линейные размеры аномалий, которые могут быть уверенно выделены, равны примерно 500 м. Для обнаружения более мелких аномалий обследованную площадь надо разбивать на более мелкие фрагменты – в масштабе 1:15 000, и крупнее.

Значения оценок комплексной величины пластового давления изменяются в пределах закартированных аномалий в достаточно широком интервале: от 5.0 до 23.3 МПа. Эти оценки являются в некотором роде ориентиром (с учетом гидростатического принципа), до каких, примерно, глубин целесообразно проводить поиски залежей УВ.

На рисунке 9 подписи синим цветом обозначают аномальные зоны, в пределах которых вероятность получения коммерческих притоков УВ по результатам первого этапа исследований оценивается как очень низкая. В контурах этих аномалий залежи УВ могут быть в небольших по мощности коллекторах. К тому же в пределах этих зон аномальные отклики на определенных частотах не регистрировались.

Обнаруженные аномальные зоны **следует считать проекциями прогнозируемых скоплений УВ на дневную поверхность**. На следующих этапах исследований они могут быть детализированы обработкой данных ДЗЗ в более крупном масштабе, а также наземными методами СКИП и ВЭРЗ.

Выделенные зоны аномалий могут быть обусловлены ловушками литологического типа, расположенными вдоль зон тектонических нарушений (субвертикальной миграции флюидов).

К результатам проведенных исследований в пределах поискового участка в Англии вполне применимы выводы, сформулированные выше по материалам исследований в Украине, Польше и Румынии.

Полученные результаты дают основания утверждать, что в Англии имеются предпосылки для существенного увеличения объемов добычи нефти и газа на суше, как из традиционных коллекторов, так и из нетрадиционных (угленосных пород, сланцев, плотных песчаников).

Темпы этого увеличения могут быть ускорены, если принять стратегию комплексного освоения ресурсов – т.е. одновременно из традиционных и нетрадиционных коллекторов.

Такая стратегия может быть реализована наиболее оптимальным образом, если на начальном этапе ее практической реализации оперативно осуществить оценку потенциальных ресурсов УВ каждой лицензионной площади (блока) с использованием мобильных методов «прямых» поисков скоплений нефти и газа. В качестве таких можно использовать и применяемые авторами методы.

Результаты, полученные на этапе оперативной оценки потенциальных ресурсов УВ в пределах отдельных лицензионных участков и блоков, позволят сформировать оптимальную последовательность разработки обнаруженных (прогнозируемых) залежей и целенаправленно создавать в процессе ее реализации необходимую инфраструктуру для добычи УВ со всего разреза!

К этому добавим, что в статье (Кудельский, 2014) высказывается и аргументировано доказывается предположение, что успехи США по добыче УВ из нетрадиционных коллекторов (угленосных пород, сланцев и плотных песчаников) как раз и связаны с освоением ресурсов УВ в интервале всего, доступного для бурения разреза!

Заключение

Выше представлены результаты исследований, которые не сопоставляются с имеющимися геолого-геофизическими материалами по обследованных площадях. Возможные пути формирования прогнозируемых скоплений углеводородов могут быть объяснены с использованием положений и принципов, разработанных специалистами, стоящими на позициях глубинного (эндогенного) образования УВ (Валяев, 2012; Кусов, 2014; Тимурзиев, 2013). Окончательные «акценты» в статье не расставлены. Тем не менее, оценивая полученные материалы в целом, акцентируем внимание на некоторых принципиальных (для авторов) моментах.

1. Можно смело констатировать, что за относительно короткое время проведены масштабные экспериментальные исследования в различных регионах Европы, результаты которых вносят определенную ясность в понимание проблемы поисков, изучения и разработки промышленных скоплений УВ в коллекторах нетрадиционного типа (в том числе и в сланцах).

2. «Прямые» методы поисков и разведки полезных ископаемых (в том числе нефти и газа), разработанные на принципах «вещественной» парадигмы геофизических исследований, могут способствовать существенному ускорению процесса освоения в различных регионах мира углеводородных ресурсов в породах-коллекторах нетрадиционного типа (и традиционных также).

3. При изучении и оценке перспектив нефтегазоносности областей (участков, блоков) распространения нетрадиционных коллекторов целесообразно исследовать весь доступный для разбуривания разрез. Скопления УВ (в том числе и в промышленных объемах) могут также быть расположены (и обнаружены) как выше, так и ниже целевых горизонтов.

4. Оценки ресурсов УВ в сланцевых породах Центральной и Восточной Европы завышены. В статье (Kiersnowski, Dyrka, 2013) предлагается определять сланцевый плей, как область типа «Sweet spot», которая обнаружена (выделена) многими скважинами и в которой можно прогнози-

ровать добычу УВ.

5. Результаты проведенных исследований на поисковом блоке в Англии подтверждаются материалами опубликованной статьи (Snyder et al., 2014), в которой приводится краткая характеристика геологического строения известных сланцевых плеев Marcellus и Utica.

Литература

Kiersnowski H., Dyrka I. Ordovician-Silurian shale gas resources potential in Poland: evaluation of Gas Resources Assessment Reports published to date and expected improvements for 2014 forthcoming Assessment. *Przegląd Geologiczny*. 2013. Vol. 61. № 11/1. Pp. 639-656.

Snyder H., Beasley C., Friedemann C. and Kincheloe C. A multi-physics approach to near-surface characterization over the Marcellus shale. *First Break*. 2014. 32, 8. Pp. 99-104.

Валяев Б.М. Природа и особенности пространственного распространения нетрадиционных ресурсов углеводородов и их скоплений. *Газовая промышленность, Нетрадиционные ресурсы нефти и газа*. 2012. С. 9-16.

Кудельский А.В. Геолого-геохимическая несостоятельность газосланцевого бума. *Геофизический журнал*. 2014. Т. 36. №1. С. 105-118.

Кусов Б. Р. Газ (метан) природный, нефтяной, угольный, сланцевый – что все это? *Недропользование XXI век*. 2014. № 3. С. 88-91.

Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Оценка относительных значений пластового давления флюидов в коллекторах: результаты проведенных экспериментов и перспективы практического применения. *Геоинформатика*. 2011а. № 2. С. 19-35.

Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Возможности мобильных геофизических технологий при поисках и разведке скоплений метана в угольных бассейнах и других нетрадиционных горючих ископаемых. *Геоинформатика*. 2011б. № 3. С. 5-25.

Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Новые возможности оперативной оценки перспектив нефтегазоносности разведочных площадей, труднодоступных и удаленных территорий, лицензионных блоков. *Геоинформатика*. 2010. № 3. С. 22-43.

Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Частотно-резонансный принцип, мобильная геоэлектрическая технология: новая парадигма геофизических исследований. *Геофизический журнал*. 2012а. Т. 34, № 4. С. 167-176.

Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Божежа Д.Н., Шуст Д.Р. Мобильные геофизические технологии: детальные исследования с целью поисков скоплений углеводородов в пределах Украинского кристаллического щита. *Эл. журнал «Глубинная нефть»*. Т.2. №6. 2014а. С. 862-898. URL: <http://journal.deeroil.ru/>

Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Боровский М.Я. Применение мобильных геофизических методов для поисков скоплений легкой нефти в районах распространения отложений баженовской свиты. *Мат. Межд. научно-практ. конф. «Трудноизвлекаемые и нетрадиционные запасы углеводородов: опыт и про-*

гнозы». Казань: Изд-во ФЭН. 2014б. С. 259-262.

Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Пищаный Ю.М., Бахмутов В.Г., Соловьев В.Д., Божежа Д.Н. Геоэлектрические и дистанционные исследования скоплений газогидратов в структурах дна Западной Антарктики (по результатам сезонных геофизических работ 17-ой Украинской антарктической экспедиции, 2012 г.). *Геоинформатика*. 2012б. № 3. С. 12-21.

Лукин А.Е. Геофизические методы и проблема выявления нетрадиционных источников природного газа. *Геологический журнал*. 2014. № 1. С. 7-22.

Попеску Б., Велициу С., Ранет Э. Восточно-Европейский регион – будущий центр добычи нетрадиционных ресурсов углеводородов? Перспективы Румынии? *Мат. докладов научно-практ. конф. «Нефтегазовая геофизика – нетрадиционные ресурсы»*. Ивано-Франковск. 2013. С. 30-32.

Тимурзиев А.И. Мантийные очаги генерации углеводородов: геолого-физические признаки и прогнозно-поисковые критерии картирования; закономерности нефтегазоносности недр как отражение разгрузки в земной коре мантийных УВ-систем. *2-е Кудрявцевские Чтения. Мат. Всерос. конф. по глубинному генезису нефти и газа*. М.: ЦГЭ. 2013. С. 333-379.

Сведения об авторах

Сергей Петрович Левашов – кандидат физико-математических наук, заместитель директора Института прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии

01133, Киев, пер. Лабораторный, 1

Тел: +38 044 522 98-97

Николай Андреевич Якимчук – доктор физико-математических наук, профессор, член-корреспондент НАН Украины, директор Центра менеджмента и маркетинга в области наук о Земле

Дмитрий Николаевич Божежа – научный сотрудник Центра менеджмента и маркетинга в области наук о Земле Института геологических наук НАН Украины

01133, Киев, пер. Лабораторный, 1

Тел: +38 044 522 81-45

Игнат Николаевич Корчагин – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института геофизики НАН Украины

03680, Киев, пр. Палладина, 32. Тел: +38 044 424-01-12

Ирина Сергеевна Пидлисна – аспирантка геологического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

03022, Киев, ул. Васильковская, 90

Тел: +380 44 259-80-79

Mobile Geophysical Methods to Search for Hydrocarbon Accumulations in Shale Areas

S.P. Levashov^{1,2}, N.A. Yakimchuk^{1,2}, I.N. Korchagin³, D.N. Bozhezha², I.S. Pydlynska⁴

¹Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry, Kyiv, Ukraine, e-mail: slevashov@mail.ru, yakimchuk@gmail.com

²Management and Marketing Center of the Institute of Geological Science, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine, e-mail: korchagin@karbon.com.ua

⁴Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

Abstract. The paper analyses results of frequency-resonance processing and data decoding of the Earth remote sensing for detection and mapping local higher concentrations

of oil, gas and gas condensate in shale areas. Satellite images of major search blocks in shale areas of Ukraine, Poland, and Romania are processed with the help of mobile technology.

Anomalous zones of “gas deposit” type (oil and gas deposit) were detected and mapped within the surveyed locations. Parameters of many anomalous zones (areas and maximum values of reservoir fluid pressure) could be considered as local areas for prior detailed survey by geophysical methods and drilling. Such zones are called “sweet spots”. Development of hydrocarbon potential in the surveyed areas with detected anomalous zones will significantly reduce the environmental burden. The results showed that estimated productive horizons could be located both above and below the shale. Therefore, virtually all the interval (available for drilling) should be surveyed for hydrocarbon accumulations in shale areas. The experimental results show that approved mobile technology of remote sensing data processing and interpretation allows us to quickly detect and map “sweet spots” spread within the shale.

Keywords: mobile technology, deposit anomaly, oil, gas, gas condensate, shale, fault zone, satellite data, direct search, processing of remote sensing data, interpretation.

References

- Kiersnowski H., Dyrka I. Ordovician-Silurian shale gas resources potential in Poland: evaluation of Gas Resources Assessment Reports published to date and expected improvements for 2014 forthcoming Assessment. *Przegląd Geologiczny*. 2013. Vol. 61. № 11/1. Pp. 639-656.
- Snyder H., Beasley C., Friedemann C. and Kincheloe C. A multi-physics approach to near-surface characterization over the Marcellus shale. *First Break*. 2014. 32, 8. Pp. 99-104.
- Valyayev B.M. Priroda i osobennosti prostranstvennogo rasprostraneniya netraditsionnykh resursov uglevodorodov i ikh skopleniy [The nature and characteristics of the spatial distribution of unconventional hydrocarbon resources and their clusters]. *Gazovaya promyshlennost', Netraditsionnye resursy nefli i gaza* [Gas industry, unconventional oil and gas resources]. 2012. Pp. 9-16.
- Kudel'skiy A.V. Geologo-geokhimicheskaya nesostoyatel'nost' gazoslantsevogo buma [Geological and geochemical inconsistency of «shale gas boom»]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2014. T. 36, №1. Pp. 105-118.
- Kusov B. R. Gaz (metan) prirodnyy, neftyanoy, ugol'nyy, slantsevyy – chto vse eto? [Natural gas (methane), oil gas, coal gas, shale gas – what is it?]. *Nedropol'zovanie XXI vek* [Subsoil – XXI century]. 2014. № 3. Pp. 88-91.
- Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N. Possibility of Mobile Geophysical Technologies during Methane Accumulations in Coal Basins and other Non-Traditional Fossil Fuels Prospecting and Exploration. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. 2011b. № 3. Pp. 5-25.
- Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N. New opportunities for rapid assessment of the petroleum potential of exploration areas, inaccessible and remote areas, the license blocks. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. 2010. № 3. Pp. 22-43.
- Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N. Evaluation of the relative values of the reservoir fluid pressure in the reservoirs: the results of the experiments and practical perspective. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. 2011a. № 2. Pp. 19-35.
- Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N. Chastotno-rezonansnyy printsip, mobil'naya geoelektricheskaya tekhnologiya: novaya paradigma geofizicheskikh issledovaniy [Frequency resonant principle, mobile geoelectric technology: a new paradigm of Geophysical Research]. *Geofizicheskiy zhurnal* [Geophysical Journal]. 2012a. V. 34. № 4. Pp. 167-176.
- Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N., Bozhezha D.N., Shust D.R. Mobile geophysical technology: a detailed study to search for hydrocarbon accumulations within the Ukrainian Shield. *Elektronnyy zhurnal «Glubinnaya nefl'»* [Electronic Journal “Deep oil”]. Vol. 2. № 6. 2014a. Pp. 862-898. URL: <http://journal.deepoil.ru>. (In russian)
- Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N., Borovskiy M.Ya. Primenenie mobil'nykh geofizicheskikh metodov dlya poiskov skopleniy legkoy nefli v rayonakh rasprostraneniya otlozheniy bazhenovskoy svity [Application of mobile geophysical methods for the purpose of light oil exploration in areas where deposits of the Bazhenov Formation are located]. *Mat. Mezhd. nauchno-prakt. konf. «Trudnoizvlekaemye i netraditsionnye zapasy uglevodorodov: opyt i prognozy»* [Proc. Int. Sci. and Pract. Conf. «Hard-and unconventional hydrocarbon reserves: experiences and predictions»]. Kazan: «FEN» Publ. 2014b. Pp. 259-262.
- Levashov S.P., Yakimchuk N.A., Korchagin I.N., Pischanyy Yu.M., Bakhmutov V.G., Solov'ev V.D., Bozhezha D.N. Geoelektricheskie i distantsionnye issledovaniya skopleniy gazogidratov v strukturakh dna Zapadnoy Antarktiki. Rezul'tay sezonnykh geofizicheskikh rabot 17-oy Ukrainской antarkticheskoy ekspeditsii. [Geoelectric and remote studies of gas hydrate accumulations in the structures of the bottom of the West Antarctic. Results of seasonal geophysical works of the 17th Ukrainian Antarctic Expedition]. *Geoinformatika* [Geoinformatics]. 2012b. № 3. Pp. 12-21.
- Lukin A.E. Geofizicheskie metody i problema vyavleniya netraditsionnykh istochnikov prirodnoy gaza [Geophysical methods and the problem of identifying non-traditional sources of natural gas]. *Geologicheskii zhurnal* [Geological Journal]. 2014. № 1. Pp. 7-22.
- Popesku B., Velitsiu S., Ranet E. Vostochno-Evropeyskiy region – buduschiy tsentr dobychi netraditsionnykh resursov uglevodorodov? Perspektivy Rumynii. [Eastern European region – future center of unconventional hydrocarbon resources production? Prospects for Romania] *Mat. dokladov nauchno-prakt. konf. «Neftegazovaya geofizika – netraditsionnye resursy»* [Proc. Sci. and Pract. Conf. «Oil and gas geophysics – unconventional resources»]. 2013. Ivano-Frankovsk. Pp. 30-32.
- Timurziev A.I. Mantiynye ochagi generatsii uglevodorodov: geologo-fizicheskie priznaki i prognozno-poiskovye kriterii kartirovaniya; zakonomernosti neftegazonosnosti neдр kak otrazhenie razgruzki v zemnoy kore mantiynykh UV-sistem [Mantle pockets of hydrocarbon generation: geological and physical characteristics and prognostic search criteria mapping; patterns of subsurface oil and gas potential as a reflection of unloading in the crust mantle hydrocarbon systems]. *2-e Kudryavtsevskie Chteniya. Mat. Vseros. konf. po glubinnomu genezisu nefli i gaza* [Proc. All-Russian Conf. on the genesis of deep oil and gas]. Moscow: “TsGE” Publ. 2013. Pp. 333-379.

Information about authors

Sergey Levashov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, deputy director, Institute of Applied Problems of Ecology, Geophysics and Geochemistry
01133, Kyiv, Laboratornyy al., 1
Tel: +38 044 522 98-97

Nikolay Yakimchuk – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, professor, direktor, Management and Marketing Center of Institute of Geological Science NAS
Dmitriy Bozhezha – Researcher, Management and Marketing Center of Institute of Geological Science NAS
01133, Kyiv, Laboratornyy al., 1
Tel: +38 044 522 81-45

Ignat Korchagin – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, leading researcher, Institute of Geophysics of National Academy of Sciences of Ukraine
03680, Kyiv, Palladina av., 32
Tel: +38 044 424-01-12

Irina Pydlynska – PhD student, Taras Shevchenko National University of Kyiv
03022, Kyiv, Vasil'kovskaya str., 90
Tel: +380 44 259-80-79