

**ВОЗМОЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ  
ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ СКОПЛЕНИЙ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ  
И ДРУГИХ НЕТРАДИЦИОННЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ**

© С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин, 2011

*Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, Киев, Украина,  
Центр менеджмента и маркетинга в области наук о Земле ИГН НАНУ, Киев, Украина,  
Институт геофизики НАНУ им. С.И. Субботина, Киев, Украина*

The results of experimental application in 2001–2010 of nontraditional geoelectric methods of forming short-pulsed electromagnetic field (FSPEF) and vertical electric-resonance sounding (VERS), as well as a new method of remote sensing (RS) data processing for the free gas (methane) accumulations prospecting within the coal-bearing rocks distribution are given. They indicate that the anomaly of the “pool of free gas (methane)” type can be detected and mapped by areal FSPEF method survey. The bedding depths and thicknesses of the anomalous polarized layers (APL) of “gas” type are determined by VERS sounding. Special method of remote sensing data processing also allows you to select and map operatively the anomalies of the “pool of free gas” type. The experiment results testify of practical possibility of the FSPEF–VERS technology and method of remote sensing (RS) data processing using for the free gas (methane) accumulations exploration and prospecting within the coal mines and coal-bearing series spreading. The same techniques can be used also for the accumulations of other non-traditional fossil fuel prospecting – shale gas, hydrocarbon accumulations in the crystalline rocks, hydrogen and gas-hydrates. The broad application of mobile operative technologies at various stages of different types hydrocarbon accumulations prospecting will accelerate and optimize the exploration process in general.

**Keywords:** geoelectric survey, electric-resonance sounding, deposit type anomaly, free gas, shale gas, methane, coal mine.

**Введение.** В связи с существенным ростом мирового потребления энергетических ресурсов в настоящее время как в Украине, так и в других странах значительное внимание уделяется нетрадиционным ископаемым источникам энергии. Например, активно и целенаправленно анализируются [12] “основные проблемы и пути освоения перспективных ресурсов и запасов газа метана угольных бассейнов (coalbed methane) Украины, сланцевого газа (shale gas), газа уплотненных коллекторов (tight gas), астроблем, газогидратов Черного моря”. Значительный интерес к проблеме поисков, разведки и добычи метана угольных бассейнов и сланцевого газа связан также с тем, что США благодаря существенному прогрессу в добыче угольного метана и сланцевого газа вышли на первое место в мире по добыче газа в целом, опередив по этому показателю Россию. Отметим также, что ведущими нефтяными компаниями мира накоплен громадный опыт по поискам и добыче указанных видов ископаемых горючих ресурсов.

Так сложилось, что на протяжении уже практически 10 лет (начиная с 2001 г.) авторы неоднократно проводили полевые эксперименты с целью изучения возможности использования мобильных геоэлектрических методов становления короткоим-

пульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ) [21–25, 45, 51, 53] для обнаружения и картирования скоплений свободного газа (метана) в пределах шахтных полей Донбасса. Результаты экспериментов представлены в многочисленных публикациях [20, 24, 28, 31, 49, 50].

В последние годы теоретические и экспериментальные исследования в направлении практического применения для “прямых” поисков скоплений углеводородов (УВ) мобильных геофизических технологий существенно расширились и интенсифицировались. Выполнен большой объем экспериментальных работ и получены новые материалы в различных нефтегазоносных регионах, в том числе в Донбассе. Акцентируем внимание на следующих принципиальных, на наш взгляд, аспектах.

1. Началась широкая практическая апробация нового метода обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с целью “прямых” поисков скоплений нефти и газа, рудных полезных ископаемых, водоносных коллекторов [29–32]. Эта супероперативная технология позволяет обнаруживать и картировать аномальные зоны типа “залежь нефти” и (или) “залежь газа” в любых

регионах земного шара, в том числе в трудно-доступных и удаленных (тундра, тайга, горные участки, мелководная часть шельфа и др.). Она апробирована также в Донбасском регионе с целью обнаружения и картирования скоплений свободного газа (метана). Применение данного метода совместно (в комплексе) с наземной геоэлектрической технологией СКИП–ВЭРЗ позволяет существенно сократить как сроки проведения наземных полевых работ, так и их стоимость.

2. В процессе апробации “спутниковой” технологии была отработана дополнительная методика оценки относительных значений среднего пластового давления флюидов в коллекторах [32]. Она дает возможность выделять и картировать в контурах аномальных зон типа “залежь УВ” участки (области) с повышенными значениями пластового давления флюидов, в пределах которых вероятность получения промышленных притоков УВ существенно выше. Практическое применение этой методики оценки относительных значений средних пластовых давлений позволяет еще более сузить области (участки) как проведения детальных поисковых работ первоочередного характера, так и выбора мест расположения поисковых и разведочных скважин.
3. В Донбассе выполнены новые (дополнительные) экспериментальные исследования с целью картирования скоплений свободного газа наземными методами СКИП и ВЭРЗ, а также методом обработки и интерпретации спутниковых данных. Более того, параллельно здесь проведены также полевые работы авторами оригинального комплекса глубинного зондирования Земли “Поиск”, которым осуществляется дистанционная идентификация нефти и коллекторов на глубинах до 5 км. Принцип работы этого комплекса базируется на использовании резонансных явлений в веществе при воздействии радиочастотных излучений на атомы элементов, входящих в состав конкретного вида нефти или пород-коллекторов (спектроскопия методом ядерно-магнитного резонанса (ЯМР)) [15, 37].
4. “Спутниковый” метод предоставил также возможность выполнить обработку данных ДЗЗ и в другом угленосном бассейне – Кузбассе, в пределах шахтного поля угольной шахты “Распадская”.

В результате новые экспериментальные материалы послужили одной из причин появления настоящей, в некотором роде “обобщающей” статьи. Дополнительным поводом к ее написанию можно считать другие объективные обстоятельства, в частности: а) планы и перспективы освоения нетрадиционных ископаемых энергетических ре-

сурсов в Украине [12]; б) новые результаты изучения процессов дегазации Земли в целом и форм ее проявления в конкретных регионах [3–5, 18, 36, 42–43]; в) новые концепции (теории) образования УВ и их роль в выборе направлений поисковых работ [5, 36]; г) эффективные технологии обнаружения и картирования по геофизическим данным малоразмерных и слабоконтрастных аномалий и целевых объектов [14]; д) результаты изучения геологического строения и газоносности Донбасса, перспективы промышленного улавливания и утилизации шахтного метана [1–2, 33, 40–41]; и др.

На некоторых публикациях, в которых рассматриваются и анализируются эти вопросы, целесообразно остановиться ниже.

**Дегазация Земли, образование углеводородов, метан угольных бассейнов.** Изучение и анализ основных проблем и вопросов, связанных с дегазацией Земли, свидетельствуют об огромных масштабах данного явления [3–5, 18, 36, 43, 46]. Многие исследователи полагают, что в настоящее время нельзя изучать генезис и вести поиск залежей нефти и газа без учета возможно абиогенного синтеза УВ. Анализ путей миграции глубинных флюидов, зон разгрузки глубинной энергии предоставляет новые возможности для разработки эффективных стратегий поиска залежей нефти и газа и позволяет нестандартно подойти к оценке запасов углеводородного сырья.

В работах [42, 43] отмечается, что залежи нефти и газа в осадочных чехлах и фундаментах нефтегазовых бассейнов генетически связаны с проницаемыми зонами земной коры и глубинными источниками энергии и вещества.

Согласно геосолитонной концепции нефтегазообразования [5, 36], традиционные методы поисков и разведки, ориентированные на достаточно крупные залежи УВ, малоэффективны для разведки малоразмерных залежей. Авторы концепции делают вывод, что только результаты высококоразрешающей 3D-сейсморазведки могут гарантировать успешное попадание разведочных и эксплуатационных скважин в малоразмерные залежи УВ, которые контролируются отдельными субвертикальными зонами деструкции.

Для выделения и картирования малоразмерных и слабоконтрастных объектов в последнее время широко используются современные технологии “прямого” прогноза залежей УВ на основе атрибутивного анализа волнового поля, базирующиеся на известных кинематических и динамических атрибутах, а также новых информативных атрибутах низкочастотного резонанса сейсмической эмиссии [14]. В технологиях интегрированного анализа геофизических полей одновременно с атрибутами волнового поля применяются различные атрибуты данных несейсмических мето-

дов (гравиметрического, магнитометрического, электрических и электромагнитных).

Автор публикации [19] отмечает насущную необходимость в отработке новых подходов к оценке перспективных нефтегазоносных площадей и обосновании направлений поисково-разведочных работ. Он считает, что методология прогноза должна базироваться на картировании не столько нефтегенерирующих осадочных прогибов, сколько территорий, где возможны каналы подтока глубинных УВ-флюидов и пути их миграции в осадочный чехол (имеется достаточно много фактов, что такие подтоки происходят и ныне). Анализ реальных геологических условий свидетельствует, что эти территории можно не только прогнозировать, но и, создав необходимый поисковый инструментарий, впоследствии детально картировать [19].

В статье [33] обосновывается возможность существования гигантской газовой залежи в отложениях турне-визейского возраста Центрального Донбасса, в комплексе пород, подобных продуктивному нефтегазоносному нижнекарбонному комплексу Днепровско-Донецкой впадины. Содержащая пласты антрацитов осадочная толща среднего карбона рассматривается в качестве ореола этой залежи – приводятся характеристика ее строения, состав пород, концентрации газа. В статье рассмотрены признаки газовых колонн – ряд залежей углеводородов, развитых в нескольких этажах в осадочной толще зон мезо-кайнозойского тектогенеза. Определены два угленосных района, где выявление газовых колонн наиболее вероятно: Донецко-Макеевский и Краснодонский [33].

Причины катастроф, связанных с выбросами угольной пыли и взрывами газов в угольных бассейнах Украины и мира анализируются в работе [7]. Авторы показывают, что кроме субъективных причин, вызванных нарушениями правил безопасности, в богатых метаном угленосных толщах вероятность внезапных притоков и выбросов газов определяется природными факторами, связанными с миграцией глубинных газов. В статье делается вывод, что создание безопасных условий для подземных горных работ на глубоких горизонтах должно базироваться на геологических моделях происхождения глубинного газа и его миграции, а также с привлечением понятия о газовых ореолах.

На необходимости изменить подходы к прогнозу катастрофических выделений (внезапных) и взрывов метана на шахтах акцентирует внимание и автор публикации [6]. Он, в частности, указывает, что случаи выбросов и взрывов метана (смеси газов) в большей степени определяются тектоническими и геофизическими условиями, чем специфичностью свойств того или иного пласта. В тектонических структурах возможно

проникновение глубинных газов в рабочие горизонты месторождений, горных отводов шахт. Это является решающим фактором в накоплении газонасыщенности, газонапряженного состояния угольных пластов и массива горных пород до уровня газоперенасыщенности, газоперенапряженности, приводящей, вкупе с геомеханическими процессами (тектонической и геотехнологической природы), к опасности внезапных газодинамических проявлений [6].

Результаты исследований по проблеме происхождения УВ, а также шахтного метана и связанных с ним проблем свидетельствуют о плодотворности идеи наличия в угленосных бассейнах газов глубинного происхождения. В связи с этим существует вполне объективная целесообразность проанализировать результаты исследований в пределах угольных бассейнов и с данной точки зрения.

**Некоторые проблемы добычи шахтного метана.** Проблема промышленной добычи метана из угольных месторождений (в том числе в Донбассе) в настоящее время весьма актуальна. Это обусловлено многими факторами. Во-первых, угольный метан представляет собой природный энергетический ресурс, наиболее экологически безопасный из ископаемых УВ. Во-вторых, он создает постоянную угрозу безопасности горных работ в шахтах, что требует значительных финансовых, материальных и трудовых затрат для поддержания превентивных мер по защите людей и инженерных сооружений от возможных взрывов и пожаров. В-третьих, метану принадлежит второе (после углекислого газа) место по эффективности поглощения теплового излучения Земли. Наблюдаемые климатические изменения многими специалистами связываются с усилением парникового эффекта, обусловленного в том числе выбросами в атмосферу метана и продуктов сгорания органического топлива. Поэтому проблема улавливания и утилизации парниковых газов (а также метана) затрагивает Украину, ратифицировавшую международный Киотский протокол.

В связи с ростом мирового потребления энергии специалисты делают ставку на метан из угольных пластов и угленосных толщ, который способен частично заменить природный газ. По предварительным оценкам, мировые запасы угольного метана составляют 260 трлн м<sup>3</sup>. Наиболее значительные его ресурсы сосредоточены в КНР, России, США, Австралии, ЮАР, Индии, Польше, Германии, Великобритании и Украине [13].

Проблема комплексного освоения угленосных месторождений Донбасса всесторонне рассмотрена в монографии [1, с. 2]. В ней в результате обобщения материалов геолого-геофизических исследований “расширены и углублены представления о генезисе и развитии структуры региона, газонасыщенности каменноугольных отложений и

условиях сохранения углеводородных газов, их природе и составе, состоянии их нахождения в углях и породах, а также о зональности распределения газов в разрезе”. Обоснованы геологические и методические предпосылки поисков промышленных скоплений метана в нетрадиционных ловушках.

Пионерами и лидерами по добыче шахтного метана являются США, где в последние годы она составила 50 млрд м<sup>3</sup>/год. В США создана технология извлечения из угольных пластов до 60–80 % метана.

В Австралии метан добывают с середины 1990-х годов. В Китае ресурсы угольного метана равны 30–35 трлн м<sup>3</sup>, к 2010 г. там планировалось увеличить его добычу до 10 млрд м<sup>3</sup>. Канадцы ведут экспериментальные работы по извлечению метана в провинции Альберта. Шахтный метан широко используется в двигателях внутреннего сгорания, на шахтах и заводах Великобритании, ФРГ, Чехии и других стран. В 2009 г. российский Газпром начал промышленную добычу метана в Кузбассе. По мнению экспертов, к 2020 г. мировая добыча угольного метана достигнет 78 млрд м<sup>3</sup>/год [13].

Промышленная технология извлечения и утилизации метана разработана и применяется в Украине. Так, “когенерационная станция, построенная за счёт собственных средств коллектива шахты имени А. Засядько, за время эксплуатации с 2006 года переработала более 124 миллионов кубических метров метана, выработала свыше 420 миллионов киловатт электроэнергии и 107 тысяч гигакалорий тепловой энергии. Ежедневно шахтным метаном заправляются до 150 единиц автотранспортных средств” [11].

Следует отметить, что в США для выявления наиболее привлекательных площадей выполняются большие объемы буровых работ с тестированием скважин. К настоящему времени там пробурено уже свыше 20 тыс. скважин. Однако “из 2,5 тыс. скважин, пробуренных в бассейне Сан-Хуан, лишь 600 оказалось эффективными с дебитом метана до 80 тыс. м<sup>3</sup> в сутки” [13].

Последнее обстоятельство свидетельствует, что повышению эффективности существующих технологий извлечения и утилизации шахтного метана в целом может способствовать применение современных геофизических методов для выбора мест расположения дегазирующих и добывающих скважин в пределах шахтных полей. В этом аспекте важную роль на стадии выбора мест для заложения поверхностных скважин могут сыграть так называемые прямые геофизические методы поисков и разведки скоплений УВ. К последним относится и экспресс-технология, включающая СКИП и ВЭРЗ (технология СКИП–ВЭРЗ) [21–25, 45, 51, 53]. Ниже приводятся результаты ее

применения в 2001–2010 гг. для оперативного выявления и картирования зон повышенного скопления свободного метана в пределах шахтных полей Донбасса. Есть основания полагать, что применение мобильных и оперативных геофизических технологий поисков для обнаружения и картирования скоплений свободного газа будет способствовать повышению эффективности современных технологий улавливания и утилизации метана в угольных бассейнах.

**Задачи геоэлектрических исследований.** Основная цель полевых исследований обследованных шахтных полей – выявление участков скопления свободного газа геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ. В процессе проведения работ решались задачи: а) обнаружения и картирования геоэлектрических аномалий типа “залежь” (“залежь газа”) (АТЗ) по данным площадной съемки методом СКИП; б) определения в пределах закартированных АТЗ глубин залегания и мощностей аномально поляризованных пластов (АПП) типа “газ” и “нефть” по данным ВЭРЗ; в) определения оптимальных мест расположения дегазационных скважин; г) оценки возможности применения методов СКИП и ВЭРЗ для поисков скоплений свободного газа (метана) в угленосных формациях.

Основанием для проведения работ с целью обнаружения и картирования зон скопления свободного газа в отдельных участках шахтных полей послужили работы по реализации проектов извлечения и утилизации шахтного метана на угольных шахтах Донбасса [11].

В основе применения экспресс-технологии СКИП–ВЭРЗ на территориях шахт лежат практические результаты ее опытной апробации в 2001–2010 гг. [21–26, 45, 51, 53] в разных регионах Украины, Республики Казахстан, России. Они свидетельствуют, что технология СКИП–ВЭРЗ может успешно применяться при поисках и разведке скоплений УВ (газа, газоконденсата, нефти) в различных тектонических и геологических условиях.

Практическую апробацию на шахтных полях прошли геоэлектрические методы СКИП, ВЭРЗ и низкочастотного естественного электромагнитного поля Земли (НЧ ЕЭМПЗ). Полевые измерения съемкой методом СКИП проводились для обнаружения и картирования зон скопления свободного газа. Методом ВЭРЗ определялись глубины залегания и мощности АПП типа “газосодержащие пласты”. Метод НЧ ЕЭМПЗ использовался в некоторых ситуациях для выделения и картирования участков малоамплитудных тектонических нарушений.

**Результаты геоэлектрических исследований.** *Шахта им. А.Ф. Засядько.* В 2001 г. на начальном этапе применения методов СКИП и ВЭРЗ

для поисков скоплений УВ они впервые использовались на шахте им. А.Ф. Засядько (г. Донецк) для выделения и оконтуривания участков скопления газа и определения оптимальных мест заложения дегазационных скважин [20, 28].

Разработка угольных пластов на этой шахте ведётся на глубинах, превышающих 1000 м. Здесь проводятся подземная дегазация массива в отработываемой зоне, откачка газа из выработанного пространства и дегазация подработанного массива дегазационными скважинами, пробуренными с поверхности.

Практический опыт показывает, что до выполнения очистных работ массив практически газа не отдает. Это, возможно, обусловлено низкой газопроницаемостью углей. И только после нарушения естественного состояния массива выработками выделяется газ метан, начинают работать подземные и поверхностные дегазационные скважины. Около 30 % поверхностных дегазационных скважин газ практически не отводят, скорее всего, вследствие того что они пробурены в зонах с очень низкой газоносностью массива. Поэтому экономически целесообразно заблаговременное выявление зон повышенной газоносности дистанционными геофизическими методами.

По данным съемки методом СКИП построена карта относительного геоэлектрического сопротивления пород для интервала глубин 1100–1300 м (рис. 1). Красными участками на карте отображены зоны максимумов геоэлектрического сопротивления, которые для данного разреза обусловлены относительным увеличением содержания газа в породах. Наиболее интенсивные аномалии типа “залежь газа” проявились над 15-й Западной лавой и в центральной части 16-й Западной лавы.

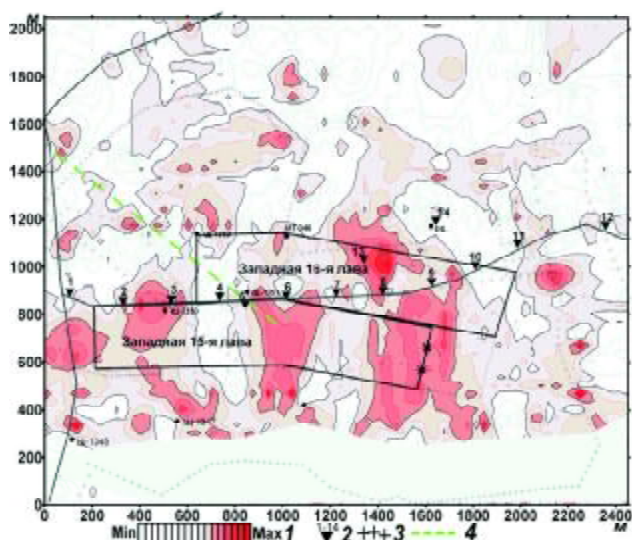


Рис. 1. Карта зон повышенного геоэлектрического сопротивления пород в интервале глубин 1100–1300 м в районе 15-й и 16-й Западных лав шахты им. А.Ф. Засядько: 1 – шкала относительного сопротивления пород; 2 – точки ВЭРЗ; 3 – точки наблюдений; 4 – сейсмический профиль

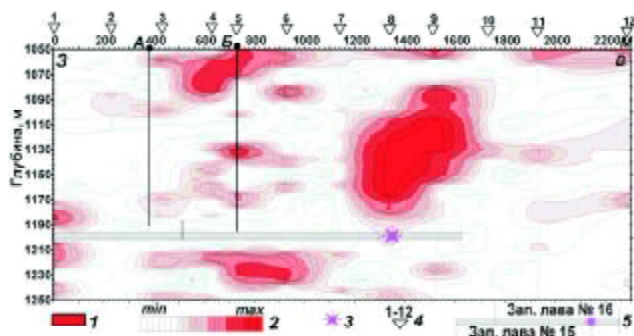


Рис. 2. Геоэлектрический разрез в интервале глубин 1150–1250 м участка 16-й Западной лавы шахты им. А.Ф. Засядько: 1 – предполагаемые участки повышенной газонасыщенности пород; 2 – шкала относительного электрического сопротивления пород; 3 – проекция на профиль участка забоя 15-й Западной лавы; 4 – точки ВЭРЗ; 5 – положение лав; А, Б – скважины

На рис. 2 приведены результаты зондирования ВЭРЗ над участком 15-й Западной лавы шахты. Зоны повышенного геоэлектрического сопротивления, отмеченные на разрезе красным цветом, могут быть обусловлены локальными повышениями содержания газа в породах разреза. Локальные участки такого повышения обнаружены как сверху, так и снизу угольной толщи. Зона максимального газонасыщения расположена над угольным пластом 15-й Западной лавы.

В целом результаты первых экспериментальных работ показали, что технология СКИП–ВЭРЗ может использоваться для: а) определения и картирования участков повышенного скопления газа в интервале глубин заложения шахтных лав; б) оценки глубины залегания и построения вертикальных разрезов распределения газонасыщенных пород; в) предварительной оценки запасов газа; г) определения мест оптимального заложения скважин дегазации; д) нахождения интервалов глубин, на которых целесообразно проводить работы по интенсификации добычи газа.

Позже в пределах закартированной в 2001 г. геоэлектрической аномалии была пробурена скважина, из которой на протяжении шести последних лет (и в настоящее время) получают относительно высокие притоки свободного газа.

**Шахта им. М.И. Калинина.** Геоэлектрические исследования шахтного поля проведены в 2005 г. [24, 28, 49]. Аномальные зоны повышенного газонасыщения над шахтным полем, закартированные съемкой методом СКИП, соединены в три полосы (рис. 3). Первая аномальная полоса расположена на северо-востоке шахтного поля и продолжается на север и восток за пределы выработки по пласту  $h_{10}$ . При продолжении выработок в этих направлениях возможны выбросы угольного газа. Вторая полоса пересекает шахтное поле с юга на север. Она объединяет отдельные аномальные зоны и является наибольшей по интенсивности и

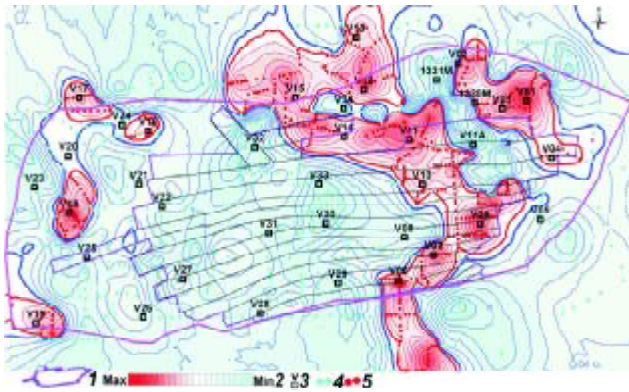


Рис. 3. Карта-схема аномалий СКИП типа “залежь газа”: 1 – контуры выработки по пласту  $h_{10}$ ; 2 – шкала интенсивности аномалий СКИП (аномалии типа “газонасыщенный пласт” – красный цвет); 3 – пункт ВЭРЗ; точки СКИП: 4 – отрицательных значений, 5 – положительных значений

размерам. Третья полоса расположена на западе шахтного поля и представлена отдельными небольшими локальными аномалиями за пределами шахтной выработки по пласту  $h_{10}$ .

Зондирование в границах шахтного поля проведено в 36 точках, в том числе в точках размещения забоев двух буровых скважин. Точки зондирования расположены как в границах закартированных аномальных полос, так и вне их контуров (рис. 3). Зондированием определялись интервалы залегания и мощности АПП типа “газонасыщенный пласт” и “угольный пласт”. В целом данные ВЭРЗ хорошо коррелируются с данными съемки методом СКИП. Так, анализ показал, что суммарная мощность газонасыщенных пластов в точке 18 (в пределах контура аномалии типа “залежь”) достигает 140 м, что значительно больше мощности такого же пласта в точке 21 (за пределами контура аномалии) (всего 20 м). Укажем также, что в точках зондирования 30, 32, 33, расположенных в зонах минимальных значений аномалий СКИП, газонасыщенные пласты методом ВЭРЗ не выявлены вообще, а в точках 29 и 34 их мощность равна 1,0 и 3,5 м соответственно.

По данным зондирования вдоль отдельных профилей построены три схематических геолого-геофизических разреза шахтного поля: профиль 1 проходит через точки ВЭРЗ 2–4 (рис. 4); профиль 2 – через точки 6, 7, 10–13; профиль 3 – через точки 5, 9, 10, 14, 15. Дополнительно по данным ВЭРЗ построена серия схематических карт: а) глубин кровли угольного пласта  $h_{10}$ ; б) мощности газонасыщенных пластов, примыкающих: к кровле и подошве пласта  $h_{10}$ , только к кровле этого пласта и только к его подошве [24].

Материалы геоэлектрических исследований (карты, разрезы, диаграммы и колонки зондирования) показывают, что наибольшие мощности газонасыщенных пород фиксируются в восточной

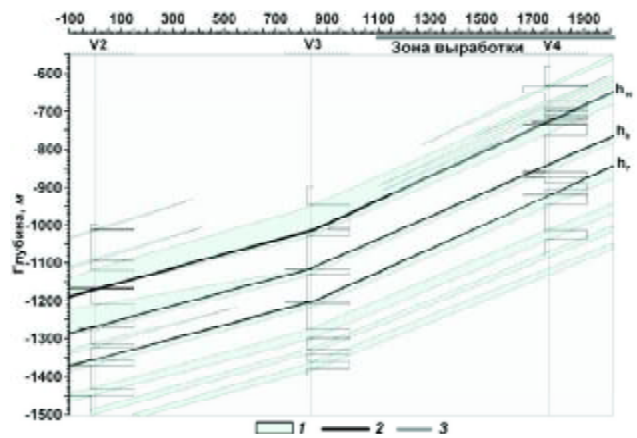


Рис. 4. Схематический геолого-геофизический разрез зон повышенного газонасыщения в интервале залегания угольных пластов  $h_{10}$ ,  $h_8$ ,  $h_7$  вдоль профиля 1 через точки ВЭРЗ V2, V3, V4: 1 – пласты повышенного газонасыщения; 2 – угольные пласты; 3 – зона выработки

части шахтного поля. Карты мощности по данным метода ВЭРЗ совпадают с таковыми по данным метода СКИП. Максимальные мощности пород с содержанием свободного газа расположены в пределах трех полос аномальных зон, выделенных методом СКИП.

По данным зондирования установлено, что газонасыщенные зоны в границах горной выработки расположены преимущественно над кровлей угольного пласта, их мощность достигает здесь 40–50 м. В зонах залегания угольного пласта, не нарушенного горной выработкой, газонасыщенные толщи залегают как над его кровлей, так и снизу под угольным пластом. Зоны газонасыщения выделены в пределах угольных пластов  $h_{10}$ ,  $h_8$ ,  $h_7$  и ниже пласта  $h_7$ .

Полученные результаты учитывались при разработке рекомендаций относительно развития дегазационной системы на шахте, методов извлечения газа, построения сети дегазационных скважин.

**Шахта “Суходольская-Восточная”.** В 2005 г. с использованием технологии СКИП–ВЭРЗ геоэлектрические работы проведены на площади шахтного поля шахты “Суходольская-Восточная” ОАО “Краснодонуголь” [2, 28, 50]. Площадь работ (около 75 км<sup>2</sup>, 15×5 км) расположена северовосточнее г. Краснодон (Луганская обл.) и вытянута в широтном направлении.

Съемкой методом СКИП в пределах шахтного поля закартировано шесть локальных зон типа “зона повышенного газосодержания” (рис. 5). Они проявляются как аномалии повышенной поляризации и повышенного геоэлектрического сопротивления пород разреза. Для угольного разреза эти аномалии связаны со скоплениями свободного метана в тектонически ослабленных зонах при том условии, что вышележащие отложения экранируют залежи газа.

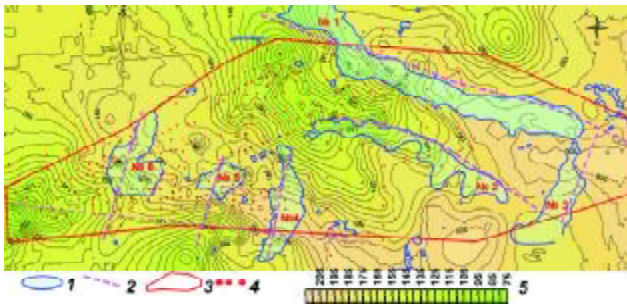


Рис. 5. Карта аномальных зон и тектонических нарушений на топографической основе местности шахты «Суходольская-Восточная»: 1 – аномальные зоны типа «скопления свободного метана» 1–6; 2 – тектонические нарушения; 3 – контур шахтного поля; 4 – скважины; 5 – шкала абсолютных отметок рельефа местности, м

*Аномалия 1* (7,0×0,8 км) самая интенсивная, она вытянута вдоль Дуванного надвига и расположена в его лежачем крыле (рис. 5). Максимальные значения поля СКИП зафиксированы в восточной и центральной частях зоны. Интервалы газосодержащих пластов определены зондированием ВЭРЗ в точках 2–6, 15. В интервале глубин 350–1000 м разреза выделено несколько АПП типа «газосодержащий пласт». Средняя мощность пластов 8–10 м, наиболее мощные АПП расположены в интервалах глубин, м: 742–762 ( $H = 20$  м), 763–773 ( $H = 10$  м), 835–846 ( $H = 11$  м), 938–948 ( $H = 10$  м), 1030–1041 ( $H = 11$  м). Максимальная суммарная мощность «газосодержащих пластов» ( $H = 116$  м, точка ВЭРЗ 3) зафиксирована в южной части аномальной зоны, примыкающей к надвигу (рис. 5). В северном направлении мощность АПП постепенно уменьшается: точка ВЭРЗ 4 –  $H = 82$  м; точка ВЭРЗ 5 –  $H = 57$  м.

На геоэлектрическом разрезе в зоне лежачего крыла фиксируется небольшая антиклинальная складка. В районе аномалии 1 скопление свободного метана может быть обусловлено комбинированной ловушкой, антиклинального типа и тектонически экранированной, сформированной Дуваным надвигом. Эта ловушка в интервале 500–2500 м может содержать промышленные запасы газа. По данным СКИП и ВЭРЗ в лежачем крыле Дуванного надвига рекомендованы точки оптимального расположения скважин для добычи газа.

*Аномалия 2* (7,0×0,25 км) слабой интенсивности закартирована в 2 км севернее Дуванного надвига, она простирается практически параллельно аномалии 1 (рис. 5). Свободный газ аккумулируется здесь в тектонически экранированной ловушке. Зондированием в точке ВЭРЗ 7 выделено четыре пласта с максимальной мощностью  $H = 14$  м (478–492 м). В районе угольного пласта мощности АПП не превышают 1,0–1,5 м.

*Аномалия 3* (2,0×0,8 км) расположена на западной окраине г. Суходольск, вытянута в субме-

ридиональном направлении и ортогональна к Дуванному надвигу (рис. 5). В северном направлении аномалия выходит за пределы шахтного поля шахты «Суходольская-Восточная».

*Аномалия 4* (3,0×0,35 км) обнаружена на северной стороне шахтного поля, вытянута в субмеридиональном направлении (рис. 5). Она обусловлена скоплением свободного газа в тектонически экранированной ловушке. В интервале глубин 400–1000 м в точках ВЭРЗ 8, 10, 11 выделено шесть АПП типа «газосодержащий пласт». Наиболее мощные АПП расположены в интервалах глубин, м: 710–720 ( $H = 10$  м), 985–995 ( $H = 10$  м), 1074–1085 ( $H = 11$  м). Суммарные мощности «газосодержащих пластов»:  $H = 48$  м (точка 11),  $H = 41$  м (точка 10).

*Аномалия 5* (1,0×1,0 км) расположена северо-западнее главного ствола шахты «Суходольская-Восточная» (рис. 5). В пределах зоны работает дегазационная скважина. В интервале глубин 150–1000 м в точке ВЭРЗ 9 выделено шесть АПП типа «газосодержащий пласт». В районе угольного пласта зафиксированы АПП на глубинах, м: 950–956 ( $H = 6$  м), 1047–1060 ( $H = 13$  м). Суммарная мощность АПП в точке ВЭРЗ 9 –  $H = 50$  м.

*Аномалия 6* (2,0×1,0 км) закартирована в восточном крыле шахтного поля, она вытянута в субмеридиональном направлении. Здесь пробурены дегазационные скважины, которые дают притоки газа. В пределах аномалии зондированием в точках 1, 12–14 выделено шесть АПП типа «газосодержащий пласт». Наиболее мощные пласты расположены над кровлей угольного пласта (1042–1061 м,  $H = 19$  м) и ниже его подошвы (1225–1245 м,  $H = 20$  м). Максимальная суммарная мощность АПП в точке ВЭРЗ 12 –  $H = 53$  м. (рис. 6).

В пределах шахтного поля шахты «Суходольская-Восточная» по результатам геофизических работ выделена система субширотных и субмеридиональных тектонических нарушений. Основное тектоническое нарушение – Дуваный надвиг субширотного простираения. В его лежачем крыле сформирована небольшая антиклинальная зона, которая хорошо проявляется на карте кровли угольного пласта. Параллельно надвигу в северном направлении выявлены два мелкоамплитудных нарушения. Вдоль одного из них образована геоэлектрическая аномалия 2. Субмеридиональные нарушения образуют ослабленные тектонические зоны, к которым приурочены геоэлектрические аномалии 3–6. В выделенных зонах повышенного содержания метана рекомендованы оптимальные места для бурения дегазационных скважин.

По данным геоэлектрических исследований подсчитаны запасы свободного метана: «в границах поля шахты «Суходольская-Восточная» выде-

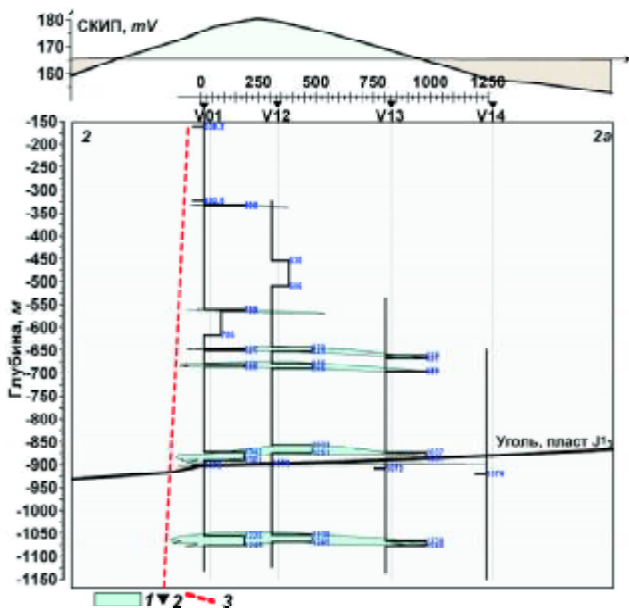


Рис. 6. Вертикальный геоэлектрический разрез через аномалию 6 в пределах шахтного поля шахты “Суходольская-Восточная” по профилю 2–2а: 1 – АПП типа “газосодержащий пласт”; 2 – точка ВЭРЗ; 3 – тектоническое нарушение

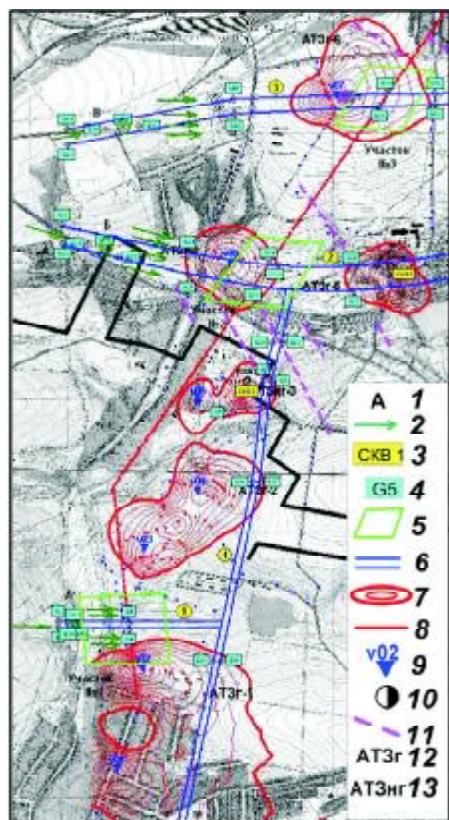


Рис. 7. Контуры геоэлектрических аномалий типа “залежь” на топографической карте участка шахтного поля [37, с. 640]: 1 – газопроницаемые участки; 2 – направление потоков газа; 3 – дегазационная скважина и ее номер; 4 – точка регистрации информации; 5 – взрывоопасный участок; 6 – предполагаемые каналы миграции газа; 7 – зоны скопления свободного газа; 8 – профиль проведения работ; 9 – станция ВЭРЗ и ее номер; 10 – скважина дегазации; 11 – мелкоамплитудное тектоническое нарушение по геофизическим данным; аномалии: 12 – типа “газовая залежь”, 13 – “нефтегазовая залежь”

лено 6 локальных зон, в которых содержится от 18 до 27 млн м<sup>3</sup> свободного метана. В пределах двух зон скопления свободного метана были пробурены дегазационные скважины, из которых до подхода горных работ наблюдалось интенсивное газовыделение, чем подтверждается точность определения аномальных зон” [2, с. 195].

**Экспериментальные исследования в Донбассе в 2009 г.** Особенность полевых геоэлектрических работ 2009 г. состоит в том, что они проведены на одном из участков шахтного поля после обследования данной территории методом ЯМР с применением аппаратного комплекса “Поиск” [15, 37]. Некоторые результаты исследований представлены на рис. 7, заимствованном из публикации [37].

По данным съемки SKIP в пределах участка работ выделены аномальные зоны типа “залежь газа” (“нефти”): АТЗг – зона скопления свободного газа; АТЗнг – зона скопления нефти и газа. Всего обнаружено и зартировано шесть аномальных зон, которые на рис. 7 обозначены в следующем порядке с юга на север: АТЗг-1 (полностью не оконтурена), АТЗг-2 (1,2×0,5 км<sup>2</sup>), АТЗнг-3 (0,7×0,3 км<sup>2</sup>), АТЗг-4 (0,7×0,5 км<sup>2</sup>), АТЗг-5 (0,6×0,5 км<sup>2</sup>), АТЗг-6 (1,0×0,8 км<sup>2</sup>).

При проведении ВЭРЗ в разрезе выделены интервалы глубин залегания аномально поляризованных пластов типа “газ” (АППг), “нефть” (АППн) и “обводнённый горизонт с содержанием газовых фракций” АППвг. Зондированием в интервале глубин 500–4000 м с шагом 1,0 м в пределах каждой аномальной зоны определены глубины залегания и мощности основных газосодержащих горизонтов. Наличие АППг установлено до глубины 3200 м. Далее, до глубины 4000 м, в точках зондирования признаков АППг не обнаружено. На рис. 8 представлен схематический разрез верхней части интервала зондирований (интервал глубин 200–1400 м).

Нефте-содержащие пласты выявлены в пределах аномальной зоны АТЗнг-3 (см. рис. 7). В остальных зонах установлено наличие АППг и АППвг.

Аномальная зона АТЗг-6 в северной части участка работ – наиболее крупная и интенсивная. В центральной части аномалии зондированием (станция 7) установлена максимальная суммарная мощность АППг на всем участке работ – 254 м. Выделено четыре основных горизонта газопроявления. По геоэлектрическим данным, эта точка наиболее перспективна для заложения скважины для добычи метана. В этом же месте рекомендовано бурение скважины по данным исследований методом ЯМР.

Отметим также, что в пределах аномалии АТЗг-1 в интервале глубин 1182–1240 м выявлена крупная зона повышенного газонасыщения пород угольного разреза. Ранее в этом месте про-



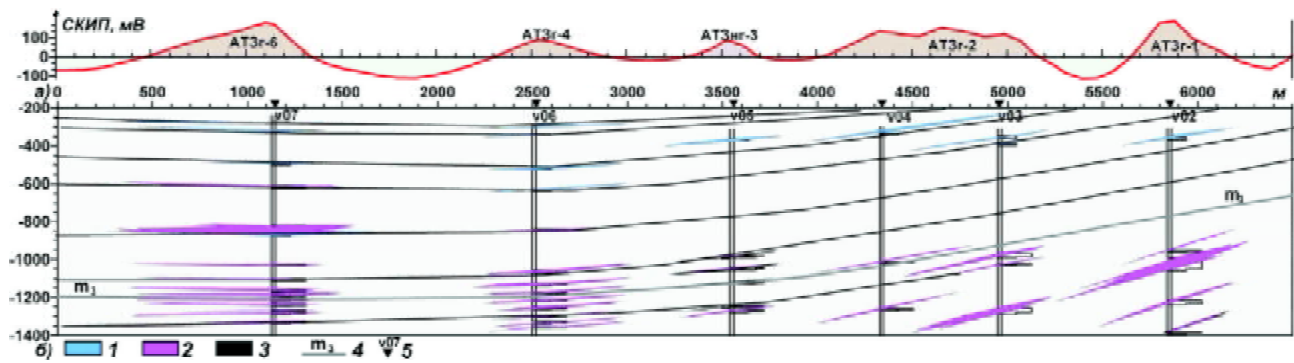


Рис. 8. Вертикальный разрез по профилю в пределах горного отвода шахты: а – график значений поля СКИП; б – вертикальный разрез аномально поляризованных пластов (АПП): 1 – АППвг (типа “вода + газ”); 2 – АППсг (“свободный газ”); 3 – АППн (“нефть”); 4 – угольный пласт; 5 – станция ВЭРЗ

изошел взрыв метана. Данный участок аварийно опасен, требуется дополнительное обследование для оконтуривания зоны возможного выброса газа в горные выработки.

**Картирование в Донбассе скоплений метана по спутниковым данным.** Выше отмечалось, что в конце 2009 г. авторы начали апробацию специальной методики обработки и интерпретации спутниковых данных с целью прямых поисков скоплений УВ, а также рудных полезных ископаемых [29, 30]. В начале 2010 г. “спутниковая” технология впервые использовалась в регионе для обра-

ботки отдельного участка площадью свыше 900 км<sup>2</sup> в районе г. Донецк [29]. На этом участке пробурена скважина, в которой зафиксированы выбросы газа в скважину непосредственно на глубинах 2780 и 2880 м.

На обследованной территории работ по результатам обработки данных ДЗЗ выделены аномальные зоны (участки) (рис. 9), с которыми могут быть связаны скопления свободного газа. Размеры наиболее крупных аномальных зон, км<sup>2</sup>: 7,0×5,0; 5,0×3,0; 4,0×2,5; 4,5×2,0; 3,6×2,0; 4,0×2,0; 4,0×2,0; 2,5×2,5. Зафиксировано также значительное количество небольших аномальных зон, расположенных вдоль отдельных линий, которые скорее всего могут быть связаны с тектоническими нарушениями. Скважина, в которой зафиксированы выбросы газа, попадает в одну из выявленных аномальных зон, однако не в ее центре.

На этой же площади апробирована методика оценки относительных значений среднего пластового давления [32]. По результатам экспериментальной оценки выполнено ранжирование выделенных по спутниковым данным аномальных зон по относительной величине пластовых давлений (на рис. 9 оно отмечено дополнительными цифрами возле отдельных аномальных зон: цифра 0 указывает на минимальные (нулевые) значения среднего пластового давления, цифра 3 – на максимальные).

В пределах аномальных зон с повышенными значениями пластового давления имеется более высокая вероятность получить повышенные (промышленные) притоки газа.

В 2010 г. в Донбассе на небольшом участке размерами 11,0×13,0 км выполнены наземные геоэлектрические работы методами СКИП и ВЭРЗ. Однако до начала проведения полевых работ указанными методами спутниковые данные масштаба 1 : 50 000 этой площади были также обработаны по специальной методике с целью обнаружения и картирования аномальных зон типа “скопление свободного газа” (рис. 10), а также последующего сопоставления этих материалов с результатами наземных измерений (рис. 11).

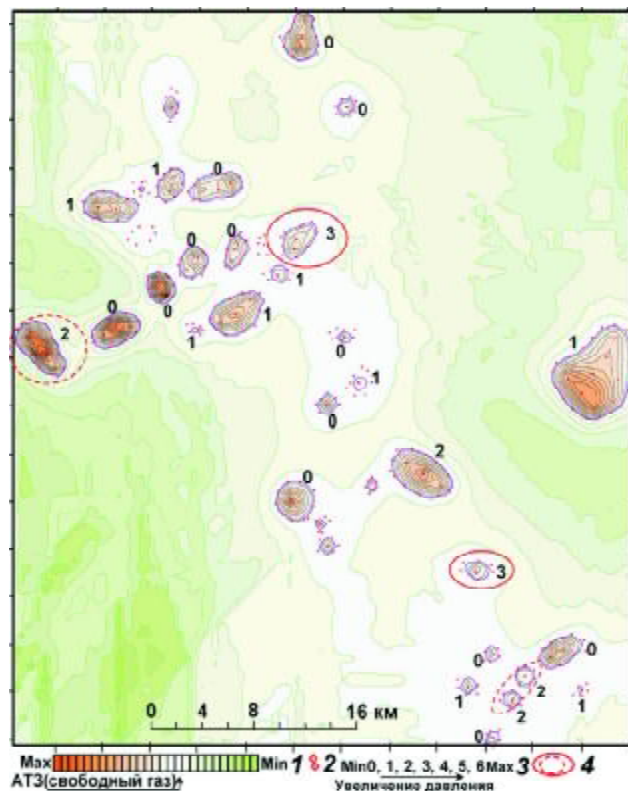


Рис. 9. Карта аномальных зон типа “залежь свободного газа” фрагмента территории Донецкого складчатого сооружения (по результатам обработки данных ДЗЗ): 1 – шкала интенсивности аномального отклика; 2 – пункты регистрации отклика; 3 – градация аномальных зон по относительной величине среднего пластового давления газа; 4 – наиболее перспективные участки поисков скоплений свободного газа с учетом относительных пластовых давлений

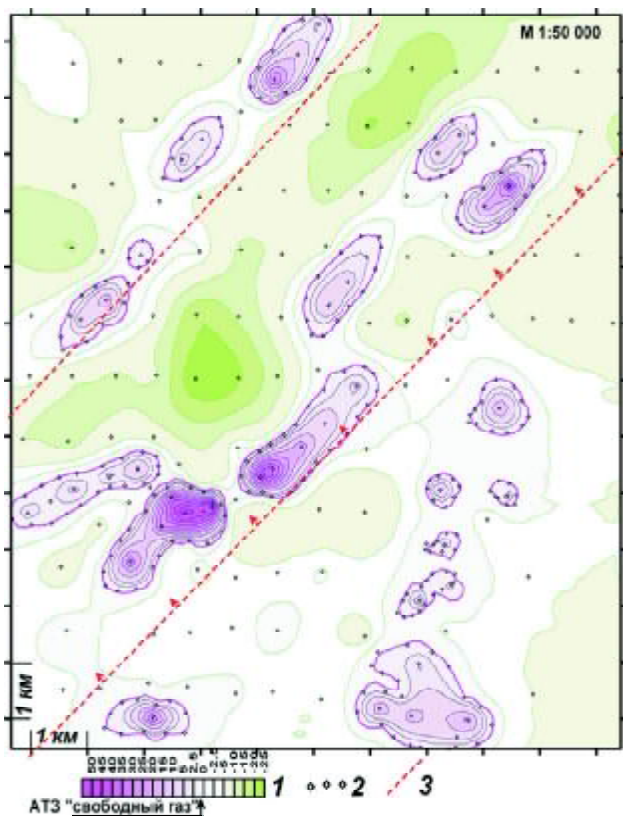


Рис. 10. Карта аномалий типа “зона скопления свободного газа” в разрезе угольных отложений в районе фрагмента шахтного поля в Донбассе (по результатам обработки данных ДЗЗ): 1 – шкала интенсивности аномального отклика; 2 – пункты определения отклика; 3 – тектоническое нарушение (надвиг)

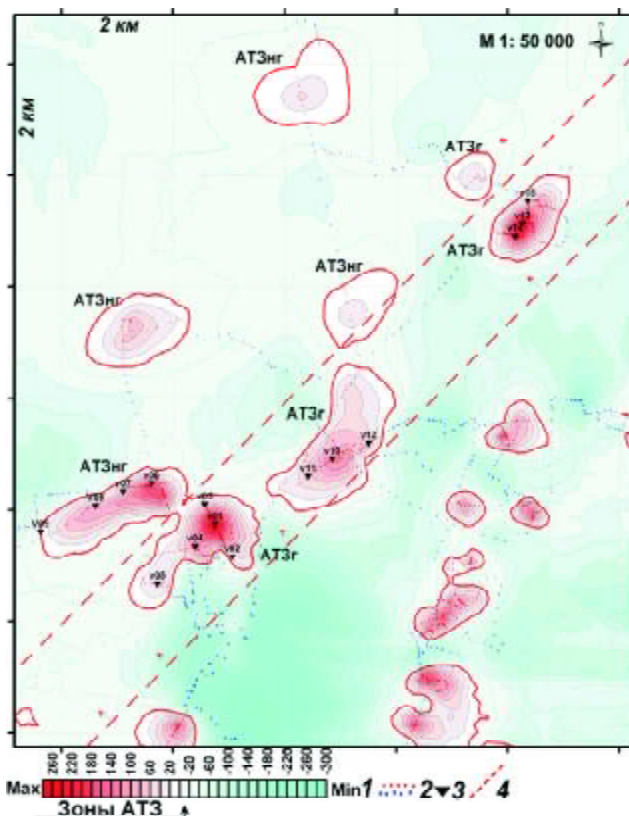


Рис. 11. Карта геоэлектрических аномалий типа “залежь” (АТЗ) в районе фрагмента шахтного поля в Донбассе (по данным наземной съемки методом СКИП): 1 – шкала интенсивности АТЗ; 2 – точки съемки методом СКИП; 3 – пункт ВЭРЗ; 4 – зона тектонических нарушений по геоэлектрическим данным (надвиг)

В целом можно констатировать хорошую корреляцию “спутниковых” и “наземных” аномалий типа “залежь”.

**Шахта “Распадская” (Кузнецкий угольный бассейн, Россия).** Положительные результаты апробации технологии обработки данных ДЗЗ в Донбассе с целью установления возможности обнаружения и картирования зон скопления свободного газа (метана) продемонстрировали целесообразность проведения такого же рода экспериментов и в других угольных бассейнах. В мае 2010 г. в Кузбассе осуществлены обработка и интерпретация спутниковых данных рекогносцировочного характера участка расположения угольной шахты “Распадская”. В пределах обследованного фрагмента территории обнаружено и закартировано 15 аномальных зон типа “зона скопления свободного газа” различного размера и интенсивности (рис. 12). Одна из аномальных зон закартирована непосредственно в пределах расположения шахтного ствола, две другие – недалеко от него.

Закартированные аномалии целесообразно сопоставить с положением шахтных выработок и имеющимися геолого-геофизическими материалами. Не исключается возможность попадания ме-

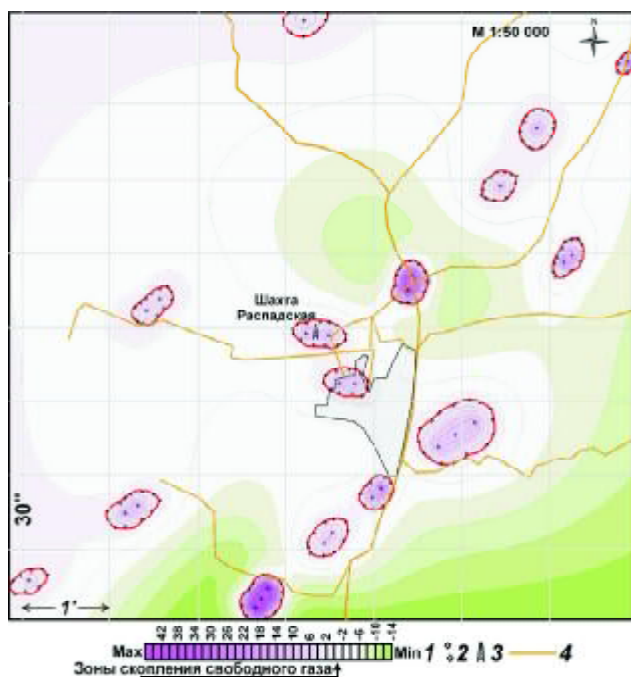


Рис. 12. Схематическая карта аномалий типа “зона скопления свободного газа” в разрезе в районе шахтного поля угольной шахты “Распадская” (Кузбасс, Россия), построенная по результатам обработки данных ДЗЗ: 1 – шкала интенсивности значений аномального отклика; 2 – пункты регистрации отклика; 3 – положение ствола шахты (?); 4 – дорога

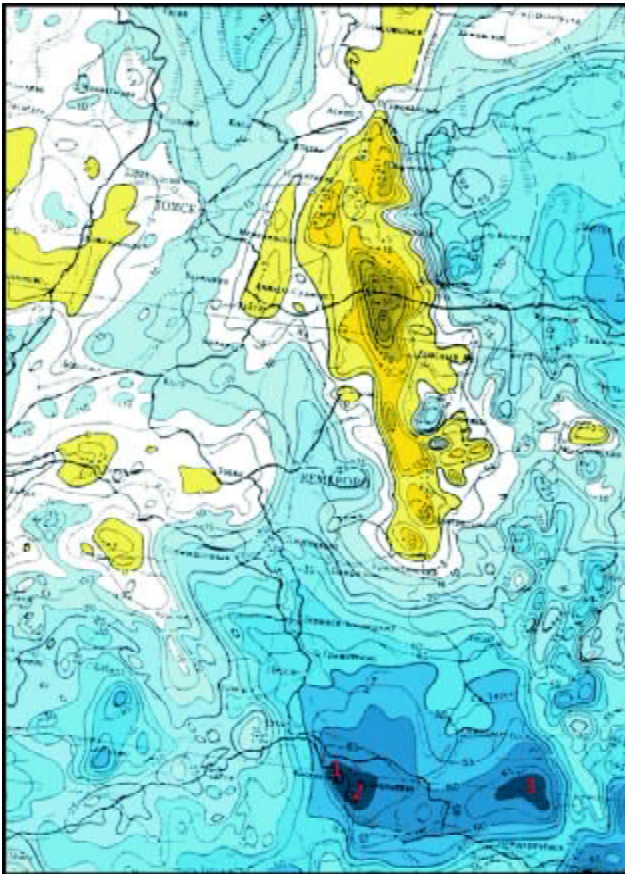


Рис. 13. Карта гравитационного поля в районе Кузбасса [36]. Угольные поля (красные цифры): 1 – Киселевское, 2 – Прокопьевское, 3 – Междуреченское

тана в шахтные выработки из участков его скопления в аномальных зонах.

Согласно карте гравитационного поля Кузбасса [36], угольные поля (в том числе шахта “Распадская”) расположены в зоне интенсивных минимумов поля, в пределах которых можно ожидать активизацию геосолитонных механизмов выноса вещества (в том числе УВ) из глубинных горизонтов Земли (рис. 13).

**Основные результаты исследований.** Практический опыт применения технологии СКИП–ВЭРЗ и метода обработки и интерпретации (дешифрирования) данных ДЗЗ в Донбасском угольном бассейне, а также в Кузбассе позволяет констатировать следующее.

1. В пределах шахтных полей Донбасса и Кузбасса имеются отдельные участки со значительными скоплениями свободного газа (метана). Мобильные геофизические методы (геоэлектрические и “спутниковые”) предоставляют дополнительную и, главное, независимую информацию о зонах скопления свободного газа в шахтных полях. Материалы геоэлектрических исследований и результаты обработки данных ДЗЗ позволяют оптимизировать дегазационные мероприятия, увеличить каптаж метана через шахтную дегазационную систему и по-

высить безопасность работ. Они могут использоваться различными службами шахты: а) при составлении паспортов горно-геологического прогноза выемочных участков по местонахождению шахтного метана; б) для эффективного ведения дегазации на шахте; в) для безопасного ведения горных работ; г) при проектировании, установке и эксплуатации оборудования по утилизации метана и систем дегазации.

2. Приведенные материалы дают право предположить, что в определенных геолого-тектонических условиях (в зонах развития надвигов и разломов, в частности) в угольных бассейнах могут формироваться микроместорождения свободного газа (метана). В статье [17] также акцентируется внимание на том, что наибольший интерес при поисках промышленных скоплений метана представляют структурные и структурно-тектонические ловушки. Здесь же отмечается, что в угленосной толще Донецко-Макеевского района основные объемы свободного метана контролируются структурами тангенциального сжатия (складками продольного изгиба, флексурами и оползневыми зонами).
3. Практическая апробация методики обработки и дешифрирования данных ДЗЗ показывает, что эта технология может найти широкое применение как для обнаружения и картирования участков скопления свободного газа (метана), так и для поисков и разведки месторождений нефти и газа в угленосных бассейнах. Обнаруженные и закартированные по спутниковым данным аномалии типа “зоны скопления свободного газа” могут быть оперативно заверены наземной геоэлектрической съемкой методом СКИП. Глубины и мощности газонасыщенных горизонтов могут быть определены зондированием ВЭРЗ. В целом технология обработки и дешифрирования данных ДЗЗ может эффективно использоваться в комплексе с наземными геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ, которые позволяют оперативно выявлять и картировать зоны свободного метана, а также определять глубины их залегания.
4. Зоны скопления свободного газа занимают относительно небольшую часть шахтных полей (по геоэлектрическим данным и результатам дешифрирования данных ДЗЗ).
5. При подходе горных выработок к обнаруженным и закартированным аномальным зонам в их пределах необходимо проводить дегазационные мероприятия.
6. В шахтных полях практические работы по добыче и утилизации шахтного метана целесообразно начинать в пределах обнаруженных и закартированных аномалий типа “зона скопления свободного газа (метана)”.

**О перспективах обнаружения и картирования скоплений газа в сланцах.** Вполне понятно, что положительные результаты апробации мобильных геофизических технологий для картирования скоплений свободного газа (метана) в угольных бассейнах предопределили постановку вполне конкретной задачи изучения их возможностей при картировании скоплений сланцевого газа. И подобного рода эксперименты начали проводиться.

Так, в работе [16] анализируются результаты практического применения дистанционного комплекса “Поиск” для обнаружения и оконтуривания газовых скоплений в сланцевых породах, определения количества газоносных горизонтов, их мощностей, глубин залегания и давления газа в них, а также путей миграции газа в сланцевых породах.

На одной из обследованной этим комплексом площади (128 км<sup>2</sup>, штат Техас, США) установлено, что аномалии типа “залежь газа” фиксируются не по всей площади распространения сланцевых пород, а только на отдельных участках с повышенной трещиноватостью пород (выявлено 25 аномалий площадью от 0,1 до 3,1 км<sup>2</sup>, общая площадь аномалий 7,2 км<sup>2</sup>).

Карта-схема расположения аномальных зон в пределах обследованного участка приводится в работе [37, с. 639]. Газовые скопления залегают в шести горизонтах на глубинах от 800 до 2500 м, мощности каждого горизонта составляли ~60 м, давление газа в них распределено равномерно в пределах 5,5–6,0 МПа.

Полевыми работами установлено, что все аномалии соединены между собой узкими (15–20 м шириной) коллекторами в трещиноватых породах с двумя более крупными “газовыми залежами” в интервале глубин 3,5–3,65 км и давлением газа ~60 МПа, расположенными в 1,5–2,0 км западнее лицензионной площади. Бурением установлено, что эти газовые залежи (с давлением 62 МПа, общей площадью 7,24 км<sup>2</sup> и коллектором мощностью 150 м) более перспективны для разработки, чем все другие аномалии в сланцевых породах, пригодные для разработки.

Дополнительно для наиболее оптимальных аномальных зон, выделенных с использованием комплекса “Поиск” [16, 37, с. 639], авторами статьи проведены обработка и интерпретация данных ДЗЗ относительно крупного (1 : 10 000) масштаба (рис. 14–17) с целью детального картирования выявленных АТЗ.

Так, в пределах первого (северного) участка закартирована аномальная зона типа “залежь газа” северного простирания. В ее контуре зафиксированы также три локальные (близкие к изометричным) зоны с существенно повышенными значениями среднего пластового давления – “южная”, “центральная”, “северная”. “Северная” зона

простирается за пределы участка в северном направлении (рис. 14).

На первом участке закартирована также аномальная зона типа “залежь нефти” (рис. 15). Однако ее площадь меньше площади аномальной зоны типа “залежь газа” – зафиксирована только в центре участка. Тем не менее эта аномалия вполне удовлетворительно коррелируется с “южной” и “центральной” зонами повышенного пластового давления аномалии типа “залежь газа”. В пределах “северной” зоны повышенного давления аномальная зона типа “нефть” не обнаружена.

Следует отметить, что скважина (рис. 14, 15) первого участка бурилась и на нефть. Однако получить ее притоки при испытаниях скважины не удалось, возможно, вследствие того что она попала в область относительно слабых значений аномального отклика аномалии типа “залежь нефти” (рис. 15). Поскольку скважина оказалась в зоне высоких значений пластового давления (см. рис. 14), в процессе ее бурения ввиду постоянного поступления газа была увеличена более чем в 2 раза плотность бурового раствора. Это

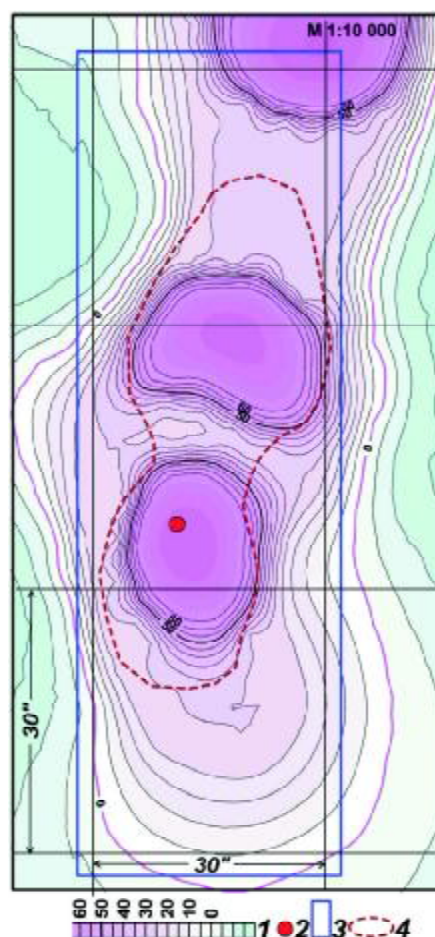


Рис. 14. Карта аномальных зон типа “газ” первого нефтегазоперспективного участка в районе поисков сланцевого газа (Техас, США), по результатам обработки данных ДЗЗ: 1 – шкала интенсивности аномального отклика в значениях среднего пластового давления (МПа); 2 – пробуренная скважина; 3 – контур участка; 4 – контур АТЗ типа “нефть”

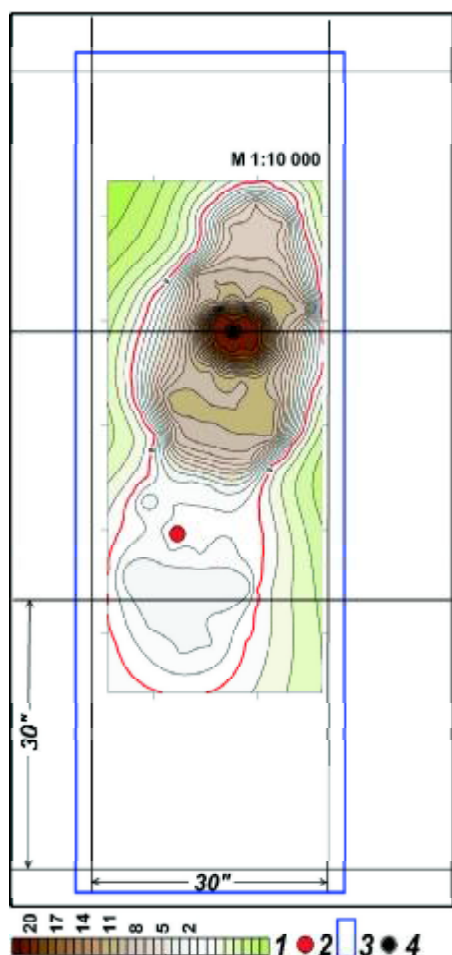


Рис. 15. Карта аномальных зон типа “нефть” первого нефтегазоперспективного участка в районе поисков сланцевого газа (Техас, США), по результатам обработки данных ДЗЗ: 1 – шкала интенсивности аномального отклика; 2 – пробуренная скважина; 3 – контур участка; 4 – точка ВЭРЗ

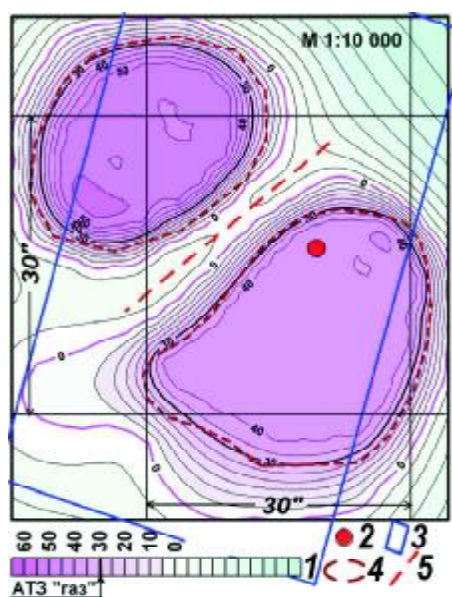


Рис. 16. Карта аномальных зон типа “газ” второго нефтегазоперспективного участка в районе поисков сланцевого газа (Техас, США), по результатам обработки данных ДЗЗ: 1 – шкала интенсивности аномального отклика в значениях среднего пластового давления (МПа); 2 – запроектированная скважина; 3 – контур участка; 4 – контур АТЗ типа “нефть”; 5 – тектоническое нарушение

вполне могло привести к “задавливанию” буровым раствором нефтенасыщенных коллекторов.

При дальнейшем бурении на нефть скважину в пределах первого участка целесообразно закладывать в точке вертикального зондирования (см. рис. 15).

На втором (южном) перспективном участке обнаружены и закартированы две локальные (практически изометрические) аномальные зоны типа “залежь газа”: “юго-восточная” и “северо-западная”. Они разделены разломом северо-восточного простирания. В пределах этих аномалий установлены зоны повышенных значений пластовых давлений, площадь которых незначительно отличается от площадей аномалий типа “залежь газа”.

Закартированные аномальные зоны типа “залежь нефти” второго участка (рис. 17) достаточно хорошо коррелируются с аномалиями типа “залежь газа” – они практически совпадают с контурами зон с повышенными значениями пластового давления.

По результатам выполненной обработки данных ДЗЗ запроектированную скважину второго участка целесообразно сместить в одну из точек вертикального зондирования (рис. 17).

Рассмотренные материалы (рис. 14–17) свидетельствуют о вполне удовлетворительном совпадении результатов, полученных с помощью комплекса “Поиск” и специального метода обработки и дешифрирования данных ДЗЗ.

Отмеченные особенности положения аномалий типа “газ” на участках распространения сланцевых пород, установленные с помощью аппара-

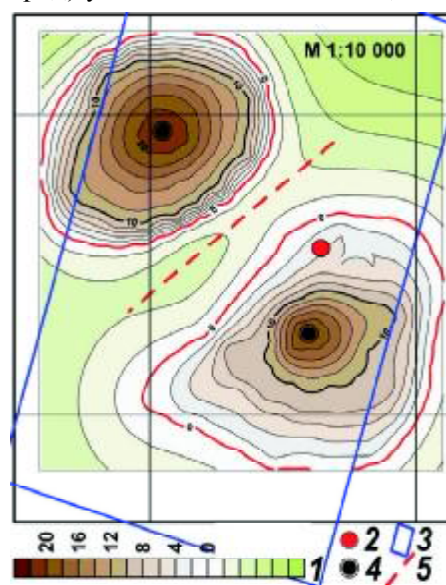


Рис. 17. Карта аномальных зон типа “нефть” второго нефтегазоперспективного участка в районе поисков сланцевого газа (Техас, США), по результатам обработки данных ДЗЗ: 1 – шкала интенсивности аномального отклика; 2 – запроектированная скважина; 3 – контур участка; 4 – точка вертикального зондирования; 5 – тектоническое нарушение

туры “Поиск” и специальной обработки данных ДЗЗ, позволяют более эффективно и целенаправленно организовать поисковые работы и существенно повысить экономические показатели освоения сланцевых газовых месторождений.

**О возможности обнаружения и картирования скоплений УВ в кристаллических породах.** В условиях господства осадочно-миграционной теории происхождения УВ целенаправленные поисковые работы на нефть и газ в пределах шитов и кристаллических массивов практически не проводились. В связи с этим в настоящее время огромные территории распространения кристаллических пород остаются слабо изученными относительно перспектив нефтегазоносности.

Тем не менее в кристаллическом фундаменте открыто значительное количество месторождений УВ промышленного значения. Существенно укрепили свои позиции сторонники глубинного, неорганического, происхождения УВ [3–4, 18, 42–43]. Показана принципиальная возможность глубинного синтеза УВ нефтяного ряда, их миграции через ослабленные зоны вместе с другими флюидами и аккумуляции в верхних слоях земной коры. Поэтому проблема поисков скоплений УВ в кристаллических породах может стать в настоящее время достаточно актуальной. Важны также вопросы, касающиеся разработки эффективных технологий и методик поисков скоплений УВ, так как традиционные методы поисков и разведки в осадочных бассейнах напрямую неприменимы для кристаллических массивов и пород.

Наземные геоэлектрические методы СКИП и ВЭРЗ, а также технология обработки и интерпретации спутниковых данных применялись для решения подобного рода задач. Например, в 2009 г. на небольшом локальном участке Новокозловской зоны разломов в пределах Украинского щита (УЩ) площадной съемкой методом СКИП обнаружены и закартированы три аномальные геоэлектрические зоны типа “залежь газа (конденсата)” площадью 3,2 (1,1 + 1,8 + 0,3) км<sup>2</sup> [26]. Глубины расположения АПП типа “газ” и “газоконденсат” определены методом ВЭРЗ. Аномальные зоны зафиксированы здесь вдоль основных тектонических нарушений. В вертикальном разрезе выделенные АПП типа “газ” и “газоконденсат” располагаются параллельно тектоническим нарушениям. По данным измерений методами СКИП–ВЭРЗ определены оптимальные места для расположения скважин по дегазации горных выработок.

В 2009 г. на локальных участках в северной части УЩ маршрутной съемкой методом СКИП выявлены и закартированы четыре аномальные геоэлектрические зоны типа “залежь газа (конденсата)” площадью свыше 90 км<sup>2</sup>. В пределах одной из аномалий глубины расположения АПП типа

“газ” и “газоконденсат” определены методом ВЭРЗ. Аномальные зоны фиксируются здесь в пределах крупных тектонических нарушений [27].

В рекогносцировочном режиме обследована с помощью технологии дешифрирования данных ДЗЗ Каневская площадь (Украина) [29]. На участке обследования выявлены и закартированы три относительно крупные аномальные зоны типа “залежь газа”. Однако в районе г. Канев непосредственно положительных аномалий типа “залежь нефти” по результатам обработки спутниковых данных не обнаружено. Тем не менее и закартированные аномалии свидетельствуют о целесообразности проведения в этом районе дополнительных работ как наземными методами СКИП и ВЭРЗ, так и путем обработки и дешифрирования данных ДЗЗ более крупного масштаба.

Согласно результатам выполненных экспериментальных работ, технология СКИП–ВЭРЗ, а также метод обработки и интерпретации данных ДЗЗ могут применяться при поисках и разведке скоплений УВ в кристаллических массивах и в тектонически нарушенных (разломных) зонах кристаллического фундамента. Эти мобильные методы могут быть также задействованы при оперативной оценке перспектив нефтегазоносности астроблем. Есть веские основания для интенсификации поисковых исследований в указанном направлении.

**О проблеме водородной дегазации Земли.** В рамках теории изначально гидридной Земли [18] проводится изучение структур на ее поверхности, появление которых обусловлено потоками водорода из недр. По космическим снимкам такого типа структуры выделены на всех континентах [46]. Авторы исследований считают заслуживающими пристального изучения установленные научные факты существования мощных водородных струй на платформах, которые дешифрируются на космических снимках, заметно выделяются в рельефе и имеют глубинные корни.

Во-первых, существование дегазации водорода открывает перспективы для развития водородной энергетики. Выполненные замеры показали, что концентрации водорода в подпочвенном (до 120 см) воздухе могут достигать до 2%. Предполагается, что промышленные концентрации водорода могут быть на глубинах порядка 1,0–1,5 км и для его добычи могут быть использованы технологии добычи углеводородных газов [46].

Во-вторых, авторы считают [46], что проблеме происхождения УВ можно свести к проблеме источника водорода. Углерода в земной коре более чем достаточно. При наличии мощных потоков водорода непременно должны генерироваться углеводородные соединения. При этом струи водорода на пути своего следования образуют об-

ширную систему пор и каверн не только по известнякам и доломитам, но и по силикатным породам – гранитам и гранито-гнейсам. Эти поры и каверны могут заполняться новообразованной нефтью, и таким образом могут формироваться месторождения.

В-третьих, если струи водорода поступают с глубины и попадают в угольные пласты, то образуется метан. Таким образом, водородные струи могут формировать очаги скопления метана в угольных бассейнах, где он может находиться под достаточно высоким давлением [46].

Приведенные выше результаты применения мобильных геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ, а также технологии обработки и дешифрирования данных ДЗЗ для поисков скоплений свободного газа в угольных бассейнах и сланцевых породах свидетельствуют о том, что эти оперативные методы могут быть использованы также для обнаружения и картирования водородных потоков и зон скопления водорода в глубинных горизонтах.

**Обсуждение результатов.** Проблему поисков и добычи угольного метана, сланцевого газа, а также скоплений УВ в других нетрадиционных коллекторах целесообразно анализировать с различных позиций, всесторонне. Рассмотрим важные, на наш взгляд, аспекты этой проблемы.

1. В данной статье, а также в других публикациях авторов достаточно широко демонстрируются результаты применения специального метода обработки и интерпретации спутниковых данных. Целесообразно отметить, что принцип работы этого метода вполне укладывается в рамки неклассической парадигмы геофизических исследований – “вещественной”. По результатам применения указанного метода сделаны и некоторые важные (принципиальные) выводы статьи. Обратим внимание на то, что авторы не являются “пионерами” обработки и дешифрирования данных ДЗЗ в рамках указанной парадигмы. В качестве доказательства отметим некоторые технологии такого класса, особенности которых охарактеризованы в последних публикациях [9, 15, 16, 37, 38]. Данные ДЗЗ используются достаточно широко, и, по нашему мнению, именно их применение может привести к существенному прорыву в ускорении поисковых работ на горючие и рудные полезные ископаемые. Общие (фундаментальные) идеи и принципы, на которых базируется это направление, в публикации [38, с. 61] сформулированы следующим образом: “Атомы во всех молекулах имеют определенное пространственное положение и собственное электромагнитное поле с характеристическим пространственно-частотным распределением интенсивности. Пространственно-частотная структура электромагнитных полей любого вещества определяется химическим составом и пространственной струк-

турой молекул или кристаллической решеткой вещества. Большое количество однородного вещества будет создавать коллективное характеристическое для данного вещества электромагнитное поле, мощность излучения которого будет пропорциональна концентрации вещества в заданном направлении. Можно считать, что линейно-поляризованная волна с заданной частотной характеристикой, несущая информацию о структуре вещества, не поглощается средами и их интенсивность не уменьшается с расстоянием, тогда однородное вещество на произвольной глубине Земли будет создавать поле, как если бы это вещество находилось на поверхности”.

2. Для мобильных геофизических технологий, реализованных с применением принципов “вещественной” парадигмы геофизических исследований, не имеет принципиального значения вопрос, какой тип УВ искать и разведывать – традиционный или нетрадиционный (угольный, сланцевый, кристаллический и т. д.). Для них, в принципе, газ везде один – а вот ловушки разные. Отработанная на нефтегазовых объектах традиционного типа и в угольных бассейнах методика обнаружения и картирования скоплений УВ (газа) геоэлектрическими методами СКИП и ВЭРЗ, а также апробированным методом обработки данных ДЗЗ в полной мере применима и для поисков скоплений УВ в сланцевых породах, кристаллическом фундаменте, кристаллических массивах, разломных зонах щитов и др. “Вещественная” парадигма проведения поисковых геофизических работ позволяет проводить такого рода поиски (работы) оперативно, эффективно и в полном объеме в коллекторах и ловушках любого типа (традиционных и нетрадиционных).

3. Опыт добычи шахтного метана в США свидетельствует, что для этого необходимы огромные технические и финансовые ресурсы. Для выявления наиболее инвестиционно-привлекательных площадей надо выполнить большие объемы буровых работ с тестированием скважин. Стоимость добычи шахтного метана в основных угольных бассейнах США анализируется в работе [34]. Например, в бассейне Паудер Ривер стоимость бурения и обустройства одной скважины составила 65 тыс. долл. США. Из публикации [44] следует, что по состоянию на конец 2000 г. в этом бассейне было пробурено 80 тыс. откачных скважин на метан угольных пластов, из них в эксплуатации находилось 4800 скважин. Затраты на бурение составили в этом бассейне:  $80\,000 \cdot 65\,000 = 5,2$  млрд долл. США. В бассейне Сан-Хуан из 2,5 тыс. пробуренных скважин лишь 600 оказались эффективными, с дебитом метана до 80 тыс. м<sup>3</sup>/сут [13]. Это компенсировало затраты и обеспечило стабильную добычу. Однако затраты огромны:  $2500 \cdot 750\,000 = 1,875$  млрд долл. США.

В работе [10] анализируются перспективы добычи метана в Кузбассе. Так, “чтобы добыть 3 млрд м<sup>3</sup> метана в год из угольных пластов, нужно будет пробурить в самом благоприятном случае, т. е. при газопроницаемости пластов угля 0,045 мДж, не менее 18 180 скважин. При глубине скважины 600 м и стоимости бурения 1 м скважины, равной 2500 руб., необходимо будет затратить по статье “бурение” 27,27 млрд руб. или 865,7 млн долл. США (1 долл. США = 31,5 руб.). В худшем же случае (газопроницаемость пластов угля 0,005 мДж) потребуются пробурить не менее 100 тыс. скважин, затратив 150 млрд руб. (4,76 млрд долл. США) по статье “бурение”. Добыча 1000 м<sup>3</sup> метана из угольных пластов даже в наиболее благоприятных по газопроницаемости условиях будет обходиться только по статье “бурение скважин” в 290 долл. США. Таким образом, за пределами горных отводов действующих шахт промысловая добыча метана из неразгруженных угольных пластов через скважины, пробуренные с земной поверхности, без эффективных средств интенсификации газоотдачи экономически будет нецелесообразной вследствие низкой их природной газоотдачи”.

В докладе [8] анализируется опыт нефтегазовой компании “Шелл” по добыче сланцевого газа в различных регионах мира, в нем также речь идет о миллиардных финансовых ресурсах, которые необходимо затратить на это. Автор доклада отмечает, что “геологические запасы газа в недрах являются значительными, они распространены на больших территориях, но лишь незначительная их доля может быть пригодна для добычи. Промышленная добыча возможна только в зонах повышенной производительности, так называемых Sweet Spots, участках с несколько улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами. Эти зоны составляют небольшой процент (порядка 5 %) общей площади распространения газа. Через уплотненность коллекторов для достижения стабильного дебита газа в промышленных объемах необходимо применение стимуляции скважины путем проведения мощного гидроразрыва пласта. Несмотря на это, дебиты добычи газа всегда будут весьма низкими по сравнению с обычными газовыми месторождениями. Технические, финансовые и экологические трудности разведки и разработки сланцевого газа, газа уплотненных пород и метана угольных пластов являются весомыми” [8, с. 153].

Это подтверждается и имеющимся практическим опытом добычи метана в Украине. Здесь лидером является шахта им. А.Ф. Засядько [11, 47].

На существенные проблемы, связанные с добычей угольного метана, указывает и следующая информация [12, с. 9]: “как свидетельствует практика на Красноармейском полигоне в Донецкой

области, отечественные технологии, которые использовались Центром альтернативных исследований (Минэнергоуголь), не дали весомых (существенных) результатов при реализации пилотного проекта по добыче метана из угольных пластов, включая и гидроразрыв угольного пласта”.

Обращаем еще раз внимание на доклад [8, с. 153], в котором констатируется следующее: “Сложности и риск, связанные с разведкой и разработкой сланцевого газа, газа уплотненных пород и метана угольных пластов могут быть представлены на примере европейских стран. В Европе разведка этих ресурсов началась в Венгрии, примерно 10 лет назад, и в последние годы распространилась в Польше, Германии, Франции и Швеции. Но несмотря на все усилия и привлечение опытных международных нефтегазовых компаний, пока в Европе не ведется промышленная добыча сланцевого газа, газа уплотненных пород и метана угольных пластов, что еще раз подтверждает значимость связанных с ним сложностей”.

4. Представленные результаты исследований свидетельствуют о практической возможности поступления (миграции) газа в угольные разрезы с больших глубин. Это подтверждается также результатами изучения геологического строения угольных бассейнов. В частности, авторами комплексного изучения Донбасса [40, 41, с. 64] отмечается, что “...геодинамические процессы в астеносферном слое в юго-восточной части Днепровско-Донецкой впадины (ДДВ) и Донецкого складчатого сооружения (ДСС), являющемся мощным генератором тепла, подвижной магмы и флюидов, способствовали их проникновению через ослабленные зоны развивавшихся снизу вверх сверхглубинных осевых разломов и образованию коромантийного диапира, вертикально-горизонтальное распространение которого в пластичном подкоровом субстрате привело к формированию рифейского, а затем позднедевонского рифта, заполненного вулканогенно-осадочными породами”.

При изучении зоны развития угольных месторождений Республики Казахстан установлено [35], что “на центральную часть впадины наложена толща фамен-каменноугольных карбонатно-терригенных угленосных отложений (Экибастузская мульда). Авторы связывают происхождение и развитие впадины с подъемом мантийного диапира или плюма, возникшего на фоне субдуцирующей в западном направлении океанической плиты. ...Дальнейшее существование магматического очага вызвало проплавление верхних горизонтов земной коры и постепенное проседание (на глубину 5–6 км), компенсированное фамен-каменноугольным осадконакоплением. Сочетание повышенного теплового потока с газовой фазой, равновесной с веществом плюма, содержащей водород, воду и углеродистые фазы (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> и др.), спо-



собствовало созданию специфических условий развития флоры и образованию в карбоне мощных угольных залежей”.

Выше уже указывалось (см. рис. 13) на интенсивную отрицательную гравитационную аномалию в юго-восточной части Западной Сибири, соответствующую угольным месторождениям Кузбасса, в которых систематически происходят геосолитонные выбросы газа. Согласно [5, 36, с. 37], “гравитационные минимумы в разных районах мира соответствуют наиболее богатым нефтегазоносным территориям. Эта взаимосвязь обусловлена участием легких газов (водорода и метана), выходящих из мантии в земную кору, в процессах нефтегазогенерации”.

Возможность поступления газа из больших глубин следует также из схематического разреза (рис. 18), иллюстрирующего модель миграции газа для комплекса Месаверде (бассейн Пайсанс, США) [52]. Предполагается, что значительное количество газа, добываемого из комплекса Месаверде, сгенерировано из углей в нижней части формации Форк Вильямс. Аномально высокое давление, обусловленное генерацией газа, привело к формированию естественной трещиноватости (рис. 18, маленькие стрелки), что позволило газу мигрировать вверх и сформировать непрерывно газонасыщенный интервал (горизонт). Миграция газа происходит также вдоль крупных нарушений и разломных зон; в некоторых случаях это позволяет газу угленосной формации Форк Вильямс, а также газу глубинных формаций Манкос и Ниобрара мигрировать через непрерывно газонасыщенный интервал (горизонт) в переходную зону ловушек и залегающий на небольшой глубине горизонт песчаника Васатч Г. На рис. 18 различные типы разломов (трещиноватости) показаны схематически. Сдвиговые нарушения де-

монстрируются структурами цветочного типа, а вертикальные сбросы показаны в форме грабена в правой части рисунка. Мощность отложений от верхней части формации Роллинз до кровли формации Месаверде составляет примерно 900–1200 м.

5. Акцентируем также внимание на следующих вполне сопоставимых фактах. Во-первых, опыт нефтегазовой компании “Шелл” свидетельствует [8], что только 5 % территорий распространения сланцевых пород пригодны для экономически приемлемой добычи газа. Во-вторых, авторы выполненных работ в штате Техас с использованием технологии “Поиск” показывают [16], что обнаруженные и закартированные аномальные зоны типа “залежь газа”, пригодные для организации добычи сланцевого газа, занимают примерно 6 % площади поисков. Аномальные зоны типа “залежь свободного газа”, которые выделяются и картируются геоэлектрической съемкой СКИП и специальным методом обработки и интерпретации спутниковых данных, также занимают относительно небольшие площади на территориях проведенных работ. Это свидетельствует, что мобильные геофизические технологии позволяют оперативно находить и картировать зоны “Sweet Spots”, в пределах которых может быть организована экономически приемлемая добыча газа.

6. В работах [3, 4] показано, “что нефтяные разливы могут рассматриваться как аналоги природных «очагов разгрузки» с обширными растекающимися и мигрирующими «ореолами влияния», образованными разнообразными продуктами физико-химического распада углеводородов: растворенными, пленочными, эмульгированными, сорбированными, агрегатными, остаточными и др. Ореолам отвечают аномальные экосистемы, в которых гибель доаварийных высокоорганизован-

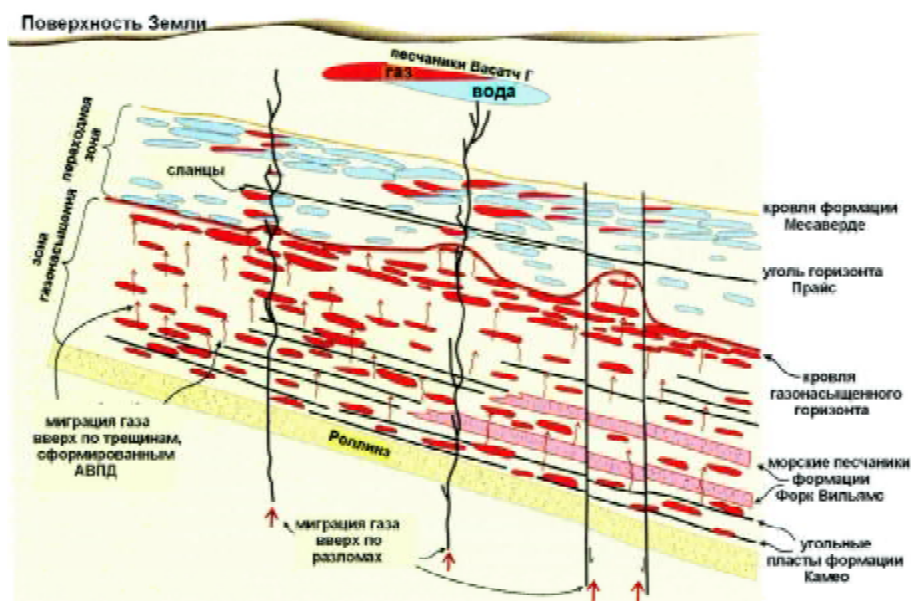


Рис. 18. Схематический разрез, иллюстрирующий процесс миграции газа в формации Месаверде (бассейн Пайсанс, США) [52]

ных нормально-бассейновых сообществ сочетается со взрывом продуктивности микробных биоценозов, основой пищевых цепей которых служат углеводородокисляющие бактерии. Общим седиментационным итогом нефтяного разлива является залповое (геологически мгновенное) накопление слойка, обогащенного органическим веществом «нафтогенной» природы. Для слойка характерны специфические макро- и микроособенности, отражающие различные эффекты нефтяного «события»: вещественные (высокие содержания липидов, УВ, водорода, близкий к нефтяному изотопный состав углерода и др.), биотические, структурные, текстурные, пространственные и др. Их комплекс во многом аналогичен набору типоморфных признаков и аномальных макро- и микросвойств черных сланцев. Это позволяет рассматривать нафтогенные осадки как техногенный гомолог черных сланцев и принять «нафтогенную модель» в качестве реального (хотя и не единственного) варианта накопления высокоуглеродистых отложений» [3, с. 33].

8. Технология дешифрирования данных ДЗЗ предоставляет возможность оперативно выполнить оценку перспектив газоносности всей Донецкой складчатой структуры в достаточно сжатые сроки. Результатом такой оценки будут карты аномальных зон типа «залежь свободного газа», аналогичные представленной на рис. 9. При этом могут быть также получены оценки относительных значений пластового давления в пределах аномальных зон. В процессе проведения такого рода работ все крупные аномальные зоны, а также скопления небольших аномалий могут быть обнаружены и закартированы (в том числе месторождения УВ, если они имеются на площади работ). Вполне понятно, что в результате оперативно будет получена оценка перспектив газоносности Антрацитового массива [33]. Обработка и интерпретация данных ДЗЗ более крупного масштаба позволит также обнаружить и закартировать участки миграции газа с глубины.

**Выводы.** Приведенные в статье материалы свидетельствуют о сложности и многогранности проблем в рамках проектов поисков и добычи свободного газа (метана) в угленосных бассейнах, сланцевого газа, а также скоплений УВ в других нетрадиционных коллекторах. Это сложности экономического, технического и законодательного характера. Главные проблемы таких проектов — необходимость огромных финансовых ресурсов для их практической реализации.

В целом результаты выполненных экспериментальных исследований свидетельствуют, что мобильная геоэлектрическая технология СКИП–ВЭРЗ в комплексе со специальным методом обработки и дешифрирования данных ДЗЗ могут успешно применяться для обнаружения и карти-

рования зон скопления свободного газа (метана) в угленосных формациях, а также в сланцевых и кристаллических породах.

Практический опыт проведения поисковых и разведочных работ позволяет вполне обоснованно констатировать, что применение мобильных экспресс-технологий «прямых» поисков залежей УВ (в том числе метода обработки данных ДЗЗ, а также геоэлектрических методов СКИП и ВЭРЗ) для обнаружения и разведки участков скопления свободного газа в пределах шахтных полей позволит существенно сократить расходы на добычу и утилизацию метана в Донбассе и в других угольных бассейнах мира.

Представленные выше результаты наглядно и убедительно демонстрируют потенциальные возможности метода обработки и интерпретации данных ДЗЗ при проведении в сжатые сроки рекогносцировочного обследования крупных по площади (в том числе труднодоступных) нефтегазоносных территорий. Применение этой технологии может принести значительный эффект и при поисках скоплений УВ в нетрадиционных коллекторах — сланцах, породах угольных бассейнов, кристаллических породах. Технологию также целесообразно применять при исследованиях слабоизученных участков в известных нефте- и газоносных бассейнах.

Комплексное освоение топливно-энергетических ресурсов Донбасса (угля, нефти, газа (метана)) может внести значительный вклад в повышение уровня добычи УВ в Украине.

1. *Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Хохлов М.Т. и др.* Газоносность угольных месторождений Донбасса / Под ред. чл.-кор. НАН Украины Н.Я. Азарова. — Киев: Наук. думка, 2004. — 234 с.
2. *Антипов И.В., Гуменюк А.Н.* Геоэлектрические исследования массива горных пород и определение запасов свободного метана // Геотехнології та управління виробництвом ХХІ сторіччя. Т. 1. / За заг. ред. Ю.Ф. Булгакова, С.С. Гребьонкіна. — Донецьк: ДонНТУ, 2006. — С. 191–196.
3. *Беленицкая Г.А.* Последствия нефтяных катастроф глазами седиментолога // Природа. — 2010. — № 2. — С. 17–34.
4. *Беленицкая Г.А.* Черные сланцы как «нафтодочерние» образования / Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь. Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию со дня рожд. акад. П.Н. Кропоткина, г. Москва, 18–22 окт. 2010 г. — М.: ГЕОС, 2010. — С. 671–676.
5. *Бембель Р.М., Мегеря В.М., Бембель С.Р.* Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. — Тюмень: Вектор Бук, 2003. — 344 с.
6. *Гришко Г.И.* Глубины Кузбасса: Уголь, метан, нефть?! // Наука в Сибири. — 2008. — № 33–34 (2668–2669), 28 авг. <http://www-sbras.nsc.ru/HBC/article.phtml?nid=471&id=9>

7. Гулій В.М., Ленізов Г.Д., Озорной Г.І. Катастрофи при підземному видобутку вугілля як відображення геологічних явищ // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 87. – С. 87–94.
8. Дитмар Нойхаус. Сланцевый газ, газ в уплотненных породах, метан угольных пластов в Украине. Материалы докл. науч.-практ. конф. “Нефтегазовая геофизика – инновационные технологии”, г. Ивано-Франковск, 25–29 апр. 2011 г. – Ивано-Франковск, 2011. – С. 153–154.
9. Дурандин А.В. Структурно-тектонический анализ данных дистанционного зондирования Земли // Геоматика. – 2011. – № 1. – С. 48–51.
10. Забурдяев В.С. Зарубежный опыт промышленной добычи угольного метана и ее перспективы в Кузнецком бассейне. – <http://esco-ecosys.narod.ru/journal/journal62.htm>
11. Звягельский Е.Л. Рынок в своей основе должен быть организован / Голос Украины. – 2009. – № 42 (4542). – 07.03. – [http://zasyadko.net/m1/ru/trade/tech\\_sovet](http://zasyadko.net/m1/ru/trade/tech_sovet)
12. Зейкан О.Ю., Гладун В.В., Чепиль П.М., Максимчук П.Я. Перспективы освоения ресурсов нетрадиционных углеводородов в Украине. Материалы докл. науч.-практ. конф. “Нефтегазовая геофизика – инновационные технологии”, г. Ивано-Франковск, 25–29 апр. 2011 г. – Ивано-Франковск, 2011. – С. 7–12.
13. Карасев Г. Угольный метан – враг и друг // Рос. недра. – 2007. – № 1(36). – 22 янв. – <http://www.rosnedra.com/data/Files/File/470.pdf>
14. Карасевич А.М., Земцова Д.П., Никитин А.А. Новые технологии геофизических исследований при поисках и прогнозе углеводородного сырья. – М.: Страх. ревю, 2010. – 140 с.
15. Ковалев Н.И., Гох В.А., Иващенко П.Н., Солдатова С.В. Опыт практического использования аппаратуры комплекса “Поиск” для обнаружения и оконтуривания углеводородных месторождений // Геоинформатика. – 2010. – № 4. – С. 46–51.
16. Ковалев Н.И., Солдатова С.В., Гох В.А. Исследование особенностей залегания газовых аномалий в сланцевых породах с применением аппаратуры дистанционного комплекса “Поиск” // Геоинформатика: теоретические и прикладные аспекты: X Междунар. конф., г. Киев, 10–13 мая 2011 г.: тез. докл. – Киев: ВАГ, 2011. – А045. – 3 с. – CD-ROM.
17. Корчмагин В.А., Алехин В.И., Павлов И.О. Структурно-тектонические исследования для прогноза газоносности и горно-геологических условий на полях шахт Донецко-Макеевского района // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2010. – Вып. 87. – С. 209–217.
18. Ларин В.Н. Наша Земля. – М.: Ангар, 2005. – 243 с.
19. Лебідь В.П. Що заважає вагомим відкриттям у Східному нафтогазоносному басейні України? // Геолог України. – 2011. – № 1. – С. 60–66.
20. Левашов С.П., Гуня Д.П., Якимчук Н.А. и др. О возможности прогнозирования зон повышенной газоносности углей и вмещающих пород геоэлектрическими методами // Докл. НАН Украины. – 2002. – № 10. – С. 118–122.
21. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Таскинбаев К.М. Поиски и разведка скоплений углеводородов геоэлектрическими методами на нефтяных месторождениях Западного Казахстана // Георесурсы. – 2003. – № 1. – С. 31–37.
22. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Электро-резонансное зондирование и его использование для решения задач экологии и инженерной геологии // Геол. журн. – 2003. – № 4. – С. 24–28.
23. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Экспресс-технология “прямых” поисков и разведки скоплений углеводородов геоэлектрическими методами: результаты практического применения в 2001–2005 гг. // Геоинформатика. – 2006. – № 1. – С. 31–43.
24. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. и др. Обнаружение и картирование геоэлектрическими методами зон повышенного газоносности на угольных шахтах // Геофизика. – 2006. – № 2. – С. 58–63.
25. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Червоный Н.П. Экспресс-технология прямых поисков и разведки скоплений углеводородов геоэлектрическими методами // Нефт. хоз-во. – 2008. – № 2. – С. 28–33.
26. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. и др. О возможности картирования геоэлектрическими методами скоплений углеводородов в кристаллических породах // Геоинформатика. – 2010. – № 1. – С. 22–32.
27. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. и др. О возможности обнаружения и картирования геоэлектрическими методами аномалий типа “залежь углеводородов” в разломных зонах кристаллических массивов // Теоретические и прикладные аспекты геоинформатики. – Киев, 2010. – С. 216–231.
28. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. и др. Практический опыт поисков и картирования геоэлектрическими методами скоплений свободного метана на шахтах Донбасса // Теоретические и прикладные аспекты геоинформатики. – Киев, 2010. – С. 232–249.
29. 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.
30. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Божжежа Д.Н. Оперативное решение задач оценки перспектив рудоносности лицензионных участков и территорий в районах действующих промыслов и рудных месторождений // Там же. – 2010. – № 4. – С. 23–30.
31. Левашов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Картирование геоэлектрическими и дистанционными методами скоплений метана в угленосных бассейнах // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: Материалы 38-й сес. Междунар. науч. семинара им. Д.Г. Успенского, г. Пермь, 24–28 янв. 2011 г. – Пермь: ГИ УрО РАН, 2011. – С. 170–173.
32. 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. – 2011. – № 2. – С. 19–35.
33. Ленізов Г.Д., Гулій В.М., Цьоха О.Г. Нафтогазоносність Донбасу: глибинний газ в Антрацитовому масиві та ознаки газових колон в зонах мезокайнозойської

- складчастості // Геолог України. – 2009. – № 1–2. – С. 64–74.
34. *Майдюков Г.Л., Петенко А.В., Майдюкова С.С.* Метан угольных месторождений Донбасса: состояние и перспективы // *Екон. вісн. Донбасу.* – 2007. – № 3 (9). – С. 4–13.
  35. *Мальченко Е.Г., Жуковский В.И.* Роль мантийных диапиров в формировании крупных угленосных бассейнов Центрального Казахстана // *Изв. НАН РК. Сер. геол.* – 2005. – № 3. – С. 87–92.
  36. *Мегеря В.М.* Поиск и разведка залежей углеводородов, контролируемых геосолитонной дегазацией Земли. – М.: Локус Станди, 2009. – 256 с.
  37. *Пухлий В.А., Пухлий Ж.А., Ковалев Н.И.* Ядерный магнитный резонанс. Теория и приложения. Учеб. пособие. – Севастополь: Черкас. ЦНТЭИ, 2010. – 670 с.
  38. *Ростовцев В.В., Лайнвебер В.В., Ростовцев В.Н.* К большой нефти России // *Геоматика.* – 2011. – № 1. – С. 60–62.
  39. *Современное состояние и перспективы освоения нетрадиционных ресурсов метана угольных пластов в России.* Доклад Ген. дир-ра ОАО “Промгаз”, д.т.н. А.М. Карасевича на заседании ЕЭК ООН в г. Женеве, 20.01.05 г. – [www.unepce.org/ie/se/pdfs/wpgas/adhoc/Karasevich.RUS.pdf](http://www.unepce.org/ie/se/pdfs/wpgas/adhoc/Karasevich.RUS.pdf)
  40. *Старостенко В.И., Коболев В.П., Русаков О.М. и др.* К вопросу о глубинном строении Донецкого складчатого сооружения по данным региональных аэроэлектромагнитных наблюдений. Азово-Черноморский полигон изучения геодинамики и флюидодинамики формирования месторождений нефти и газа: Тез. докл. VIII Междунар. конф. “Крым-2009”, г. Ялта, 14–18 сент. 2009 г. – Ялта, 2009. – С. 127–129.
  41. *Старостенко В.И., Лукин А.Е., Коболев В.П. и др.* Модель глубинного строения Донецкого складчатого сооружения и прилегающих структур по данным региональных геофизических наблюдений // *Геофиз. журн.* – 2009. – 31, № 4. – С. 44–68.
  42. *Тимурзиев А.И.* Современное состояние практики и методологии поисков нефти и газа // *Актуальные проблемы поздней стадии освоения нефтегазодобывающих регионов.* Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Казань: ФЭН, 2008. – С. 393–398.
  43. *Тимурзиев А.И.* От теории труб дегазации П.Н.Кропоткина к технологии картирования очагов разгрузки глубинных флюидов // *Дегазация Земли: геотектоника, геодинамика, геофлюиды; нефть и газ; углеводороды и жизнь.* Материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящен. 100-летию со дня рожд. акад. П.Н.Кропоткина, г. Москва, 18–22 окт. 2010 г. – М.: ГЕОС, 2010. – С. 567–570.
  44. *Толпаев В.А., Палиев В.В.* Современное состояние и перспективы разработки месторождений газа угольных пластов // *Сб. науч. тр. СевКавГТУ. Сер. естественно-науч.* – 2007. – № 3. – <http://www.ncstu.ru>
  45. *Шуман В.Н., Левашиов С.П., Якимчук Н.А., Корчагин И.Н.* Радиоволновые зондирующие системы: элементы теории, состояние и перспективы // *Геоинформатика.* – 2008. – № 2. – С. 22–50.
  46. <http://hydrogen-future.com/>
  47. [http://www.ukrrudprom.com/analytics/Dorogoy\\_resurs.html](http://www.ukrrudprom.com/analytics/Dorogoy_resurs.html)
  48. *Levashov S.P., Yakymchuk M.A. Korchagin I.N. et al.* Electric-resonance sounding method and its application for the ecological, geological-geophysical and engineering-geological investigations // *66th EAGE conf. and Exhibition, Extended Abstr.* – 2004. – P035, 4 p.
  49. *Levashov S.P., Yakymchuk M.A., Korchagin I.N. et al.* On the possibility of the searching and mapping areas with increased gas content in coal and containing rocks by geoelectric methods // *Proc. XVIIIth Congr. of the Carpathian-Balkan Geol. Association.* – Belgrade, 2006. – P. 311–316.
  50. *Levashov S.P., Yakymchuk M.A. Korchagin I.N. et al.* Geoelectric methods application for mapping the zones with raised contents of methane. *Geosciences – To Discover and Develop* // *Int. conf. and Exhibition.* 15–18 Oct. 2006. – Lenexpo, Saint Petersburg, Russia, 2006. – CD-ROM Abstracts vol. – P053, 4 p.
  51. *Levashov S.P., Yakymchuk N.A., Korchagin I.N., Syniuk B.B.* Practical experience of the operative finding, mapping and monitoring of man-caused gas pool by geoelectric methods // *71nd EAGE conf. and Techn. Exhibition,* 8–11 June 2009. – Amsterdam, Netherlands, 2009. – CD-ROM Abstr. vol. – P144, 4 p.
  52. *Understanding, exploring, and developing tight gas sands – 2005 Vail Hedberg conf.: AAPG Hedberg Ser., № 3 / Eds by S.P. Cumella, K.W. Shanley, W.K. Camp.* – 2008. – 250 p.
  53. *Yakymchuk N.A., Levashov S.P., Korchagin I.N.* Express-technology for direct searching and prospecting of hydrocarbon accumulation by geoelectric methods // *Int. petroleum technol. conf.,* 3–5 Dec. 2008. – Kuala Lumpur, Malaysia, 2008. – Pap. IPTC-12116-PP. – Conf. CD-ROM Proc. – 11 p.

*Поступила в редакцию 05.07.2011 г.*

*С.П. Левашов, Н.А. Якимчук, И.Н. Корчагин*

## **ВОЗМОЖНОСТИ МОБИЛЬНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОИСКАХ И РАЗВЕДКЕ СКОПЛЕНИЙ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ БАССЕЙНАХ И ДРУГИХ НЕТРАДИЦИОННЫХ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ**

Приводятся результаты экспериментального применения в 2001–2010 гг. нетрадиционных геоэлектрических методов становления короткоимпульсного электромагнитного поля (СКИП) и вертикального электрорезонансного зондирования (ВЭРЗ), а также нового метода обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для поисков скоплений свободного газа (метана) в пределах распространения угленосных пород. Площадной съемкой методом СКИП могут быть обнаружены и закартированы аномалии типа “залежь свободного газа (метана)”. Глубины расположения аномально поляризованных пластов типа “газ” определяются методом ВЭРЗ. Метод обработки данных ДЗЗ также позволяет оперативно выделять и картировать аномалии типа “залежь свободного газа”. Согласно результатам экспериментов, технология СКИП–ВЭРЗ совместно с методом обработки данных ДЗЗ могут успешно применяться при поисках и разведке скоплений свободного газа (метана) в пределах распространения угленосных формаций. Эти же методы можно также использовать при поисках скоплений других нетрадиционных горючих полезных ископаемых – сланцевого газа, скоплений углеводородов (УВ) в кристаллических породах, водорода, газогидратов. Широкое применение оперативных мобильных технологий на различных этапах поисков скоплений УВ различного типа будет способствовать ускорению и оптимизации геологоразведочного процесса в целом.

**Ключевые слова:** геоэлектрическая съемка, электрорезонансное зондирование, аномалия типа “залежь”, свободный газ, сланцевый газ, метан, угольная шахта.

*С.П. Левашов, М.А. Якимчук, І.М. Корчагін*

## **МОЖЛИВОСТІ МОБІЛЬНИХ ГЕОФІЗИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПІД ЧАС ПОШУКІВ І РОЗВІДКИ СКУПЧЕНЬ МЕТАНУ У ВУГІЛЬНИХ БАСЕЙНАХ ТА ІНШИХ НЕТРАДИЦІЙНИХ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН**

Наведено результати експериментального застосування в 2001–2010 рр. нетрадиційних геоелектричних методів становлення короткоімпульсного електромагнітного поля (СКИП) і вертикального електрорезонансного зондування (ВЕРЗ), а також нового методу обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для пошуків скупчень вільного газу (метану) в межах поширення вугленосних порід. Площинним зніманням методом СКИП можуть бути виявлені та закартовані аномалії типу “поклад вільного газу (метану)”. Глибини розміщення аномально поляризованих пластів типу “газ” визначають за методом ВЕРЗ. Метод обробки даних ДЗЗ також дає змогу оперативно виділяти і картувати аномалії типу “поклад вільного газу”. Згідно з результатами експериментів, технологію СКИП–ВЕРЗ спільно із методом обробки даних ДЗЗ можна успішно застосовувати під час пошуків і розвідки скупчень вільного газу (метану) в межах поширення вугленосних формаций. Ці методи можна також використовувати для пошуків скупчень інших нетрадиційних горючих корисних копалин – сланцевого газу, скупчень вуглеводнів (ВВ) у кристалічних породах, водню, газогідратів. Широке застосування оперативних мобільних технологій на різних етапах пошуків скупчень ВВ різного типу сприятиме прискоренню й оптимізації геологорозвідувального процесу в цілому.

**Ключові слова:** геоелектричне знімання, електрорезонансне зондування, аномалія типу поклад, вільний газ, сланцевий газ, метан, вугільна шахта.