

УДК 528.88(550.814:553.98)

А. И. Архипов, З. М. Товстюк, В. И. Лялько,
М. А. Попов, Т. А. Архипова, Е. И. Левчик, Т. В. Осканьян

Научный центр аэрокосмических исследований Земли ИГН НАН Украины, Киев

Методические принципы поиска залежей углеводородов на суше с использованием аэрокосмической информации

Представлено 25.06.07

Описана методология дистанционного поиска залежей углеводородов на суше, в основе которой концепция комплексного подхода к сбору и компьютерной обработке аэрокосмической и геологической информации. Подчеркивается необходимость учета параметров других физических полей. Приведены результаты решения ряда нефтегазопроисловых задач на основе реализации принципов описанной методологии.

Соотношение между суммарным уровнем потребления нефти и газа в мире и общим объемом их добычи на сегодня и в обозримой перспективе таково, что поиск новых залежей углеводородов (УВ) относят к числу наиболее важных и актуальных задач для обеспечения жизнедеятельности человечества.

Однако время открытия «простых» в геологическом отношении месторождений УВ давно прошло. Сегодня поиск и разведку новых залежей чаще всего приходится вести в труднодоступных и малоизученных географических районах, а сами залежи могут располагаться на весьма больших глубинах. Эти обстоятельства приводят к существенному удорожанию и увеличению сроков проведения необходимых нефтегазопроисловых работ, снижению эффективности традиционных методов поиска и разведки.

В этой связи активно прорабатываются и развиваются новые подходы к решению нефтегазопроисловых задач. Одним из перспективных направлений является оценка нефтегазоперспективности территорий с применением аэрокосмических методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). К их преимуществам относятся высокая оперативность, относительно низкая себестоимость, практическое отсутствие ограничений в географическом расположении изучаемой территории.

Основными геологическими задачами, решаемыми до недавнего времени с использованием аэрокосмических методов в производственном режиме, являлись выделение и изучение разрывных нару-

шений, блоковых полей и оценка их неотектонической активности, выявление локальных неотектонических аномалий, с которыми связаны нефтегазопроисловые объекты различных морфогенетических типов, а также некоторые другие задачи. Сегодня, благодаря постоянному совершенствованию дистанционных методов, существуют реальные предпосылки для решения еще более сложных в геологическом отношении задач поиска промышленных скоплений УВ [11].

Некоторые исследователи при оценке нефтегазоперспективности исследуемых территорий ограничиваются только аэрокосмической информацией, связывая различные яркостные аномалии и геометрические (пространственно-статистические) структуры на аэрокосмическом изображении с возможным наличием залежей УВ. В основе таких связей могут лежать как известные, так и новые, оригинальные модели геологических процессов. Конечно, такой подход позволяет свести к минимуму финансовые и временные затраты на принятие решений для постановки детальных нефтегазопроисловых работ. Однако гарантировать при этом точность принимаемых решений и прогнозов довольно трудно.

Более перспективным является другой подход, при котором решения о возможном наличии залежей УВ на изучаемой территории принимаются на основе комплексного анализа информации, получаемой геологическими, геофизическими, аэрокосмическими и другими методами. На этом пути ключевыми вопросами являются следующие: какими именно физическими методами можно и следует

ограничиться, насколько обоснованными и информативными являются используемые дешифровочные признаки при анализе аэрокосмических изображений для выявления залежей УВ, каким образом наиболее рационально комплексировать собранную информацию и принимать соответствующие решения, как оценить достоверность (или ошибку) прогноза?

Конструктивные ответы на большинство этих вопросов содержатся в методиках и технологиях поиска залежей УВ, разработанных и постоянно совершенствуемых в течение последних 15 лет в Научном центре аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины (ЦАКИЗ) [9—11].

В основу данных разработок положены следующие методические принципы:

- считается доказанным существование генетической связи залежи УВ с элементами ландшафта;
- исходной для анализа и приоритетной при принятии решений считается геотектоническая (разломно-блоковая) информация;
- обязательным элементом является ретроспективный анализ изучаемой территории по аэрокосмическим данным разного пространственного разрешения, полученным в различных спектральных диапазонах;
- использование в статистически необходимых объемах контрольно-калибровочной информации;
- региональная адаптация технологии;
- привлечение современных математических, алгоритмических и экспертных методов для анализа исходной информации и принятия решений;
- объективная оценка достоверности принимаемых решений.

Раскроем кратко суть выше перечисленных принципов.

Теоретические и экспериментальные исследования закономерностей прямого и опосредствованного влияния залежей углеводородов на ландшафт позволяет сделать вывод, что почти над всеми месторождениями УВ существуют аномальные зонально-кольцевые поля разного генезиса. При этом интенсивность нефтегенных явлений в верхней зоне зондирования определяется совокупным влиянием химических (термокаталитическая деструкция органического вещества, нарушение карбонатного равновесия, влияние оксидов Fe и пр.), биохимических (для аэробных и анаэробных бактерий и других микроорганизмов), физико-химических (миграция УВ, их диффузия, сорбция, растворение и прочие), физических (термо-, грави-, магнито-, радиоаномалий) процессов и в определенной мере зависит от плотности пород осадочного чехла [4]. Опыты обнаруживают приуроченность фильтрационных процессов к тектонически-ослабленным зо-

нам (разломов, крыльев и периклинальных участков структуры), тогда как диффузные процессы достигают максимальных значений в сводчатых частях структур. Эти процессы переноса энергии (в том числе тепла, жидких, парообразных и газообразных флюидов) приводят к ощутимой трансформации физико-химического состояния пород и грунтов над залежами УВ и в зонах разуплотнения пород, которая, в свою очередь, оказывает воздействие формированию в корнесобитаемом и приземном слоях данных территорий специфических эдафо- и температурных условий для роста и развития макро- и микробиоты. Есть основания предполагать, что вследствие совокупного влияния этих факторов на элементы дневной поверхности изменяются спектральные характеристики оптического поля ландшафта, но степень влияния каждого из факторов может быть разной, поэтому и набор информативных факторов может изменяться в зависимости от размеров исследуемой площади.

Растительный покров, тесно связанный со средой обитания, несет интегральную информацию об особенностях этой среды. Эта информация может быть зарегистрирована дистанционно, оптическими методами без нарушения целостности покрова по отражательным и флуоресцентным характеристикам объектов. Связь этих характеристик с физиологическим состоянием растений и грунтов описана, например, в [1—3, 5, 8]. Имеются данные, что отражательная способность растений и растительного покрова в целом в видимой области спектра зависит от поглощения солнечной радиации растительными пигментами и, в первую очередь, хлорофиллом (зелеными пигментами). В ближней инфракрасной (ИК) зоне отражательная способность растений и растительного покрова зависит от особенностей строения тканей листа, в средней ИК-зоне — от степени оводненности клеток и тканей растений. Выявлены также изменения спектров индуцированной лазером флуоресценции в связи с условиями минерального питания, наличием в среде выращивания высоких концентраций ионов тяжелых металлов, действием ряда экологических факторов [8]. Таким образом, возможна регистрация специфических признаков залежей УВ по соотношению оптических параметров растительного покрова.

Для почв основными факторами, определяющими их оптические характеристики, являются минеральный состав, степень окисленности железа, содержания гумуса и увлажненность, которые имеют место над залежами УВ, а для растений, кроме этого, кислотно-щелочной показатель pH, окислительно-восстановительный потенциал Eh, минеральный и газовый состав почв, а также температурный фактор.

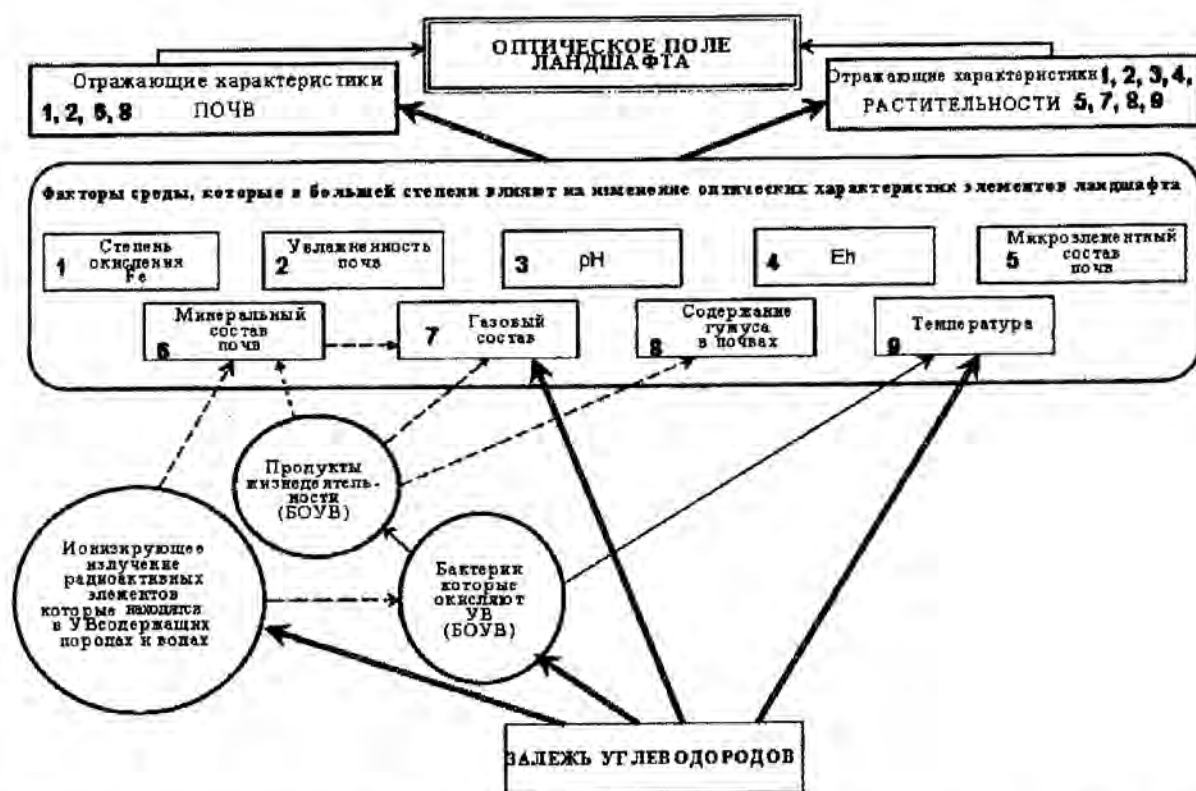


Рис. 1. Модель формирования аномалий оптического поля над залежами УВ [1]: 1 — изогипсы отражающего горизонта Vs2; 2 — изогипсы отражающего горизонта Vb2; 3 — разрывные нарушения (по данным сейсморазведочных работ); 4 — газовые скважины (пробурены после проведения наших исследований): а) продуктивные, б) непродуктивные; 5 — газовые скважины продуктивные (пробурены до проведения наших исследований); 6 — оптические аномалии, выделенные по данным ДЗЗ; 7 — линейменты (зоны напряженно-деформированного состояния литосферы)

В результате проведенного анализа факторов среды, которые влияют на дневную поверхность ландшафта, в частности, на его отдельные элементы (почвы, растительность), может быть предложена следующая концептуальная модель формирования аномалий оптического поля над залежами УВ (рис. 1). Здесь двойные стрелки отражают непосредственное влияние залежей УВ, а также факторов среды на составляющие почв или растительности. Тонкие и штриховые стрелки обозначают опосредствованное влияние, которое приводит к определенной трансформации свойств среды над залежью УВ. Анализ закономерностей данных факторов, которые проявляются в наличии нефтидогенных процессов над залежами УВ, рассмотрены в работе [2].

Важнейшее значение при нефтегазопроисловых работах имеют разломы как геофокиодинамические структуры, с которыми связано большинство месторождений Днепровско-Донецкой впадины.

Вместе с разломами нефтегазоносные структуры образуют в этом регионе прогнозные структурно-тектонические зоны.

Многолетний опыт дешифрирования показывает, что на снимках значительная часть разломов как зон линейного напряжения земной коры, в пределах которой различные физические поля изменяют свои свойства, обуславливая этим аномалии оптических характеристик элементов ландшафта, интерпретируются как линейменты. Поэтому изучение и уточнение разломно-блокового строения и неотектонической активности исследуемого региона имеют важное практическое значение. Наличие неотектонических блоков в благоприятных литофациальных условиях с непроницаемыми покровными создает благоприятные условия для нефтегазонакопления [2, 13, 17]. Изучение и уточнение разломно-блокового строения заданной территории с применением материалов многоспектральной аэрокосмической съемки позволяет выделить наи-

более активные неотектонические блоки и геофлюидодинамические структуры. Наличие таких структур может косвенно указывать на нефтегазоперспективность исследуемых площадей [2, 16].

В процессе изучения оптического поля ландшафта исследователи сталкиваются с проблемой выбора наиболее целесообразных с точки зрения информативности условий аэро- или космической съемки: периода вегетации растительного покрова, пространственного и спектрального разрешения применяемой аппаратуры, учета влияния техногенной нагрузки на ландшафт. Как показывают проведенные исследования, съемки наиболее целесообразно выполнять в периоды начала и конца вегетации растительного покрова [2, 3, 8].

Поскольку в диапазоне длин волн от 0.4 до 0.9 мкм яркостные различия между аномальными участками и фоном часто находятся вблизи порога чувствительности существующих систем формирования изображений, то возникает задача выделения малоконтрастных аномальных участков. Один из подходов к ее решению базируется на методе спектральных контрастов [13]. Его суть состоит в анализе информации, получаемой при изучении яркостных различий между объектом и фоном в узких зонах спектра, а также спектров флуоресценции и флуоресцентных параметров растительного покрова.

В общем случае задача выделения выявления оптических аномалий ландшафта является статистической. Для заверки результатов аэрокосмогеологических исследований, выполненных в камеральных условиях, исследуют спектральные отражающие свойства растительности и почв в зоне залежи УВ, так и вне нее. При этом достоверность принимаемых решений напрямую зависит от объемов получаемой таким образом исходной и заверочной информации. Используемый подход к определению статистически корректного объема такой информации описан в [14].

Практика показывает, что эффективность технологий ДЗЗ оказывается не одинаковой в разных геолого-геофизических и ландшафтных условиях. Поэтому непременным условием является проведение исследований по адаптации технологии к району исследований. В этой связи необходимо отметить, что в районах с высокой аграрной освоенностью, где значительно нарушены естественные ландшафты, применение указанного выше подхода при нефтегазопроисковых работах осложнено отсутствием однородных фаций и высокой техногенной нагрузкой. Наиболее благоприятными для использования метода дистанционного зондирования являются девственные ландшафты с ненарушенными фациями. Поэтому в каждом конкретном районе необходимо четкое выделение однородных фаций

ландшафта с целью изучения их оптических характеристик и выявления «аномалий типа залежь» (АТЗ).

Анализ результатов геолого-геофизических и дистанционных исследований для принятия решений о наличии либо отсутствии АТЗ проводятся методом последовательного слияния информации (Data Fusion), предполагающим использование количественных оценок достоверности [15]. Для обработки полученной информации используются стандартные программные продукты Statistic, Surfer, Excel, а также разработки авторов «Эксперимент-2», «Эксперимент-3», «Эксперимент-4».

Технология предполагает проведение оценки достоверности принимаемых решений. Такая оценка проводится либо путем испытаний на территориях, нефтегазовые активы которых известны, либо может быть получена по результатам непосредственного бурения. Получение необходимых количественных оценок достоверностей и точности выполняется путем построения матрицы ошибок (error matrix) [14].

Рассмотренные выше методические принципы являются базовыми для разработанной в ЦАКИЗ технологии поиска залежей УВ на суше с использованием аэрокосмической информации. Она является результатом многолетней совместной работы геологов-нефтяников, физиков-оптиков, биологов, геоморфологов, математиков и других специалистов [6, 12]. Данная технология поиска залежей УВ защищена патентами Украины UA № 63073 и UA № 56475 [9, 10]. Она прошла апробацию в различных геологических и ландшафтных условиях как в Украине, так и на территориях зарубежных стран. С ее помощью успешно решались следующие нефтегазопроисковые задачи:

- ранжирование нефтегазопроисковых объектов по критерию продуктивности, ранее подготовленных с использованием различных геологических и геофизических методов (Западная Сибирь, Татарстан, Пермское Прикамье);
- уточнение внешнего контура нефтегазонасности, в особенности для залежей УВ, характеризующихся гетерогенным строением природных резервуаров: тектонические блоки, литофациальные изменения и др. (Украина);
- оперативная оценка нефтегазоперспективности малоизученных площадей на этапе, предшествующем их вводу в поисковое бурение (Украина, Объединенные Арабские Эмираты).

Известно, что в настоящее время при использовании набора классических методов, успешность бурения поисково-разведочных скважин не превышает 33 % [7]. Поэтому каждое новое решение, позволяющее повысить этот показатель, дает значительный экономический эффект (бурение одной

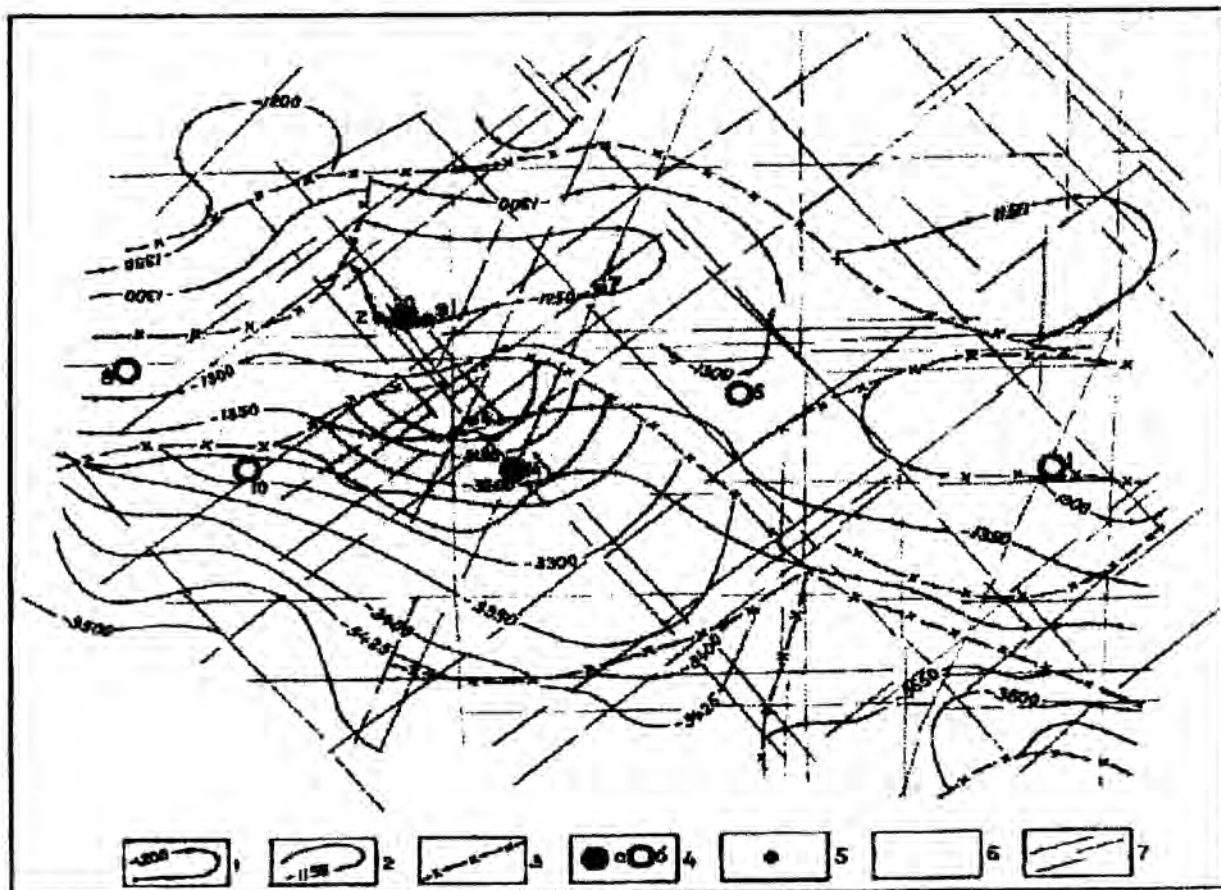


Рис. 2. Результаты апробации технологии на Евгеньевской площади (Днепровско-Донецкая впадина)

поисковой или разведывательной скважины составляет от 10 до 20 млн гривен). Предлагаемая технология с момента ее создания в начале 1990-х годов по настоящее время использовалась на 146 нефтегазопромысловых объектах, 76 из которых были проверены бурением. В различных геологических и ландшафтных условиях подтверждаемость прогнозов составляла от 76 до 82 %. Поисковые объекты — залежи УВ — располагались на глубинах от 1500 до 5000 м.

Основное содержание работ, предусмотренных данной технологией:

- фотометрирование материалов аэрокосмической съемки, выполненной в видимом и ближнем ИК-диапазонах электромагнитного спектра, и обработка их результатов;

- полевые работы на объекте исследования (фотометрирование образцов растительности и почв,

магнитометрические, в том числе педометрические, и литогеохимические исследования);

- принятие решений о выявлении / отсутствии АТЗ.

В качестве исходных данных предполагается использование материалов многоспектральной аэро- и космической съемки территории с пространственным разрешением на местности не хуже 30 м.

Целью фотометрирования видеоизображений, получаемых по результатам многоспектральных аэрокосмических съемок, и проведения комплекса полевых работ на объектах исследования является выявление оптических аномалий, обусловленных изменением различных физических полей над залежами УВ. Фотометрирование может быть выполнено с помощью стандартных программных продуктов ERDAS либо ENVI. В ЦАКИЗ для этой цели разработана и используется авторская программа

«Oil». В полевых условиях фотометрирование растительного покрова выполняется фотометрами ПФ-08 и КФ-08м (разработки ЦАКИЗ). Спектрофотометрирование образцов листьев растений и проб почв выполняется с использованием спектрофотометра СФ-1.

В качестве конечного информационного продукта выдаются картосхемы с выделенными аномальными участками над залежами УВ. В качестве примера на рис. 2 показана карта с результатами проведенных исследований на Евгеньевской площади в 2002 г. Следует отметить, что продуктивные скважины №№ 14 и 20 расположены в пределах оптических аномалий, а непродуктивные №№ 1, 6, 8, 10 — за их пределами (все данные скважины были пробурены после проведенных нами исследований).

Таким образом, в настоящей статье:

- сформулированы основные методические принципы поиска залежей УВ с использованием материалов аэрокосмических съемок;
- предложена модель формирования яркостных аномалий основных элементов ландшафта, которая поясняет формирование полезного сигнала, регистрируемого методами ДЗЗ;
- обоснована необходимость использования многоспектральной съемки (в узких зонах спектра) растительного покрова для решения нефтегазопроисловых задач;
- приведены примеры решения нефтегазопроисловых задач с использованием описанной технологии в различных геологических и ландшафтных условиях.

1. Архипова Т. О. Попередні результати геохімічних та дистанційних досліджень ландшафтів при розв'язанні нафтогазопроислових задач // Пошукова та екологічна геохімія. — 2004. — № 4. — С. 77—80.
2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К.: Наук. думка, 2006. — 357 с.
3. Выгодская Н. Н., Горшкова Н. И. Теория и эксперимент в дистанционных исследованиях растительности. — Л.: Недра, 1987. — 248 с.
4. Зорькин Л. М., Карус Е. В., Кузнецов О. Л. и др. Явление парагенезиса субвертикальных зонально-кольцеобразных геофизических, геохимических и биохимических полей в осадочном чехле земной коры / Открытие № 234 от 24.07.80 г.
5. Кочубей С. Н., Кобец Р. И., Шадчина Т. М. Спектральные свойства растений как основа методов дистанционной диагностики. — К.: Наук. думка, 1990. — 136 с.
6. Левчик О. І., Архипов О. І., Товстюк З. М. Використання методу лазерної флуоресцентної фітотиндикації при нафтогазопроислових роботах // Вісник НДУ ім. Т. Шевченка. Сер. Геологія. — 2000. — № 5. — С. 23—25.

7. Лукин А. Е. Прямые поиски нефти и газа: причины неудач и пути повышения эффективности // Геолог Украины. — 2004. — № 3. — С. 18—43.
8. Мовчан Л. И., Каневский В. А., Семичасовский В. Д. и др. Фитоиндикация в дистанционных исследованиях. — К.: Наук. думка, 1993. — 305 с.
9. Патент на винахід UA № 56475A, 7601V9/00. Структурно-геодинамічний спосіб прогнозування зон розвитку високопродуктивних порово-тріщинних колекторів / Перерва В. М. — Держ. департамент інтелектуальної власності. — Бюл. № 5. — Опубл. 15.05.2003 р.
10. Патент на винахід UA № 63073A. Мультиспектральний структурно-польовий спосіб прогнозування покладів нафти і газу / Перерва В. М., Тепляков М. О., Архипов О. І. та ін. — Опубл. 15.01.2004.
11. Перерва В. М., Архипов А. И., Бусел Г. Ф. и др. Состояние и пути совершенствования спутниковой технологии прогнозирования залежей нефти и газа // Космічна наука і технологія. — 2002. — № 2/3. — С. 201—206.
12. Перерва В. М., Левчик Е. И., Архипов А. И. Некоторые аспекты механизма формирования полезного сигнала в оптическом поле ландшафтов над залежами углеводородов // Космічна наука і технологія. — 2002. — № 2/3. — С. 187—197.
13. Перерва В. М., Лялько В. И., Архипов А. И. и др. Прямой поиск залежей нефти и газа дистанционными методами (предварительный опыт, перспективы развития). — К., 1995. — 83 с. — (Препринт / ЦАКИЗ НАНУ).
14. Попов М. А. Методология оценки точности классификации объектов на космических изображениях // Проблемы управления и информатики. — 2007. — № 1. — С. 97—103.
15. Попов М. А., Лялько В. И., Подорван В. Н., Сахацкий А. И. Методика классификации площадных объектов на многоспектральных космических изображениях на основе последовательного слияния информации // Материалы Второй открытой Всероссийской науч. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». — М.: ИКИ РАН, 2005. — С. 88—94.
16. Товстюк З. М. Прогноз локальных структур по аэрокосмогеологическим исследованиям в Днепровско-Донецкой впадине: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. — М., 1987. — 20 с.
17. Чабаненко І. І., Гожик П. Ф., Краюшкін В. О. та ін. Нафтогазоперспективні об'єкти України // Перспективи нафтогазоносності бортових зон закарпат України. — К.: ДП МОУ «Воєнне видавництво України «Варта», 2006. — 264 с.

REMOTE SENSING BASED METHODOLOGY FOR ONSHORE HYDROCARBONS FIELD ACQUISITION

A. I. Arkhipov, Z. M. Tovstyuk, V. I. Lyalko, M. A. Popov, T. A. Arkhipova, E. I. Levchik, T. V. Oskan'yan

Remote sensing based methodology for onshore hydrocarbons field acquisition is described. The complex approach to gathering and computer processing of the aerospace and geological information is proposed. Necessity of allowing for other physical fields is emphasized. The results of the decision of some oil and gas problems with the use of methodological principles under consideration are given.