

Каргашин П.Е.¹

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕШИФРИРОВАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА ПО СНИМКАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

АННОТАЦИЯ

Одним из важных этапов работ при географических исследованиях территорий добычи нефти и газа является инвентаризация техногенных объектов, а при решении производственных задач периодически возникает необходимость обновления карт. При выполнении экологической оценки территории крайне важно знать актуальное местоположение производственных объектов, а материалы экспедиционных исследований или качественные картографические материалы не всегда есть в наличии. В таком случае работы выполняются с применением различных данных дистанционного зондирования, при этом их выбор, как правило, обусловлен их доступностью, а не разрешением. Анализ работ по использованию космических снимков при изучении месторождений показал, что крайне мало внимания уделяется дешифрированию собственно инфраструктуры месторождений, распознаванию типов объектов, хотя корректное определение типа объекта важно, например, для выявления его потенциального воздействия на природную среду.

В рамках данной статьи рассмотрены особенности изображения площадных и линейных объектов нефтегазовых месторождений на снимках Landsat и систематизированы приемы визуального анализа изображений для точного и достоверного распознавания объектов добычи углеводородов на основе прямых и косвенных дешифровочных признаков. Суть предлагаемой методики состоит в поэтапном выделении разных типов объектов, анализе их функциональных связей, применении знаний о принципах организации работ на месторождении.

Исследование выполнялось на примере Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения, где размещены наиболее типичные объекты добычи и транспорта газа. В статье приведены фрагменты схем дешифрирования, иллюстрирующие этапы работы. Установлено, что снимки 30-метрового разрешения имеют значительный информационный потенциал и могут дать полную характеристику инфраструктуры месторождения, а не только локализовать нарушенные при освоении территории земли. Данная методика может быть использована в дальнейшем для оптимизации автоматизированного дешифрирования снимков высокого разрешения на территории добычи углеводородов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: космический снимок, визуальное дешифрирование, дешифровочные признаки, нефтегазоконденсатное месторождение, объекты инфраструктуры, кусочная площадка, трубопровод.

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия, e-mail: p.e.kargashin@mail.ru

Pavel E. Kargashin¹

VISUAL INTERPRETATION OF OIL AND GAS CONDENSATE FIELD FACILITIES FROM LANDSAT IMAGES

ABSTRACT

The inventory of man-made objects (for example, within the framework of an environmental study) is often necessary for surveys of oil and gas production areas. But a literature review of similar researches reveals that little attention has been paid to interpreting oil and gas field facilities themselves, as well as to recognizing the types of objects in satellite images of these areas.

This article considers the image characteristics of areal and linear objects of oil and gas condensate fields in Landsat satellite images. It also considers methods of visual analyzing of space images for the accuracy and reliability of those objects recognized on the basis of direct and indirect interpretation features.

The essence of the proposed technique consists in the step-by-step recognition of various types of objects, in an analysis of their functional relations, and in the application of knowledge about the principles of work organization at oil and gas condensate fields.

This article presents fragments of interpretive schemes that illustrate stages of work, taking as an example the Zapolyarnoye oil and gas condensate field. The author's research results show that images of 30 m resolution have a significant information potential, and at the same time can provide for a complete description of field infrastructure.

The application of the technique presented in this article is considered in the context of visual interpretation. However, it can become a foundation of automated work on the basis of image-classification algorithms. Another obvious direction is the use of this method in the preliminary analysis of a territory and, using ultra-high-resolution images, in the positioning of technical objects for subsequent specification of their characteristics.

KEYWORDS: satellite image, visual interpretation, interpretation features, oil and gas condensate field, infrastructure facilities, multiple-well platform, pipeline.

ВВЕДЕНИЕ

Данные дистанционного зондирования достаточно давно применяются в нефтегазовой отрасли. Спектр частных направлений их использования представлен в обзорных публикациях и монографиях [Аэрокосмический мониторинг объектов..., 2012]. Например, материалы аэро- и космической съемки применяются для разведки недр [Макриденко и др., 2008; Трофимов, 2009], оценки воздействия на природную среду [Елсаков, 2012; Yu et al., 2015] и в других направлениях научной и хозяйственной деятельности.

Более того, в нормативной документации, регламентирующей инженерные изыскания для строительства [СП 47.143330.2012], предписано использовать космические снимки в рамках изучения фондовых материалов. Раздел 8 этого документа, посвященный инженерно-экологическим изысканиям, содержит указание на ряд важных направлений, в которых должны использоваться данные дистанционного зондирования. Важнейшим звеном геоэкологического анализа территории месторождения является выявление объектов инфраструктуры, т. е. источников воздействия на природу. В СП

¹ Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia, e-mail: p.e.kargashin@mail.ru

47.143330.2012 «Инженерные изыскания для строительства. Основные положения» указано, что дешифрирование следует выполнять для оценки экологической обстановки, получения ретроспективных данных.

Инвентаризация инфраструктуры месторождения необходима для выполнения различных работ, например, при выполнении реконструкции объектов или планирования нового строительства следует давать характеристику техногенных условий, изменений экологического состояния, существующих источников воздействия на окружающую среду и т. д. Такое описание может быть выполнено только при наличии специфических фондовых данных или на основе дешифрирования космических снимков.

Данные дистанционного зондирования позволяют не только получить актуальную информацию, но и выполнить ретроспективный анализ, проследить изменения количества объектов и занимаемой ими площади, а также оценить их воздействие. Однако возможности данных дистанционного зондирования не ограничиваются созданием карт, они также полезны при получении количественной информации об освоенности территории, количестве техногенных объектов, рисках (например подтопление площадок) и т. д., что необходимо при текстовой оценке современного экологического состояния территории.

Геоэкологический аспект использования данных дистанционного зондирования, как правило, заключается в оценке состояния систем, включающих компоненты природной среды и техногенные объекты добычи и транспорта углеводородов. Основным объектом изучения и, как следствие, дешифрирования космических снимков является антропогенное воздействие на природные сообщества в пределах месторождений и территорий строительства трубопроводов. Такие исследования выполнялись, например, для Тазовского полуострова [Корниенко, 2011], Оренбургской области [Мячина, Дубровская, 2013], Ямало-Ненецкого автономного округа [Шарикалов, Якутин, 2011] и для многих других территорий размещения объектов добычи и транспортировки углеводородов.

В публикациях подчеркивается многообразие проявлений антропогенного воздействия на окружающую среду [Копылов и др., 2009; Абросимов и др., 2011]. Оно в значительной степени связано с разнообразием объектов и технологических процессов, обеспечивающих извлечение, подготовку и транспортировку углеводородов даже в пределах отдельного месторождения. Таким образом, важно не только выявить техногенно измененные территории, но и определить ключевые источники воздействия, т. е. элементы производственной инфраструктуры месторождений.

В научных публикациях и нормативных документах можно встретить лишь единичные упоминания о проблемах выявления техногенных объектов месторождений по космическим снимкам. В работе [Kumpula et al., 2010] приведены примеры дешифрирования и оценена возможность их распознавания по космическим снимкам различного разрешения. Чаще всего различные авторы упоминают о том, что объекты выделены посредством визуального [Елсаков, Щанов, 2004] или автоматизированного [Шарикалов, Якутин, 2014; Каргашин и др., 2016] дешифрирования снимков. Это зачастую связано с тем, что данный аспект лежит вне областей выполняемых исследований. Нормативные документы также не дают достаточной информации по методикам распознавания объектов нефтегазовой отрасли [Методические рекомендации..., 1995].

Схожесть спектральных образов антропогенных объектов и некоторых природных сообществ часто приводит к ошибочному отнесению природных объектов к техногенным или, наоборот, к отсутствию производственных площадок на схемах дешифрирования. Такие неточности возникают не только в случае автоматизированной классификации, но и при визуальном дешифрировании снимков [Каргашин, Карпачевский, 2015]. В связи

с этим важной становится выработка принципиальной последовательности работ, основанной на детальном знании объектов дешифрирования и географических особенностей территории исследований.

Выполненный анализ литературных источников позволил сформулировать цель исследования, которая состоит в поиске оптимальной последовательности дешифрирования инфраструктуры месторождений углеводородов, повышении достоверности распознавания источников воздействия на окружающую среду.

Такая цель потребовала решения ряда задач, среди которых: изучение принципов подготовки территории и сооружения производственных объектов месторождения нефти и газа; оценка геометрических и спектральных свойств данных дистанционного зондирования высокого разрешения; определение дешифровочных признаков отдельных объектов производственной инфраструктуры; оптимизация последовательности дешифрирования; оценка полученных результатов путем сравнения со снимками сверхвысокого разрешения.

Итогом работ стала методика визуального анализа изображений площадочных и линейных объектов месторождений нефти и газа на снимках Landsat для точного и достоверного распознавания этих объектов на основе прямых и косвенных дешифровочных признаков (на примере Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения). Новизной в данной работе является определение оптимальной последовательности дешифрирования объектов инфраструктуры месторождения, которая определяется их функциональными и пространственными связями. Это не менее важно, чем описание дешифровочных признаков отдельных линейных или площадочных объектов.

Предлагаемая методика оптимальна для применения на разных этапах инженерно-экологических изысканий, при изучении территории для расширения производства, для строительства новых объектов инфраструктуры месторождений. Применение данной методики в рамках инженерно-экологических изысканий возможно в рамках подготовительного этапа для обоснования состава и объемов работ, для выявления потенциальных источников воздействия на почвенный покров, растительность, водные объекты и т. д., а также как при описании природных и техногенных условий, хозяйственного использования территории, что необходимо включать в отчетную документацию.

Новизна рассматриваемого аспекта использования снимков высокого разрешения для инженерно-экологических изысканий заключается в том, что показан способ извлечения информации об инфраструктуре месторождений, который позволяет использовать получаемые результаты при планировании работ и написании отчета в качестве независимого источника информации, по которому следует проверять актуальность и достоверность фондовых, в том числе картографических данных о территории.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным источником данных были космические снимки со спутников Landsat, которые активно используются при геоэкологических исследованиях из-за их доступности и наличия архива съемки за несколько десятилетий. Основные характеристики съемочных систем и снимков представлены на веб-сайте Геологической службы США [<http://landsat.usgs.gov>].

Исследуемая территория – Заполярное нефтегазоконденсатное месторождение, которое осваивается с середины 90-х гг. и расположено в Ямало-Ненецком автономном округе. С точки зрения природных условий месторождение находится в лесотундровой зоне, в районах распространения многолетнемерзлых пород.

Анализ существующих технологий добычи и подготовки углеводородов на месторождении [Коршак, Шаммазов, 2001] позволяет составить перечень объектов дешифрирования, в который входят основные (кустовые площадки, установки подготовки и пере-

работки сырья, трубопроводы) и вспомогательные (населенные пункты, карьеры, дороги, линии электропередачи, линии связи и т. д.) площадочные и линейные объекты. Перечисленные объекты не отражают абсолютно все их типы, но этого вполне достаточно для того, чтобы представить инфраструктуру месторождения. Следует отметить, что разрешение снимков Landsat может не позволить распознать все указанные объекты из приведенного списка. В первую очередь это относится к линиям связи и электропередачи. С другой стороны, наиболее значимые и важные с точки зрения экологической оценки объекты имеют достаточную площадь для распознавания по снимкам Landsat.

Специфика данной предметной области и исследуемой территории такова, что при выборе снимков следует придерживаться следующих критериев: минимум облачности, бесснежный период (с мая по сентябрь), время суток – день. Для Заполярного месторождения и многих других территорий нефтегазодобычи эти критерии исключают возможность применения значительной части снимков. Например, на портале EarthExplorer [<https://earthexplorer.usgs.gov/>] за 2016 г. на территории Заполярного месторождения есть 54 снимка, и из них из-за облачности (пороговое значение – 10 % от площади сцены), времени суток, сезона исключается 45 снимков, т. е. около 90 %. Следовательно, крайне важно обеспечить максимально возможное извлечение информации из имеющихся данных дистанционного зондирования. При таком обеспечении исходными данными практически не стоит вопрос о выборе наиболее подходящих материалов, а дешифрирование выполняется на основе тех снимков, которые есть.

Подготовительная работа с данными дистанционного зондирования заключается в геометрической и радиометрической коррекции изображения, а также в выборе оптимального варианта синтеза для достаточно четкого и контрастного отображения именно антропогенных объектов.

На рис. 1 показан фрагмент снимка со спутника Landsat-8 центральной части Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения. Изображение получено при синтезе каналов SWIR, RED и BLUE, длины волн 1,560–1,660 мкм; 0,630–0,680 мкм; 0,450–0,515 мкм, соответственно. Такой вариант синтеза является достаточно удобным для распознавания техногенных объектов. Видно, что спектральные образы отдельных природных объектов близки к таковым для антропогенных объектов. Изучение специфики отображения техногенных и природных объектов, представленных на данном снимке, позволило определить типичные черты каждого объекта. Результатом предварительного анализа снимка является перечень дешифровочных признаков, представленный в табл. Выявленные для каждого типа объектов признаки послужили основой для создания схемы дешифрирования и формулировки принципиальной последовательности для выполнения работ.

Суть предлагаемой методики дешифрирования объектов добычи углеводородов заключается в поэтапном распознавании объектов разных типов и постепенном наполнении схемы дешифрирования содержанием. В данной методике важна последовательность дешифрирования объектов.

На первом этапе выполняется дешифрирование сети автодорог, которые связывают все площадочные объекты. Дороги, проложенные в пределах нефтегазовых месторождений, достаточно четко отображаются на снимке за счет ярко белого цвета и однородной структуры.

На втором этапе выявляются площадные объекты месторождения с учетом уже известной конфигурации дорожной сети. На данном этапе также выполняется определение типов выделенных объектов исходя из формы и размеров выделенных площадок. Площадные объекты месторождения имеют ярко-белый цвет из-за песчаной отсыпки, а очертания объектов – правильные. Представляется возможным различить кустовые площадки и территории комплексной подготовки нефти или газа. Цвет кустовых, как правило, белый, а для установок комплексной подготовки газа (УКПГ) цвет отдельных частей площадки может быть

голубым. Это объясняется различным составом объектов и сооружений в пределах кустовой площадки или площадки УКПГ и хорошо заметно при изучении снимков сверхвысокого разрешения. Также эти объекты существенно различаются по размеру и форме.

На третьем этапе выполняется распознавание трубопроводов, которые можно выявить по косвенным дешифровочным признакам по причине их подземной прокладки. При определении трубопроводов следует сначала определить те участки, которые ярко проявляются на снимке, а восстанавливать пропущенные участки трубопроводов лучше в завершение этого этапа.

Четвертый этап завершает процесс дешифрирования и заключается в проверке корректности определения типов объектов и их местоположения на основе совместного анализа всех объектов, выделенных на разных этапах работ.

Дешифровочные признаки некоторых объектов Заполярного месторождения по снимку съемочной системы OLI (Landsat-8). Синтез SWIR-RED-BLUE Interpretation features of the main types of objects within Zapolyarnoye gas field for image taken by OLI camera (Landsat-8). Band combination SWIR-RED-BLUE

Объект	Природный/ Техногенный	Дешифровочные признаки		
		Геометрические	Яркостные Цвет	Структурные
Кустовая площадка	Техногенный	Прямоугольник, размер небольшой	Белый	Однородная текстура и структура
УКПГ	Техногенный	Многоугольник, форма сложная, по размеру больше чем кустовая площадка	Белый и голубой	Неоднородная структура
Дорога	Техногенный	Узкая тонкая полоса	Белый	Почти всегда однородная текстура и структура
Трубопровод	Техногенный	Узкая тонкая полоса	Белый-голубой-желтый	Штриховая неоднородная структура (сочетание участков разного цвета)
Озера	Техногенный	Зачастую округлая	Черный	Однородная текстура и структура
Тундровые мохово-лишайниковые комплексы	Природный	Форма неправильная, занимают большие площади	Белый	Пятнистая структура
Пойменные таежные комплексы	Природный	Форма неправильная, небольшие по размерам	Оттенки красного	Однородные
Заболоченные комплексы	Природный	Форма неправильная	Оттенки желтого и красного	Пятнистая структура
Песчаные отмели	Природный	Узкие полосы, размер небольшой	Белый	Однородная текстура и структура



Рис. 1. Центральная часть Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения
Fig. 1. The central part of Zapolyarное gas field

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Итогом исследований стала методика, основанная на дешифрировании производственных объектов нефтегазоконденсатного месторождения по снимкам Landsat, которая позволяет учесть специфику этих объектов (были выявлены типичные черты каждого из них, наиболее важные из которых – средний размер, специфическая форма, взаимное расположение структурных частей и цвет) и получить корректные результаты.

Исследование показало, что объекты нефтегазового комплекса спорадически располагаются в пределах лицензионного участка и не занимают его площадь целиком, а перемежаются с природными объектами. Важным является тот факт, что все антропогенные объекты месторождения связаны между собой и могут быть представлены в виде «единого контура сложной конфигурации». Такой результат часто получается в результате применения автоматизированных методов дешифрирования [Каргашин, Карпачевский, 2015].

Дешифрирование транспортной сети является начальным этапом работ, это позволяет определить границы участка, используемого в производстве. Площадь территории, на которой фактически ведется добыча, может значительно отличаться от лицензионного участка или площади горного отвода.

Дороги достаточно четко определяются по снимкам высокого разрешения и проявляются в виде узких полос ярко-белого цвета и однородной текстуры. На рис. 2 представлен фрагмент снимка Landsat с выделенными дорогами.

Изучение площадных объектов позволило получить следующие результаты. В пределах исследованной территории было выявлено 27 кустовых площадок. Их периметр варьирует от 750 до 1800 м, в среднем составляя 1400 м. Их площадь меняется в пределах 0,026–0,058 км² при среднем значении 0,037 км². Установки комплексной подготовки газа больше кустовых площадок примерно на порядок и занимают площадь от 0,25 до 0,65 км². Они имеют более сложную конфигурацию за счет большего количества производственных участков.

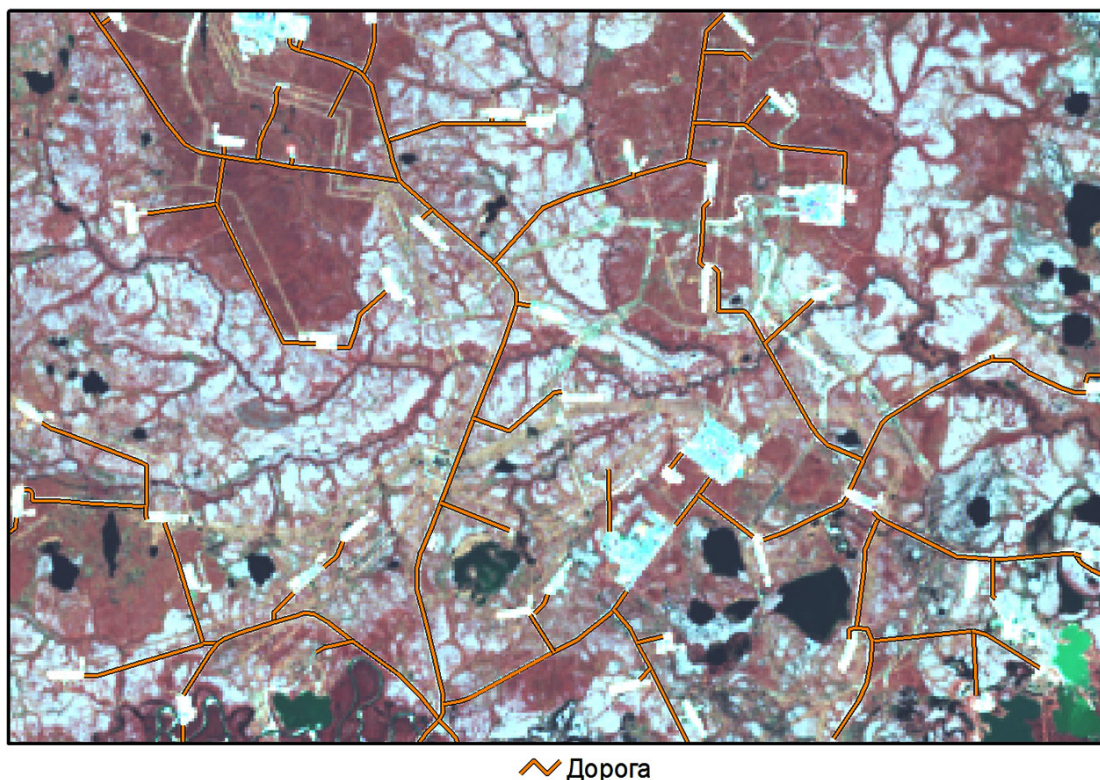


Рис. 2. Дорожная сеть Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения
 Fig. 2. Road network of Zapolyarnoye gas field

Наиболее сложный этап работ связан с дешифрированием трубопроводов. По снимкам распознаются фрагменты надтрубных валов и протяженные участки нарушенного почвенно-растительного покрова исходя из их специфической текстуры, формы и цвета. Однако эти элементы изображения не являются абсолютно достоверными, в связи с тем, что надтрубные валы со временем разрушаются. Поэтому непосредственно по снимку возможно проследить только фрагменты трубопроводов. Сложность представляют также участки параллельного прохождения нескольких труб, на которых затруднительно определить положение каждой нитки. В таких случаях достаточно ограничиться показом коридора, в котором проходит несколько ниток трубопроводов.

Наиболее перспективно при дешифрировании таких объектов использовать уже выделенные площадные объекты, так как трубопроводы проходят от кустовых площадок до установок комплексной подготовки газа. Именно в этом направлении и целесообразно их трассировать. Более того, по снимкам можно четко определить сгущение трубопроводов при приближении к УКПГ.

Рис. 3 демонстрирует итог дешифрирования всех техногенных объектов Заполярного месторождения, на нем показаны площадные и линейные объекты, выделенные по снимку Landsat-8.

Таким образом, по снимкам, полученным со спутников Landsat, доступных для специалистов научных и учебных организаций, представляется возможным не только показать расположение техногенных объектов, но и определить основные типы: кустовые площадки, установки комплексной подготовки газа, трубопроводы и дороги. Составленная схема дешифрирования отражает положение технических объектов месторождения с точностью, соответствующей исходным материалам – снимкам 30-метрового разрешения.

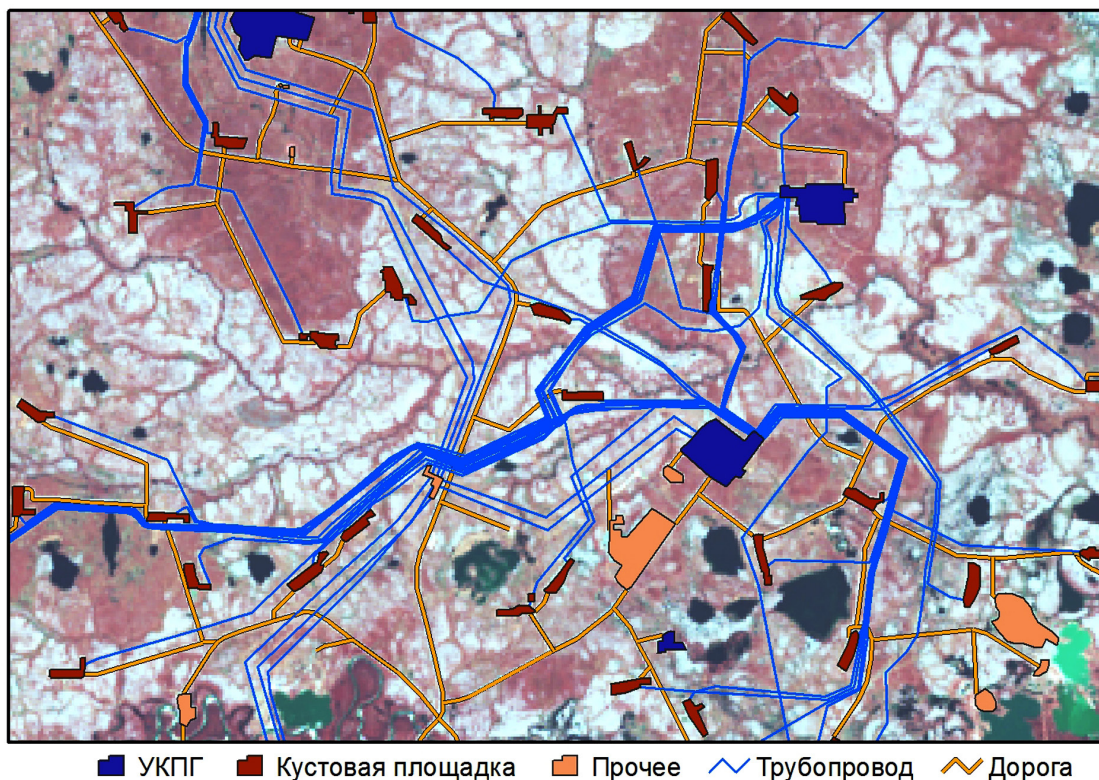


Рис. 3. Схема дешифрирования техногенных объектов
Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения

Fig. 3. The complete scheme of technogenic objects of Zapolyarnoye gas field

ВЫВОДЫ

В данной статье представлена процедура последовательного дешифрирования техногенных объектов нефтегазоконденсатного месторождения по изображениям, полученным со спутников Landsat, которая позволяет получить корректные результаты даже по снимкам 30-метрового разрешения. Изложенная методика показана на примере визуального дешифрирования, но может быть использована и для автоматизации работ на основе алгоритмов классификации изображений. Например, дешифрирование дорожной сети за счет ярко-белого цвета изображений дорог может быть выполнено автоматически даже на основе кластеризации. Дорожная сеть, в свою очередь, является основанием для задания буферной зоны, в которой находятся площадочные объекты и для создания маски, за пределами которой дешифрирование площадочных объектов и трубопроводов выполнять нецелесообразно.

Очевидным направлением применения данной методики является также предварительный ландшафтный анализ территории и специфики расположения технических объектов для последующего уточнения их характеристик по снимкам сверхвысокого разрешения.

Практическое использование полученных результатов возможно при экологических исследованиях территорий добычи нефти и газа, планировании дополнительных изысканий, то есть в тех случаях, когда необходимо учитывать существующую структуру месторождения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абросимов А.В., Беленов А.В., Брагин Е.А. Космический контроль недропользования и природопользования // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2011. № 12. С. 38–42.

2. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса / под ред. В.Г. Бондура. М.: Научный мир, 2012. 558 с.
3. *Елсаков В.В.* Спутниковая съемка в экологическом мониторинге регионов добычи углеводородов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9, № 5. С. 133–139.
4. *Елсаков В.В., Щанов В.М.* Дистанционный мониторинг разновременных нарушений растительного покрова в районах добычи и транспортировки нефти // **Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.** 2004. № 1. С. 152–155.
5. *Каргашин П.Е., Карпачевский А.М.* Автоматизация дешифрирования механических нарушений территории в лесотундровой зоне // *Инновационная наука.* 2015. № 12. С. 263–268.
6. *Каргашин П.Е., Новаковский Б.А., Карпачевский А.М., Каргашина М.А.* Сравнительная характеристика методов автоматизированной обработки снимков Landsat для дешифрирования месторождений газа в лесотундровой зоне // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка.* 2016. Т. 60, № 5. С. 100–104.
7. *Копылов В.Н., Кочергин Г.А., Полищук Ю.М., Хамедов В.А.* Использование данных ДЗЗ при решении региональных задач рационального природопользования // **Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.** 2009. Т. 1, № 6. С. 33–41.
8. *Корниенко С.Г.* Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // *География и природные ресурсы.* 2011. № 1. С. 67–73.
9. *Коршаков А.А., Шаммазов А.М.* Основы нефтегазового дела. Уфа: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2001. 544 с.
10. *Макриденко Л.А., Боярчук К.А., Милосердова Л.В., Малушина Н.И.* Информативность космических изображений для нефтегазогеологического дешифрирования // *Вопросы электромеханики.* 2008. Т. 105. С. 63–81.
11. Методические рекомендации по применению аэрокосмических методов для диагностики трубопроводных геотехнических систем и мониторинга окружающей среды. М.: ИРЦ Газпром, 1995. 60 с.
12. *Мячина К.В., Дубровская С.А.* Анализ динамики природно-техногенных комплексов нефтяного месторождения в Оренбургской области на основе использования неконтролируемой классификации космоснимков // *Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН.* 2013. № 2. С. 1–9.
13. *Трофимов Д.М.* Эволюция космических методов, результаты их использования в нефтегазопроисловых работах за период 1987–2007 гг. и потенциальные возможности в будущем // *Геоматика.* 2009. № 1. С. 7–16.
14. *Шарикалов А.Г., Якутин М.В.* Анализ состояния таежных экосистем с использованием методики автоматизированного дешифрирования // *Известия Алтайского государственного университета.* 2014. № 3 (83). Т. 1 С. 123–127.
15. *Шарикалов А.Г., Якутин М.В.* Геоэкологический анализ состояния антропогенных экосистем // *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий).* 2011. Вып. 3. № 16. С. 95–100.
16. *Kumpula T., Forbes B.C., Stammler F.* Remote sensing and local knowledge of hydrocarbon exploitation: the case of Bovanenkovo, Yamal Peninsula, West Siberia, Russia // *Arctic.* 2010. V. 63, No 2. P. 165–178.
17. *Yu Q., Epstein H.E., Engstrom R., Shiklomanov N., Streletskiy D.* Land cover and land use changes in the oil and gas regions of Northwestern Siberia under changing climatic conditions // *Environmental Research Letters.* 2015. V. 10. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124020>

REFERENCES

1. *Abrosimov A.V., Belenov A.V., Bragin E.A.* Space control of subsurface resources and nature management *Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy*. 2011. No 12. P. 38–42 (in Russian).
2. *Aerospace monitoring of oil and gas facilities* edited by V.G. Bondur. M.: Nauchnyy mir, 2012. 558 p. (in Russian).
3. *Elsakov V.V.* Satellite imagery in the ecological monitoring of the environmental monitoring of hydrocarbon production regions *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2012. V. 9, No 5. P. 133–139 (in Russian).
4. *Elsakov V.V., Shchanov V.M.* Remote monitoring of the disturbances of the vegetation covers, occurring at different times in the areas of production and transportation of oil *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2004. No 1. P. 152–155 (in Russian).
5. *Kargashin P.E., Karpachevskiy A.M.* Automatizing the interpretation of mechanical disturbances of territories in the forest-tundra zone *Innovatsionnaya nauka*. 2015. No 12. P. 263–268 (in Russian).
6. *Kargashin P.E., Novakovskiy B.A., Karpachevskiy A.M., Kargashina M.A.* Comparative analysis of the methods of automated processing of Landsat images for the interpretation of gas fields in the forest-tundra zone *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos'emka*. 2016. V. 60, No 5. P. 100–104 (in Russian).
7. *Kopylov V.N., Kochergin G.A., Polishchuk Yu.M., Khamedov V.A.* Using Earth remote sensing data for the solution of regional problems of rational nature management. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2009. V. 1, No 6. P. 33–41.
8. *Kornienko S.G.* Assessing the transformation of natural landscapes in the Taz peninsula, using satellite imagery data *Geografiya i prirodnye resursy*. 2011. No 1. P. 67–73 (in Russian).
9. *Korshak A.A., Shammazov A.M.* Fundamentals of Oil and Gas Engineering. Ufa: OOO "Dizayn PoligrafServis", 2001. 544 p. (in Russian).
10. *Makridenko L.A., Boyarchuk K.A., Miloserdova L.V., Malushina N.I.* The informativity of space images for oil and gas geological interpretation *Voprosy elektromekhaniki*. 2008. V. 105. P. 63–81 (in Russian).
11. Methodological recommendations on the application of remote sensing for diagnostics of pipeline geotechnical systems, and for environmental monitoring. M.: IRTs Gazprom, 1995. 60 p. (in Russian).
12. *Myachina K.V., Dubrovskaya S.A.* Analyzing the dynamics of natural-technogenic complexes in an oil field in the Orenburg Region, using an unsupervised classification of satellite images. *Byulleten' Orenburgskogo nauchnogo tsentra UrO RAN*. 2013. No 2. P. 1–9 (in Russian).
13. *Trofimov D.M.* Evolution of satellite methods, results of their application for oil and gas exploration in 1987–2007, and their potentialities in the future *Geomatika*. 2009. No 1. S. 7–16 (in Russian).
14. *Sharikalov A.G., Yakutin M.V.* Analyzing the state of taiga ecosystems, applying the automated image interpretation method *Izvestiya Altayskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2014. No 3–1 (83). P. 123–127 (in Russian).
15. *Sharikalov A.G., Yakutin M.V.* Geoecological analysis of the state of anthropogenic ecosystems. *Vestnik SGUGiT (Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta geosistem i tekhnologiy)*. 2011. V. 3, No 16. P. 95–100 (in Russian).
16. *Kumpula T., Forbes B.C., Stammler F.* Remote sensing and local knowledge of hydrocarbon exploitation: the case of Bovanenkovo, Yamal Peninsula, West Siberia, Russia Arctic. 2010. V. 63, No 2. P. 165–178.
17. *Yu Q., Epstein H.E., Engstrom R., Shiklomanov N., Strelestskiy D.* Land cover and land use changes in the oil and gas regions of Northwestern Siberia under changing climatic conditions *Environmental Research Letters*. 2015. V. 10. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/10/12/124020>