

УДК 622.276:504.54.05(470.56)

© К.В. Мячина

К.В. Мячина

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЛАНДШАФТНОЙ СТРУКТУРЫ НЕФТЕДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ СТЕПНОЙ ЗОНЫ ПРЕДУРАЛЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ



Введение

Объекты нефтедобычи оказывают многообразное негативное воздействие на ландшафты степной зоны и входят в ряд основных причин нарушения экологического равновесия. Одной из наиболее сложных задач при выполнении экологического мониторинга территорий нефтепромыслов является выявление действительной ландшафтной структуры, измененной и нарушенной в процессе создания и функционирования объектов нефтедобычи. Основным фактором изменений и нарушений служит отвод земель под объекты инфраструктуры (площадки скважин, установки сбора и подготовки нефти, факельных установок, создание нефтяных и шламовых амбаров и пр.), транспортные коммуникации (дорожную сеть, сеть линий электропередач, сеть трубопроводов). Одновременно нарушается естественное состояние участков, не отведенных в специальное пользование, но подвергающихся негативным воздействиям (механическим, химическим, тепловым и пр.). Площадь нарушенных земель является интегральным показателем и обуславливает возникновение и развитие таких общепризнанных индикаторов техногенной трансформации среды, как фрагментированность ландшафтов и деградация земель. В то время как современные степные экосистемы практически повсеместно представлены сельскохозяйственными ландшафтами, освоенными адаптировавшимися видами биоты, внедрение в сложившиеся агро-степные системы техногенных блоков недропользования способно нарушить сложившийся баланс и оказать значительное негативное влияние на состояние степной биоты.

Поэтому определение количества задействованных в нефтедобыче земель является инструментом, необходимым для обнаружения закономерностей динамики структуры ландшафтов на территориях месторождений, призванным

способствовать выявлению разницы между планируемым недропользователем и фактическим ущербом почвенно-растительному покрову, а также скорректировать модели оптимизации структуры степного землепользования.

Основными целями работы являются:

- подбор эффективного и надежного метода обнаружения нарушенных земель в степной зоне на основе данных дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения, имеющих в свободном доступе;
- выявление динамики ландшафтной структуры на участке староосвоенного месторождения нефти, расположенного в степной зоне Предуралья.

1. Объекты, материалы и методы

Использование данных дистанционного зондирования является в настоящее время практически безальтернативной возможностью получения объективной и достоверной информации о состоянии ландшафтов на больших территориях. Различные алгоритмы спектральных преобразований нередко используются в практике интерпретации спутниковых изображений для анализа динамики природно-техногенных комплексов, в том числе в ряде работ описаны удачные попытки выявления территорий, нарушенных инфраструктурой нефтяных месторождений [4, 5]. В предыдущих работах авторов представлены результаты решения задачи выявления нарушенных нефтяной инфраструктурой земель нефтеносных ландшафтов западной части Оренбургской области, являющейся одним из основных регионов нефтедобычи в России в границах степной зоны Предуралья, на основе использования спектральных преобразований снимков спутников Landsat, выполненных в период вегетации [1, 2, 3].

Угнетенный или отсутствующий растительный покров является отличительной особенностью территорий, находящихся в процессе интенсивного недропользования, что позволяет из многочисленных вариантов спектральных преобразований выбрать те, которые помогают дешифровать обнаженные участки земной поверхности. Однако в ходе предыдущих попыток автора решить указанную задачу для степных нефтеносных ландшафтов возникла серьезная трудность, заключающаяся в том, что основная часть объектов нефтепромышленной инфраструктуры находится в границах земель сельскохозяйственного назначения, вследствие чего исследуемая территория является весьма сложной для автоматического дешифрирования [1, 2, 6]. Степные регионы, как правило, характеризуются высокими показателями распаханности (более 50%), и западная нефтеносная часть Оренбургской области не является исключением: здесь более 70% территории составляют пахотные угодья, вносящие путаницу в результаты обработки спутниковых данных. Попытка применения маски сельскохозяйственных угодий для отделения участков инфраструктуры нефтепромыслов и облегчения дальнейшей обработки изображений не привела к желаемому результату в связи с большим количеством объектов месторождений, расположенных в границах сельскохозяйственных угодий, а также в

связи с разными стадиями обработки распаханых площадей в зависимости от года и сезона.

В процессе дальнейшего поиска методов выявления нарушенных ландшафтов было замечено, что на космических снимках, выполненных в зимний период и характеризующихся наличием устойчивого снежного покрова, визуальны выделяются участки, находящиеся в активной эксплуатации в процессе нефтедобычи. Используемые земли частично очищаются от снега, вытаптываются и загрязняются, что способствует приобретению ими отличных от окружающего заснеженного ландшафта спектральных характеристик. На основе этих выводов было принято решение использовать снимки с устойчивым снежным покровом для выявления и анализа динамики нарушенных нефтедобычей земель степных ландшафтов.

1.1 Ключевой участок изучения

В качестве ключевой территории исследования был выбран участок Бобровского нефтегазового месторождения, расположенный на территории Оренбургской области, разработка которого ведется с 1970 г. (рис. 1).

Бобровское месторождение нефти является одним из самых крупных в регионе, находится в промышленной разработке более 40 лет и характери-

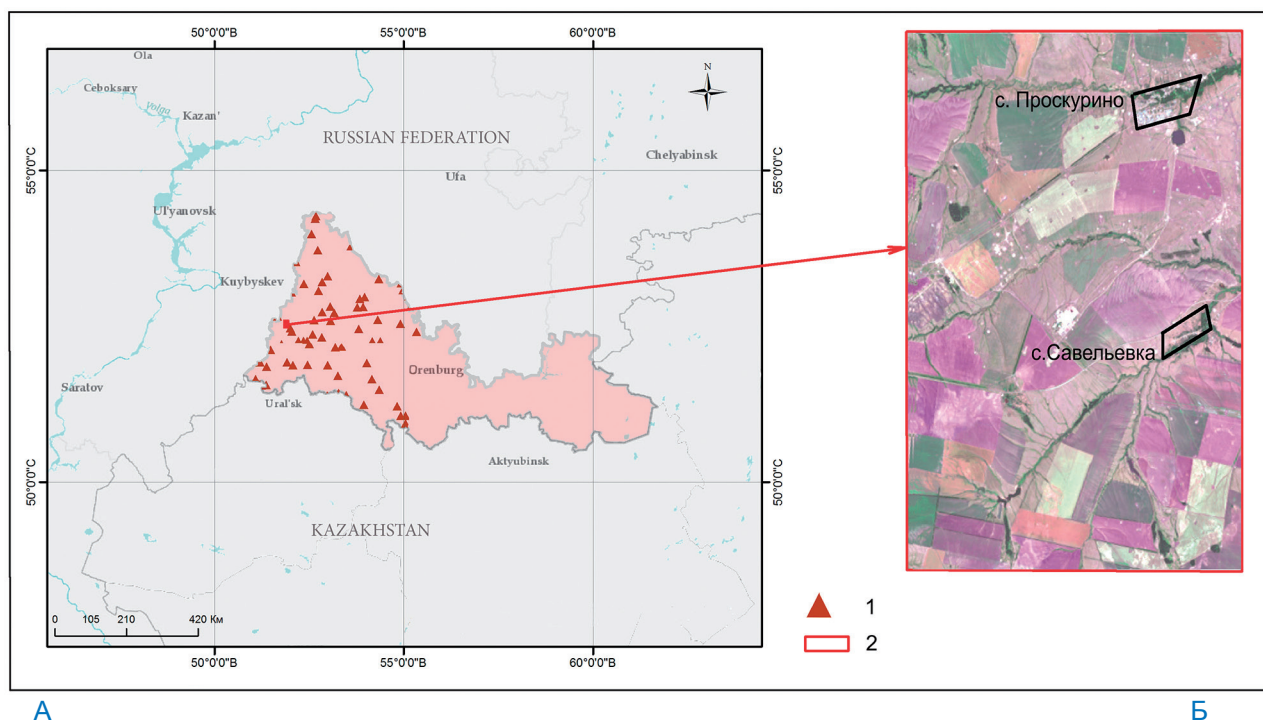


Рис. 1. А – Оренбургская область, расположена в Волго-Уральской нефтегазоносной провинции в пределах Предуральской степи, Б – ключевой участок исследования – часть Бобровского нефтяного месторождения.

Условные обозначения: 1 – нефтяные месторождения Оренбургской области, 2 – ключевой участок исследования в границах Бобровского месторождения нефти

зается большим объемом накопленной техногенной нагрузки, способствующей значительной трансформации природных комплексов. Месторождение расположено в подзоне типичной предуральской степи, что предполагает возможность интерполяции полученных результатов на ландшафты многочисленных нефтепромыслов, также расположенных в степной зоне.

Площадь выбранного для изучения участка составляет около 150 км², помимо многочисленных площадок с объектами месторождения на территории расположены 2 населенных пункта: село Проскурино и село Савельевка (см. рис. 1). Существенная часть объектов инфраструктуры нефтепромысла расположена в поймах р. Домашка и ее притоков, что усугубляет возможность негативных последствий для компонентов природной среды. На выбранном участке расположено также несколько прудов и небольших овражно-балочных и полезащитных лесных массивов.

1.2 Исходные данные

Ключевой участок месторождения расположен в границах сцены Landsat с параметрами Path 168 Row 23 и выбран таким образом, что попадает в «окно», свободное от артефактов (в виде полос на большей части изображения, связанных с неисправимым сбоем в работе камеры с 2003 года) на снимках спутников Landsat7 ETM. Это значительно расширяет возможности при подборе снимков для создания временного ряда изображений исследуемой территории с целью выявления динамики нарушенных земель. Подбор снимков временного ряда являлся важным этапом исследований и осуществлялся исходя из их соответствия как общепринятым критериям пригодности снимка для дальнейшего дешифрирования (наличие базового уровня обработки, низкая облачность), так и специфическим, необходимым для решения поставленной задачи. Так, для исключения осложнений в виде смешивания спектральных характеристик снежного и облачного покровов из всего доступного архива снимков, предоставленных к бесплатному доступу Геологической службой США (USGS) и включающих данный участок, подбирались изображения с облачным покровом не более 3%. Дополнительно для выбранного участка исследования данные по облачности корректировались по доступным метеоданным ближайших метеостанций. При изучении архива метеоданных также особое внимание уделялось случаям выпадения осадков в период, предшествующий дате снимка. Если осадки наблюдались за несколько дней или в день съемки, снимок считался непригодным для изучения, так как значительно снижалась разница в спектральных

параметрах выявляемых объектов и окружающей территорией. В итоге временной ряд для анализа динамики нарушенных земель был сформирован из трех снимков Landsat: LT5 от 28.02.1988 г., LT5 от 21.02.2009 г., LE7 от 02.03.2015 г. К сожалению, ряд не включает снимок периода, предшествующего началу разработки месторождения или начального этапа его освоения.

Обработка и анализ спутниковых изображений осуществлялись в ПО ENVI 5.2 и среде ArcGIS 10.2, предварительная подготовка снимков включала радиометрическую и атмосферную коррекцию. Для верификации результатов выявления нарушенных земель использовался точечный векторный слой объектов месторождения, содержащий 252 объекта, сформированный на основе GPS-фиксации координат в ходе полевых исследований 2007-2008 г. и дополненный данными ручной оцифровки материалов проекта Google Earth. Поэтому для апробации и оценки эффективности методов распознавания нарушенных земель целесообразно использовать снимок Landsat5-TM, выполненный 21 февраля 2009 г.

1.3 Подбор метода обнаружения нарушенных земель

Для решения задачи подбора эффективного и надежного метода обнаружения поврежденных земель в первую очередь выявлялись наиболее информативные каналы изображения, позволяющие максимально точно выделить нарушенные участки. В связи со значительной разницей в значениях альбедо снежного покрова и открытой почвы ожидалось, что разделение объектов по спектральным признакам не представит значительных трудностей. Действительно, во всех каналах отмечены большие различия отражательных характеристик заснеженных и незаснеженных образований, вследствие чего они четко фиксируются на изображении (рис. 2).

Однако, поскольку одной из основных характеристик отражательной способности почв является ее увеличение с увеличением длины волны [7], то наиболее информативным каналом для разделения почвы и окружающего заснеженного ландшафта можно предположить первый канал видимого спектра. В указанном канале, а также в ближнем ИФ канале, традиционно используемом для дешифрирования почв, оценивалась информативность выделения интересующих объектов путем логических запросов к значениям пикселей. Выявлено смешивание объектов инфраструктуры с загрязненным снегом, образовавшимся в результате оседания сажи при горении факелов сжигания попутного газа (см. рис. 2). Подобное смешивание объясняется тем, что альбедо загрязненного снега может снижаться до показателя

20% [7], в этом случае бывает трудно отделить по снимку снег от других объектов поверхности.

Таким образом, следующим шагом выполнялся поиск спектральных преобразований, позволяющих наиболее точно выделять эксплуатируемые в процессе нефтедобычи участки ландшафта. Анализировались результаты неконтролируемой классификации K-Means, с целью выявления оптимальной спектральной разделимости объектов, а также результаты классификаций на основе применения индексов, способствующих распознаванию обнаженных участков земной поверхности, таких, как Topsoil Grain Size Index (TGSI) и Soil Brightness (SB). Также испытывались индекс Normalized Differential Snow Index (NDSnI), помогающий дешифрировать снежный покров, и спектральное преобразование Tasseled Cap (TC), с расчетом компонента Brightness. Краткое описание спектральных преобразований и результаты их применения представлены в табл. 1 раздела «Результаты и обсуждение». С помощью указанных в табл. 1 подходов анализируемое изображение Landsat5-TM, от 21.02.2009 г. классифицировалось на два класса: «нарушенные земли» и «окружающий ландшафт».

Оценка точности классификаций нарушенных земель, выполненных на основе преобразований, перечисленных в табл. 1, осуществлялась по двум критериям:

- оценка количества распознанных объектов по сравнению с эталонным слоем, содержащим 252 точечных объекта. Для подсчета совпадений на основе точечного контрольного слоя был создан полигональный слой с буферной зоной размером 40 м, при том, что средний размер объекта на местности составляет 1-3 пикселя при пространственном разрешении изображения 30 м. Подобная величина буферной зоны призвана исключить погрешности в привязке объектов на местности, составляющие иногда, в случае размещения объектов в зоне плохого приема спутниковых сигналов, до 20 м. Подсчет совпадений объектов класса «нарушенные земли» с объектами контрольного слоя осуществлялся вручную;
- оценка ложного распознавания, т.е. увеличение площади класса за счет попадания посторонних объектов. Как указано выше, средний размер объекта составляет 1-3 пикселя, таким образом, при количестве объектов на контрольном

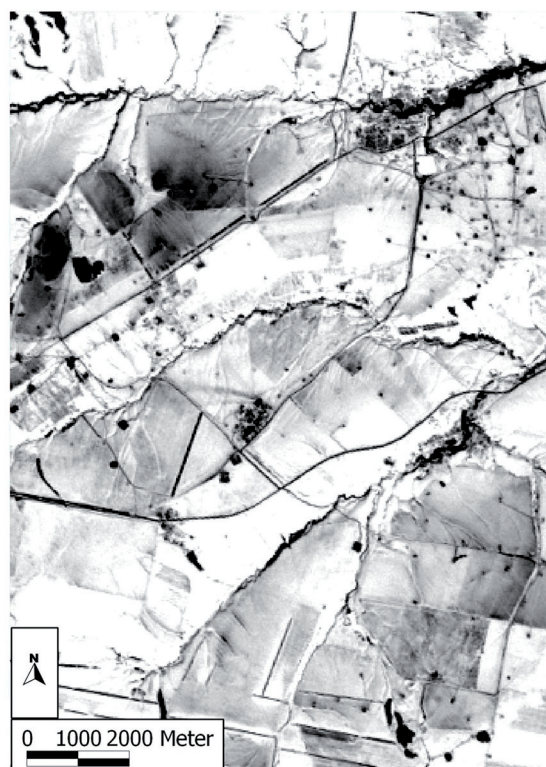
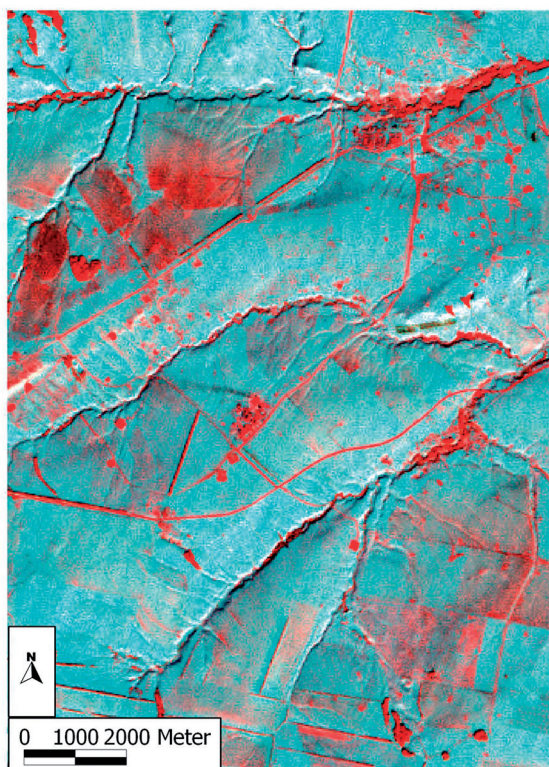


Рис. 2. Ключевой участок исследования. Слева показана комбинация 7(Р)-4(г)-2(Б) каналов Landsat5-TM. Голубым цветом отображается заснеженная территория, красным цветом показаны незаснеженные и/или загрязненные территории, в том числе площадки размещения нефтепромысловых объектов. Справа визуализирован синий канал Landsat5-TM, где черный цвет показывает отсутствие и/или загрязнение снежного покрова

Таблица 1

**Краткая характеристика и результаты применения спектральных преобразований,
анализируемых в ходе работы**

Преобразование	Краткое описание	Результативность применения	Оценка точности классификации	Ложное определение
K-Means	Алгоритм классификации без обучения. Оптимальная спектральная разделимость достигается путем отнесения каждого пикселя к какой-либо группе по критерию минимального евклидова расстояния от него до центра группы. Классификация выполнена за 15 итераций, максимальное стандартное отклонение от среднего равно 1.	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса «нарушенные земли» с классом «окружающий ландшафт» (с загрязненным снежным покровом).	Выделено 219 объектов, точность 86,9%	Превышение класса в 64,1 раза
GSI	Индекс основан на различиях в размере почвенных частиц, влияющих на отражательные свойства почвы, вычисляется по следующей формуле [11]: $GSI = (Red - BLUE) \times (Red + BLUE + Grin)$.	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса «нарушенные земли» с классом «окружающий ландшафт».	В значимом интервале выделено 78 объектов, точность 30,9%	Превышение класса в 14,8 раз
NDSnI	Вычисляется по формуле: $NDSnI = \frac{Red - NIR}{Red + NIR}$ Используется как для выделения снега и льда, так и для разделения этих классов на фракции [12].	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса «нарушенные земли» с классом «окружающий ландшафт» (с загрязненным снежным покровом).	В значимом интервале выделено 145 объектов, точность 57,5%	Превышение класса в 18,1 раз
SB	Индекс увеличивает коэффициент отражения почвы за счет использования красного, ближнего инфракрасного и зеленого каналов [13]. Вычисляется по формуле: $0,4328 \times (Green) + 0,6490 \times (Red) + 0,4607 \times (NIR)$.	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса «нарушенные земли» с классом «окружающий ландшафт».	В значимом интервале выделено 120 объектов, точность 47,6%	Превышение класса в 15,1 раз
Tasseled Cap (TC)	Спектральные преобразования TC, являющиеся частным случаем анализа главных компонент, основаны на расчете некоррелированных составляющих снимка, позволяющих более детально анализировать его спектральный отклик. Оценивались результаты анализа по основному компоненту Brightness, который определяется по следующей формуле: $TC(Brightness) = 0,3037 \times (Blue) + 0,2793 \times (Green) + 0,4743 \times (Red) + 0,5585 \times (NIR) + 0,5082 \times (SWR1) + 0,1863 \times (SWR2)$.	На классифицированном изображении наблюдается значительное смешивание класса «нарушенные земли» с классом «окружающий ландшафт».	В значимом интервале выделено 139 объектов, точность 55,2%	Превышение класса в 16,6 раз

Co-occurrence measures	В основе преобразования лежит формирование матриц пространственной смежности яркости пикселей. Матрицы формируются на основе вычислений того, как часто пиксель со значением интенсивности i встречается по горизонтали с пикселем со значением интенсивности j . На основе таких матриц вычисляются статистические характеристики изображения второго порядка, называемые текстурными признаками, которых на данный момент известно несколько десятков.	Значимым является признак Variance, рассчитанный для 1-ого канала изображения (Blue). На классифицированном изображении увеличение площади класса «нарушенные земли» наблюдается за счет включения участков пойм, овражно-балочной сети и лесозащитных полос.	В значимом интервале выделено 188 объектов, точность 74,6%	Превышение класса в 35,7 раза
		Значимым является признак Mean, рассчитанный для 4-ого канала изображения (NIR). На классифицированном изображении увеличение площади класса «нарушенные земли» наблюдается за счет включения участков пойм, овражно-балочной сети и лесозащитных полос.	В значимом интервале выделено 202 объекта, точность 80,16%	Превышение класса в 39,6 раза

слое, равном 252, класс распознаваемых объектов «нарушенные земли» должен занимать около 756 пикселей. Ожидаемо, площади класса будут расширены за счет включения пойменных и овражно-балочных участков, а также лесозащитных полос.

Ни один из вышеперечисленных методов либо не показал достаточно высокой эффективности выделения нарушенных земель, либо в результатах наблюдалось значительное расширение площади значимого класса за счет включения территорий с более темным (загрязненным) снежным покровом (см. раздел «Результаты и обсуждение»). В связи с этим было решено использовать преобразование, основанное на интерпретации такого дешифровочного признака, как текстуры объектов и образований. Текстура формируется закономерностями пространственного распределения элементов поверхности и проявляется в сохранении либо нарушении тоновой однородности изображения. Матовую текстуру имеют однородные участки поверхности: снежный покров на безлесных пространствах (матовая белая текстура), участки сплошного хвойного леса и освободившиеся от снега переувлажненные территории (матовая черная текстура). Также существенными оказываются искажения снежного покрова вследствие попадания исследуемой территории в район населенных пунктов и пойм [7].

Для описания текстуры изображений использовался статистический подход Co-Occurrence Measures, представляющий анализ матрицы совместной встречаемости уровней серого тона пикселей. На основе таких матриц вычисляются статистические характеристики изображения второго порядка, называемые текстурными признаками, которых на данный момент известно несколько десятков. Метод Co-Occurrence Measures широко используется как для дешифрирования снежного и облачного покровов [7, 8] так и для выявления ландшафтной структуры [9], в том числе и для распознавание нарушенных территорий на основе снимков Landsat [10]. При использовании инструмента Co-Occurrence Measures, доступного в ПО ENVI, рассчитываются такие признаки текстуры, как среднее значение, дисперсия, однородность, отличие, сравнение, непохожесть, второй момент и корреляция. При этом необходимо определить эффективные признаки для оценки текстуры изображений интересующих объектов.

При определении значимых границ класса нарушенных земель на зимнем снимке в искомый класс попадают как объекты инфраструктуры (площадки размещения объектов и линейные объекты дорожно-транспортной сети), так и образования, вызывающие искажения определяемого класса. Площади класса «нарушенные земли» расширяются за счет включения населенных пунктов, пойм, овражно-балочной

сети и сети лесозащитных полос, обрамляющих сельскохозяйственные угодья. Для исключения расширения площади определяемого класса за счет территорий населенных пунктов использована маска их территории, выполненная по существующим картам масштаба 1:200 000. Однако создать маску пойменных и овражно-балочных участков не представляется возможным, так как на зимних снимках указанные участки смешиваются с нарушенными землями, а на бесснежных изображениях наблюдается смешение пойменной и овражно-балочной растительности с сельскохозяйственными всходами. Принято решение о включении пойменных, овражно-балочных территорий и лесозащитных полос в класс «нарушенные земли». Пойменные, овражно-балочные территории и лесозащитные полосы существуют на всех изображениях временного ряда без кардинальных изменений, соответственно, взаимно нивелируются при подсчете изменений площади нарушенных земель, в связи с чем не ожидается большой погрешности при оценке динамики нарушенных земель по временному ряду изображений. Более того, развитию овражно-балочной сети и, соответственно, увеличению площади класса нарушенных земель могут способствовать воздействия, оказываемые на ландшафты в процессе внедрения объектов нефтедобывающей инфраструктуры.

2. Результаты и обсуждение

В табл. 1 представлена краткая характеристика и результаты эффективности применения спектральных преобразований для классификации изображений с целью выделения нарушенных при нефтедобыче земель и оценки ландшафтной структуры.

Как видно из табл. 1, наиболее высокий показатель попадания распознаваемых объектов в границы класса «нарушенные земли» отмечается в случае классификации изображения методом неконтролируемой классификации K-Means. Однако наблюдается значительное расширение площади класса, и, соответственно, количество ложных определений, за счет включения в класс загрязненного, например, в результате горения факелов сжигания попутного газа снежного покрова.

Метод, показывающий наиболее точный результат распознавания класса «нарушенные земли», определялся по итоговым классифицированным изображениям следующим образом:

- сначала исключались преобразования, показывающие точность распознавания класса «нарушенные земли» – менее 50% (GSI, Soil Brightness);
- затем исключались методы, показывающие расширение площади класса «нарушенные

земли» за счет окружающего снежного покрова (K-Means, NDSnI, Tasseled Cap) (рис. 3).

Таким образом, наиболее точные результаты выделения класса «нарушенные земли» показывает метод расчета текстурных характеристик Co-Occurrence Measures. Выявлено, что наиболее информативными являются признак «Дисперсия», рассчитанный для синего канала изображения (точность выделения искомого класса 74,6%), а также признак «Среднее значение», рассчитанный для ближнего инфракрасного канала изображения (NIR) с длиной волн 0,76-0,90 мкм (точность выделения 80,16%). К сожалению, канал с подобными длинами волн отсутствует в изображениях, получаемых со спутника Landsat 8 OLI (в ближнем инфракрасном канале используются длины волн 0,85-0,88 мкм), что исключает возможность его применения, в случае необходимости, в составе временного ряда снимков. В связи с указанными расхождениями в изображениях Landsat TM, ETM и OLI для выделения классов «нарушенные земли» и «окружающий ландшафт» наиболее целесообразно использовать текстурную характеристику «Дисперсия», рассчитываемую для синего канала изображения, показавшую достаточно высокий результат распознавания объектов класса «нарушенные земли» в значимом интервале значения пикселей 9-60,5556 (рис. 4).

Расширение площади целевого класса происходит только за счет включения пойменных и овражно-балочных образований, а также лесозащитных полос.

2.1 Апробация метода

Метод был протестирован на снимке Landsat 8 OLI от 03.03.2015 г., с параметрами path 167 row 23, включающем участок Кодяковского месторождения нефти площадью 146 кв. км, расположенного на территории степной зоны Оренбургской области. Для подтверждения предположения о том, что площадь класса «нарушенные земли» расширяется, в основном, за счет объектов, имеющих практически неизменную структуру и схему размещения (и, соответственно, возможность взаимного нивелирования при оценке временного ряда снимков), в качестве ключевой территории выделен участок со значительной плотностью подобных объектов (участков пойм, овражно-балочной сети и лесозащитных полос).

В течение полевого сезона 2014 г. для указанного участка был создан контрольный точечный слой, содержащий координаты 45-и площадок с объектами инфраструктуры. При распознавании нарушенных земель на основе изображения текстурной характеристики «Дисперсия», рассчитанной для

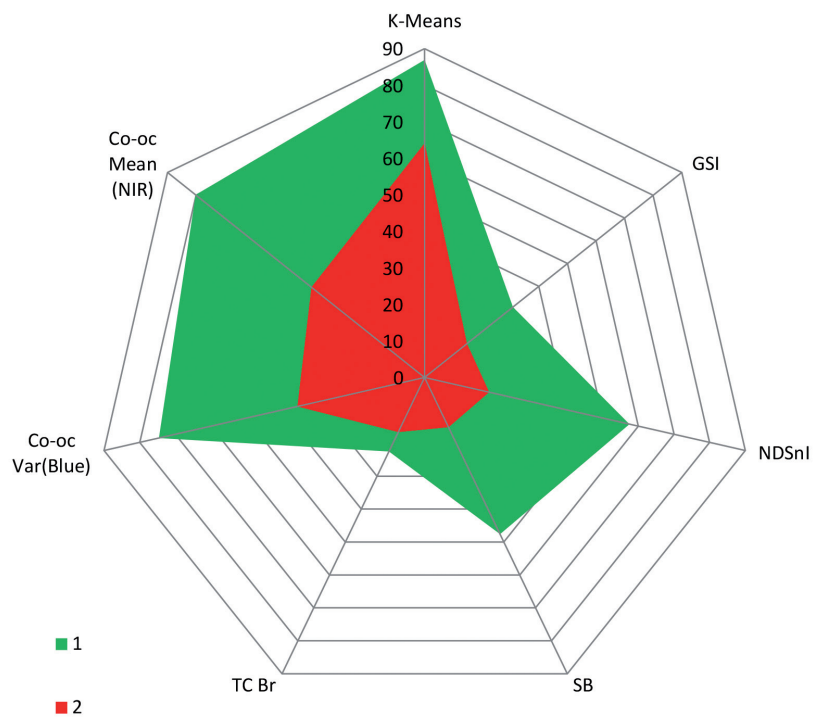
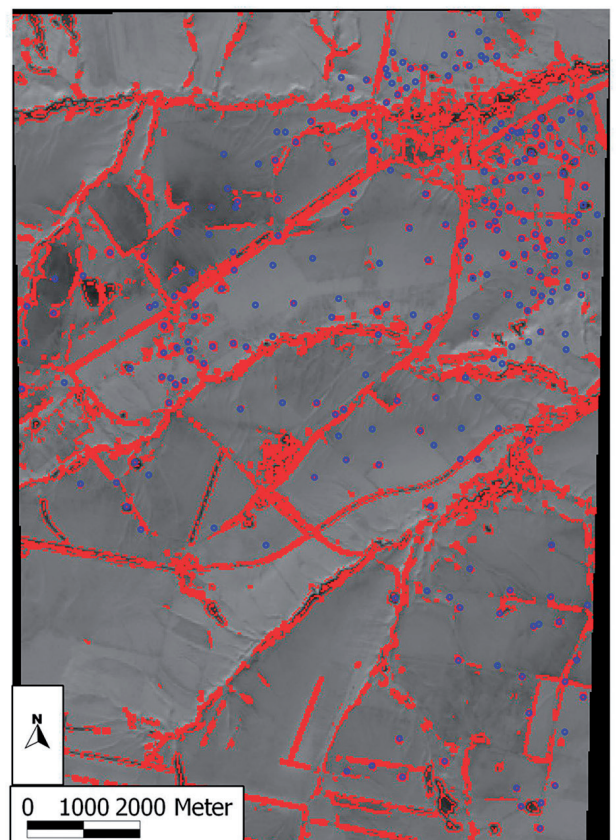
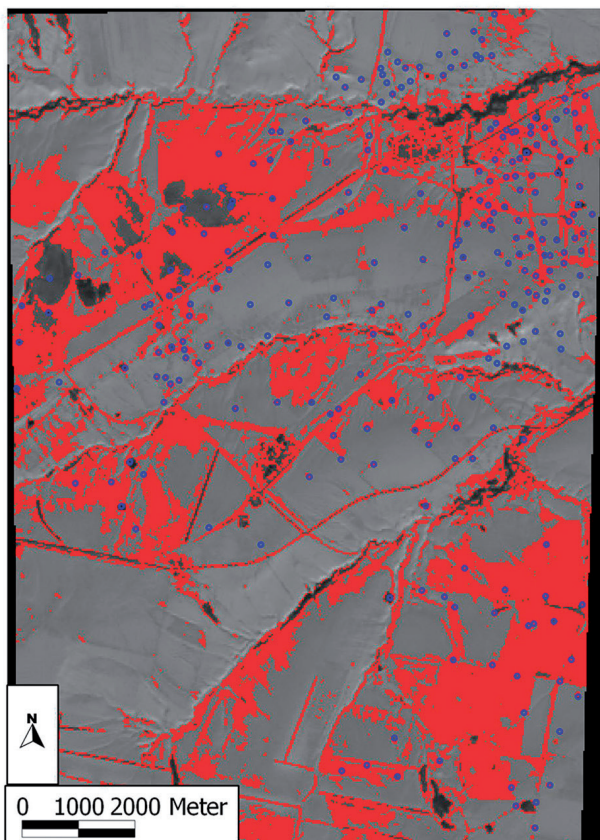


Рис. 3. Диаграмма точности распознавания класса «нарушенные земли» для различных методов спектральных преобразований



□ 1 ■ 2

Рис. 4. Результаты выявления нарушенных ландшафтов: 1 – контрольные объекты месторождения; 2 – поврежденные территории, рассчитанные методом неконтролируемой классификации K-Means (слева) и методом анализа текстурных характеристик (признак «Дисперсия») для синего канала изображения (справа)

синего канала изображения методом Co-occurrence, точность определения класса «нарушенные земли» в значимом интервале значения пикселей 9-60,5556 составила 68,2%. Особенность данного тестируемого участка заключается в значительно меньшей интенсивности разработки недр и, соответственно, значительно меньшей плотности объектов инфраструктуры месторождения. При этом, плотность лесозащитных полос, пойменных и овражно-балочных образований значительно выше, чем на участке Бобровского нефтегазового месторождения. Последнее обстоятельство объясняет величину показателя ложного определения (в 114,3 раза) (рис. 5).

Однако, как упоминалось выше, неизменность структуры и схемы размещения подобных образований позволит нивелировать их вклад в случае оценки динамики класса «нарушенные земли» по временному ряду снимков.

С учетом того, что значительная часть объектов нефтепромыслов имеет небольшие размеры (в пределах 1-3 пикселей), не является абсолютно достоверным даже их визуальное распознавание на спутниковых снимках среднего пространственного разрешения (30 м). Такое пространственное разрешение обеспечивает точность данных Landsat в масштабе до 1:200 000. Исходя из этих соображений,

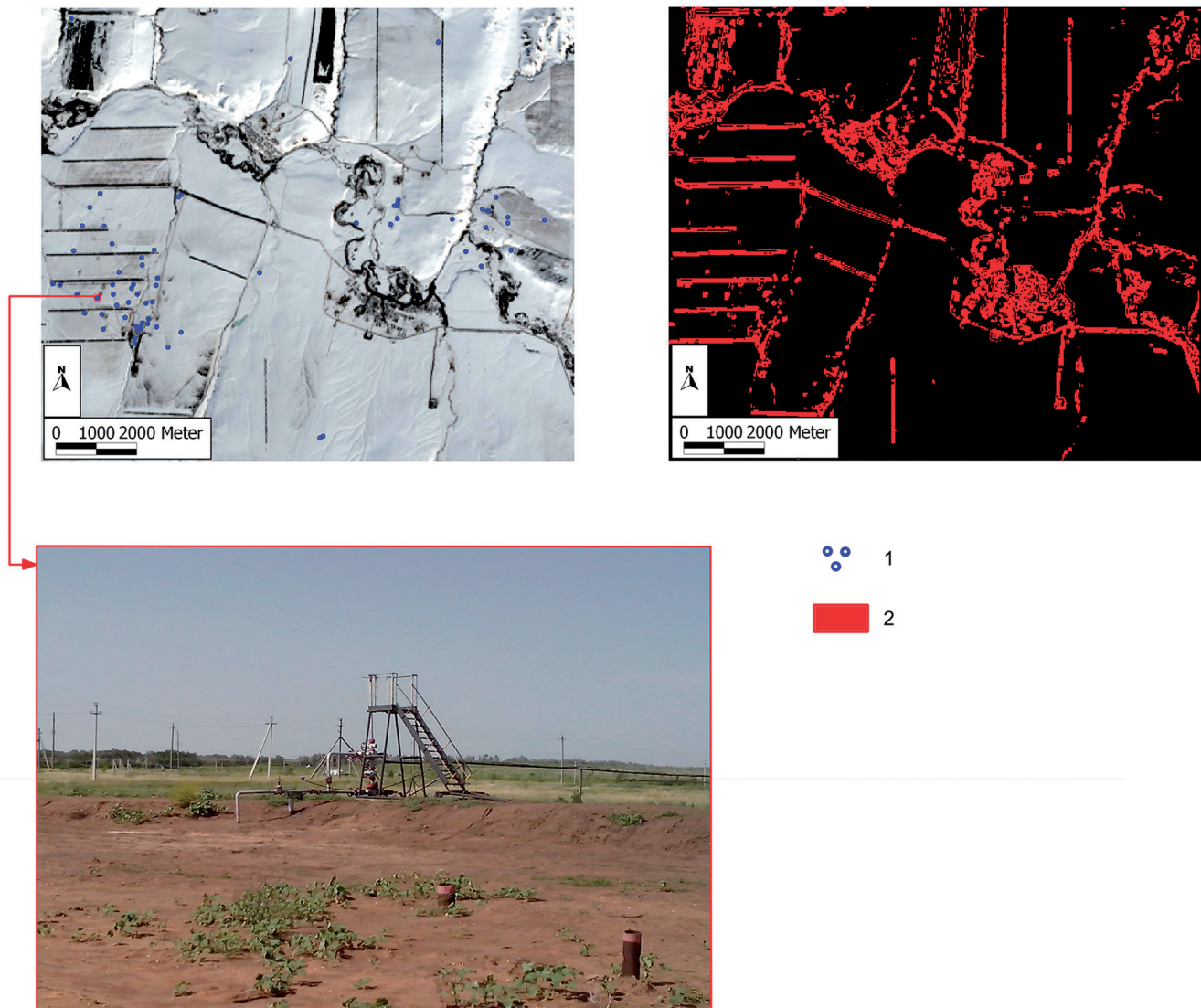


Рис. 5. Участок Кодяковского нефтяного месторождения.
 1 – контрольные объекты месторождения; 2 – нарушенные земли, выявленные методом анализа текстурных характеристик (признак «Дисперсия») для синего канала изображения

процент совпадения контрольных данных и класса «нарушенные земли», составляющий 67%-74%, можно считать удовлетворительным для поставленной задачи.

2.2 Анализ динамики нарушенных земель на основе подобранного метода с использованием временного ряда спутниковых изображений

С использованием метода расчета текстурных характеристик Со-осцигенсе выполнено распознавание поврежденных инфраструктурой нефтедобычи земель на участке Бобровского нефтегазового месторождения на снимках временного ряда (LT5 от 28.02.1988 г. и LE7 от 02.03.2015 г.) (рис. 6).

Результаты обработки снимков были классифицированы в 2 класса: «нарушенные земли», «окружающий ландшафт». Результаты анализа отображены в табл. 2.

Как видно из таблицы, за период эксплуатации месторождения более чем в 20 лет, с 1988 по 2009 г., произошло увеличение нарушенных территорий почти в 2,94 раза, что является значимым показателем для территории столь небольшого размера (15 000 га). Однако, в 2015 г. прослеживается снижение количества нарушенных площадей. Для уточнения этой ситуации выполнено обследование территории по данным высокого разрешения, представленным в проекте Google Earth и датированным 2013-2104 гг. Выявлено, что в вегетационный период площадки размещения объектов четко выделяются на участке изучения. Таким образом, можно предположить, что в зимний период 2015 г. при эксплуатации месторождения площадки объектов не были очищены, что маловероятно. Гораздо более вероятным представляется, что значительная часть объектов не эксплуатируется, при этом, участки под ними остаются нерекультивированными. Наличие бездействующих объектов, в основном, скважин также подтверждается некоторыми интернет-источниками [14]. Для окончательного вывода по современной ситуации с нарушенными землями на участке Бобровского месторождения необходимо проведение дальнейшего мониторинга.

С использованием программы Fragstat 4.2 на основе классифицированных изображений временного ряда для участка Бобровского нефтепромысла были вычислены основные параметры фрагментации для 1988 и 2009 гг., характеризующие базовую структуру ландшафтов месторождения (см. табл. 2). Для 2015 г. параметры фрагментации не оценивались в связи с тем, что зимние показатели не отражают существующей на данный момент картины состояния ландшафтов. Как видно, фрагментированность

ландшафтов по ситуации на 2009 г. значительно выше, существенно сократились как площадь, так и количество фрагментов не нарушенных нефтедобычей земель.

Заключение

В результате работы подобран достаточно эффективный метод обнаружения нарушенных земель и, соответственно, выявления ландшафтной структуры в степной зоне, предлагаемый для спутниковых данных, имеющих в свободном доступе. Последний фактор значительно повышает практическую ценность метода, так как снижает финансовые ограничения его применения, а также может способствовать внедрению регулярного мониторинга проблемных территорий. Осознание того, что экологические надзорные органы держат территорию под постоянным контролем, будет значительно способствовать соблюдению недропользователями проектных норм и правил восстановления и рекультивации. Кроме того, для космических снимков пространственного разрешения 30 м полученный результат является достаточно аккуратным. В ситуации, когда площадь исследования велика, а доступ на объекты исследования ограничен, предложенный метод является доступным и весьма информативным способом получения оперативной информации.

На основе применения предложенного метода показано, что к середине цикла развития ключевой территории в составе Бобровского нефтяного месторождения количество нарушенных земель закономерно увеличивается. Предполагается, что часть площадей, выведенных из использования на данный момент, не подвергались надлежащим процедурам восстановления. Это предположение, однако, требует дальнейших подтверждений.

Предлагаемые параметры фрагментированности в доступной форме отображают объективное геоэкологическое состояние и ландшафтную структуру исследуемого участка и могут служить значимыми показателями при разработке схем модернизации степного природопользования.

При разработке мероприятий по ландшафтно-экологической реабилитации нарушенных земель данные дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения могут служить основой для проведения регулярного геоэкологического мониторинга степных нефтяных ландшафтов с целью своевременного выявления вероятности их трансформации до стадии необратимых изменений.

Ключевые слова: нефтедобыча, степная зона, ландшафт, трансформация, динамика, Landsat.

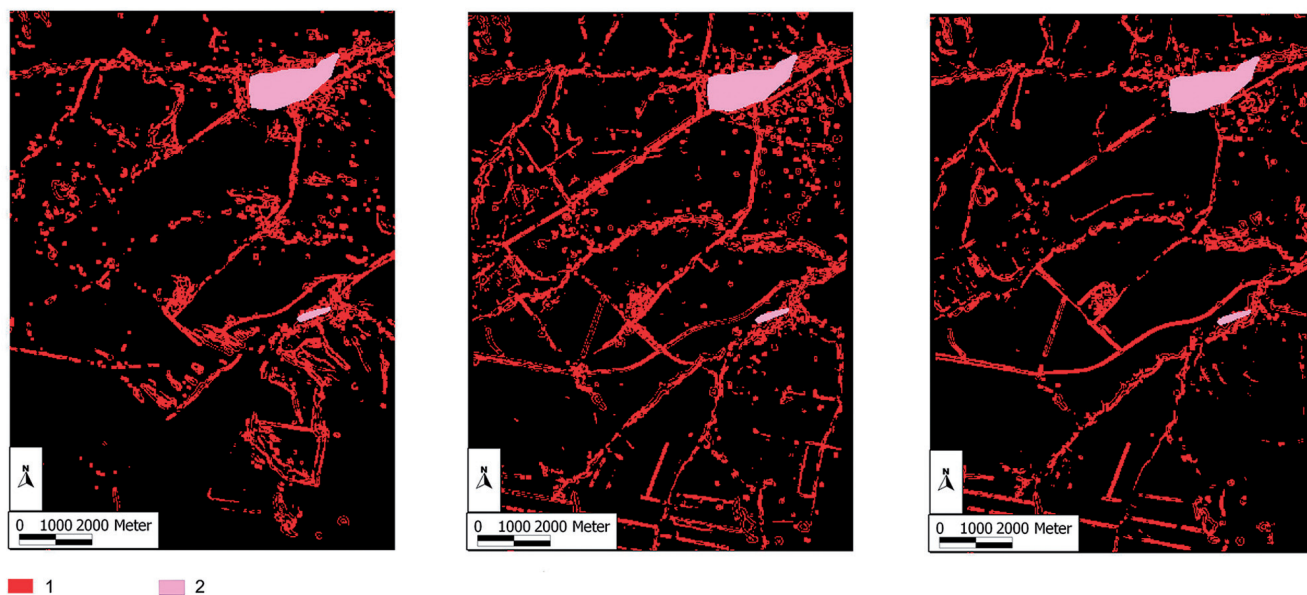


Рис. 6. Выявление поврежденных ландшафтов в границах ключевого участка в Бобровского месторождения нефти в 1988 г. (слева), в 2009 (в середине), в 2015 году (справа), где 1 – «нарушенные земли», рассчитанные методом анализа текстурных характеристик (признак «Дисперсия») для синего канала изображения; 2 – маска населенных пунктов

Таблица 2

**Динамика структуры ландшафтов на исследуемом участке
Бобровского нефтяного месторождения**

Год	Класс объектов в структуре ландшафтов	Площадь		Фрагменты		
		Общая площадь, кв. км	Доля от общей площади, %	Число	Плотность	Сред. площадь
1988	Вся территория	15694,38	100	720	4,58	21,81
	Нарушенные земли	18 47,16	11,77	495	3,15	3,73
	Окружающий ландшафт	13847,22	88,23	225	1,43	61,54
2009	Вся территория	15694,38	100	1029	6,56	15,25
	Нарушенные земли	2297,70	14,64	774	4,93	2,97
	Окружающий ландшафт	13396,68	85,36	255	1,62	52,54
2015	Вся территория	15694,38	100	689	4,39	22,7785
	Нарушенные земли	1734,84	11,05	195	1,2425	
	Окружающий ландшафт	13959,54	88,95	494	3,1476	

ЛИТЕРАТУРА

1. Plank S., Mager A., Schoepfer E. Monitoring of Oil Exploitation Infrastructure by Combining Unsupervised Pixel-Based Classification of Polarimetric SAR and Object-Based Image Analysis // *Remote Sens.* – 2014. – 6 (12). – 11977-12004.
2. Zhang Y., Guindon B., Lantz, N., Shipman T., Chao D., Raymond D. Quantification of anthropogenic and natural changes in oil sands mining infrastructure land based on RapidEye and SPOT // *Int. J. of Applied Earth Observ. and Geoinform.* – 2014. – 29. – P. 31-43.
3. Мячина К.В., Чибилев А.А. Выявление земель, нарушенных нефтедобычей, по результатам спектральных преобразований спутниковых изображений (на примере Оренбургского Заволжья) // *География и природные ресурсы.* – 2015. – № 4. – С. 135-141.
4. Mjachina K.V., Baynard C.W., Chibilyev A.A. Oil and gas development in the Orenburg region of the Volga-Ural steppe zone: qualifying and quantifying disturbance regimes // *International Journal of Sustainable Development and World Ecology.* – 2014. – Т. 21, № 2. – С. 111-126.
5. Мячина К.В., Малахов Д.В. Опыт применения данных дистанционного зондирования среднего пространственного разрешения для выделения объектов нефтепромыслов в условиях техногенно-модифицированного ландшафта (на примере Оренбургской области) // *Известия Самарского научного центра РАН.* – 2013. – Т. 15. – №3 (7). – 2341-2345.
6. Мячина К.В., Токарева О.С. Геоэкологический анализ степных ландшафтов в районах нефтегазодобычи (на примере Оренбургской области) // *Известия Томского политехнического университета.* – 2014. – 324 (1). – 196-202.
7. Москвич Т.И. Способ обработки данных дистанционного зондирования спутников серии NOAA. Методика определения заснеженности речных бассейнов по спутниковым данным // *Труды ГУ Дальневосточного регионального научно-исследовательского гидрометеорологического института.* – 2009. – № 153. – С. 55-57.
8. Астафуров В.Г., Евсюткин Т.В., Курьянович К.В., Скороходов А.В. Статистическая модель текстур изображений различных типов облачности по данным MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* – 2013. – 10 (4). – С. 188-197.
9. Lane C.R., Liu H., Autrey B.C., Anenkhonov O.A., Chepinoga V.V., Wu Q. Improved Wetland Classification Using Eight-Band High Resolution Satellite Imagery and a Hybrid Approach // *Remote Sens.* – 2014. – 6 (12). – P. 12187-12216.
10. Haas J., Furberg D., Ban Y. Satellite monitoring of urbanization and environmental impacts – A comparison of Stockholm and Shanghai // *Int. J. of Applied Earth Observ. and Geoinform.* – 2015. – 38. – P. 138-149.
11. Xiao J., Shen Y., Tateishi R., Bayaer W. Development of topsoil grain size index for monitoring desertification in arid land using remote sensing // *Int. J. of Remote Sens.* – 2006. – 12 (27). – С. 2411-2422.
12. Salomonson V., Appel I. Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index // *Remote Sens. Environ.* – 2004. – 89. – P. 351-360.
13. Mustafa A., Singh M., Sahoo R.N., Ahmed N., Khanana M., Sarangi A., Mishra A.K. Mapping of Degraded Lands from Multidate Remotely Sensed Data Using Decision Tree Based Classification (DTC) // *Report and Opinion.* – 2011. – 3 (11). – P. 33-54.
14. Книга нефти : Месторождение Бобровское [Электронный ресурс]. – URL: <http://kniganefiti.ru/field.asp?field=174> (дата обращения: 06.05.2015).