

## IDENTIFICATION AND MAPPING OF OIL CONTAMINATION OF SOILS USING REMOTE SENSING DATA

M. G. Razakova

National Center of Space Research and Technology,  
050010, Almaty, Kazakhstan

---

Remote sensing can potentially provide important information for identifying contaminated sites, but there is a clear lack of specific approved approaches. In this study, Landsat 8, were used to monitor the spatial and temporal changes of the polluted surfaces at the Ozen oil field. Presently, the affected areas consist of disintegrated tarmacs, black soil and thin vegetation. The use of multisensor datasets provided the opportunity to observe the polluted areas in different wavelengths. The images were numerical enhanced to optimize the visual outlook and improve the information content to determine the surface contaminants. There are suggested the histogram method of tone correction became the basis of automation of objects gradation. In this paper, using Landsat 8 data from May 29, 2016 to the Ozen deposit region, the possibility of obtaining quantitative characteristics of oil contamination by automated decoding methods was considered.

The reflectivity of soils polluted with petroleum products was estimated. Was considered about fifteen contaminated sites of the oilfield zone (pipelines, oil wells, reservoirs, etc.). It was shown that, depending on the level of soil pollution with oil and oil products, the nature of the spectral reflection curve changes in comparison with the background soils, which is mapped by a decrease in reflectivity as the degree of pollution increases

The characteristics of the vegetation cover, the behavior of the soil cover, and the spectral indices in the places of oil spills were studied. In places of oil spills there is a release of toxic substances that, when ingested into the soil, can cause changes in its physico-chemical properties, lead to a decrease in the functional activity of microbiota of soil biocenoses. This effect alters the vegetation cover, which may serve as a sign for the detection of oil pollution using remote sensing data.

On the basis of the studied spectral brightness coefficients, the satellites data were indexed in order to compare the results obtained and to identify oil contamination on the Ozen deposit investigated region.

In connection with the natural features of the study area, i.e. the scarcity of vegetation cover, in conditions of predominance of wormwood-solonchak desert with areas of shrubby vegetation on brown soils: the surface is partially covered with solonchaks, takyr-like solonetztes and sands with extremely rare vegetation; it is necessary to conduct a series of studies to identify areas of actual contamination with oil products. What essentially complicates the task.

The soil in the area of spots is characterized by low values of the vegetative and soil indices. It can also be noted that more than 50 % of the Ozen deposit under study has low NDVI index values from -0.076–0.1. Despite the fact that the acquisition date of image was in the active vegetation season.

The analysis shows that the soil in the spot area is characterized by low values of the vegetative and soil indices. It can also be noted that the contrast of background and contaminated soils is more pronounced. Oil products are dark in tone and when they get onto a ground, they reduce the reflection.

Based on these parameters, a four-channel image was synthesized from the panchromatic channel, SWIR (short-wave infrared channel) and NDVI, SAVI maps. Oil pollution has a greater contrast

in the 5–7 channels of Landsat 8 satellite data. In this composite version, with using unsupervised classification (7 classes), the areas of the industrial zone, oil pollution and infrastructure objects are clearly distinguished. Previously, the negative values of the NDVI index were filtered out, to exclude water objects. The indexed images and the short-wave Landsat 8 data channel were normalized relative to each other and synthesized into a three-channel image (RGB — color model). In general, the calculation of soil and vegetation indices is only addition information to our study, the essence of which is to that parameters strengthen the feature and isolate space for the detection of oil contamination. The algorithm for increasing the gradient between oil contaminated sites and the background is consist in the sequential addition and combination of indexed channels and data in the short-wave infrared zone of the Landsat 8 data spectrum.

The conclusion. As a result of the work, a map of oil spills was created on the area of the Ozen field, which showed that a significant part of the territory is polluted with oil. An algorithm has been developed that makes it possible to apply automatic classification of oil contamination on the earth's surface. Satellite images were enhanced by methods of geoinformation technologies to optimize the information content of remote sensing data to recognition of oil contaminated soil.

**Key words:** oil contamination of soil, remote sensing.

## References

1. Aliev S. A., Gadzhiev D. A. Vliyanie zagryazneniya neftyanym organicheskim veschestvom na aktivnost biologicheskikh processov pochv [Influence of Oil Organic Pollution on the Activity of Biological Soil Processes], *Izv. AzSSR. Ser. biol. Nauk.* 1977. N 2. P. 46–49 (in Russian).
2. Ammosova Ya. M., Golev M. Yu. Vliyanie neftyanogo zagryazneniya na spectralnuyu otrazhatelnuyu sposobnost dernovo-podzolistykh pochv [Influence of oil pollution on the spectral reflectivity of sod-podzolic soils] // *Vestn. Moscow State University. Ser. 17. Pochvovedenie [agrology].* 1998. N 3. S. 31–34 (in Russian).
3. Roy, Waleed and Asem, Samira. Application of GIS for Mapping Oil-Contaminated Soil in Kuwait // *AMCIS 2007 Proceedings. Paper 484.* [Electron. Res.]: <http://aisel.aisnet.org/amcis2007/484>
4. Espinosa-Hernandez A., Galvan-Pineda J., Monsivais-Huertero A., Jimenez-Escalona J. C., Ramos-Rodriguez J. M. Delineation of hydrocarbon contaminated soils using optical and radar images in a coastal region // *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International, Melbourne, VIC, Australia. 21–26 July 2013.* P. 676–679.

## ВЫЯВЛЕНИЕ И КАРТИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ПОЧВ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

М. Г. Разакова

Национальный центр космических исследований и технологий,  
050010, г. Алма-Ата, Казахстан

---

УДК 528.852.1

Дистанционное зондирование потенциально может предоставить важную информацию для идентификации загрязненных участков, но существует явная нехватка конкретных утвержденных подходов. В этом исследовании Landsat 8 был использован для мониторинга пространственных и временных изменений загрязненных поверхностей на нефтяном месторождении Озен. В настоящее время исследуемый район состоит из дезинтегрированной поверхности, местами черной почвы и редкой растительности. Использование мультиспектральных наборов данных дало возможность наблюдать загрязненные участки на разных длинах волн. Изображения были усилены методами геоинформационных технологий, чтобы оптимизировать информационное содержание для возможности применения автоматизированной классификации нефтяных загрязнений почвы.

**Ключевые слова:** нефтяное загрязнение почвы, дистанционное зондирование.

**Введение.** Нефтяное загрязнение почвы затрагивает многие страны мира, в том числе и Казахстан. Количественная оценка площадей нефтяных загрязнений — одна из задач экологического мониторинга промышленных зон добычи, транспортировки или переработки нефти. На первый взгляд, методы дистанционного зондирования дают легкодоступный инструмент для обнаружения и фиксации участков нефтяных загрязнений. Тем более, что мультиспектральные данные с космических аппаратов Landsat 8, Sentinel 2 имеются в свободном доступе в Интернет сети. Однако визуальное дешифрирование имеет серьезные недостатки при интерпретации объектов нефтяных загрязнений — это субъективизм и очень трудоемкая и затратная по времени процедура получения координат, площадей и динамики развития экзогенных процессов. Во многих работах по нефтяным загрязнениям почвы дешифрирование данных дистанционного зондирования производится визуально [3]. По классификации с использованием данных дистанционного зондирования нефтяных загрязнений почвы работ мало [4]. В данной работе на примере снимка Landsat 8 от 29 мая 2016 г. на территории месторождения Озен рассмотрена возможность получения количественных характеристик нефтяных загрязнений автоматизированными методами дешифрирования. Работа выполнена в рамках проекта „Создать информационную систему оценки масштабов нефтяных загрязнений на континентальных месторождениях и акватории Каспийского моря методами дистанционного зондирования“ по бюджетной программе 217 „Развитие науки“ с использованием геоинформационных технологий в среде ERDAS IMAGINE (специализированное программное обеспечение для программирования, обработки растровых и векторных данных).



Рис. 1. Фрагмент космоснимка (Landsat 8 от 29 мая 2016 г.) территории месторождения Озен

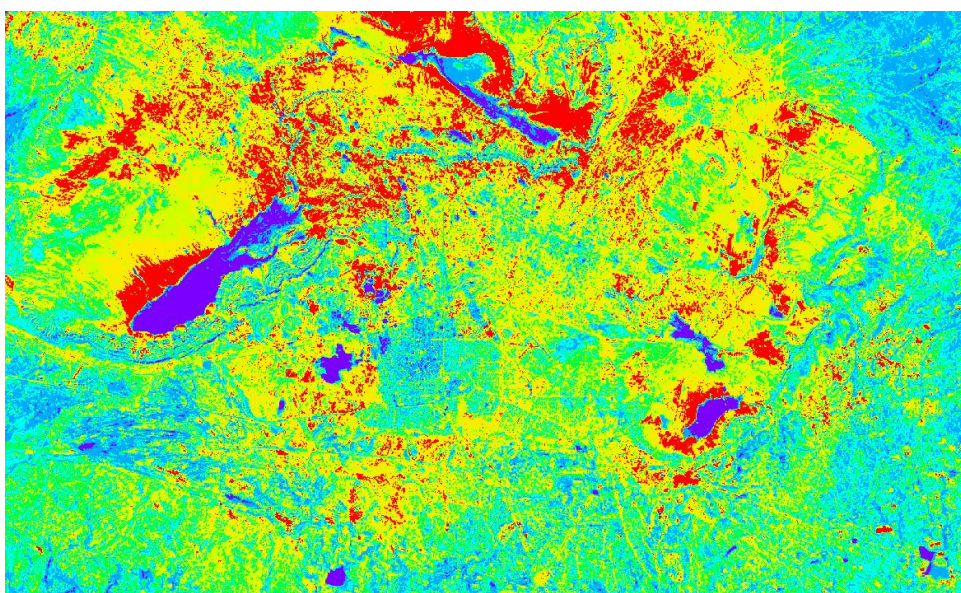


Рис. 2. Результат неконтролируемой классификации космоснимка Landsat 8 территории Озен

При визуальном дешифрировании космоснимка в центральной части изображения заметны участки темного, почти черного тона, довольно таки упорядоченно распределенные по территории нефтепромысла Озен. Для предварительной классификации снимков применили метод неконтролируемой классификации ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique — Итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных). Предполагаемая простота решения вопроса определения количественных характеристик загрязненных участков не дала желаемых результатов. По причине схожести коэффициентов спектральной яркости участков нефтяных загрязнений с некоторыми типами дорог и водных объектов на территории нефтепромышленной зоны (рис. 2) эти объекты попа-

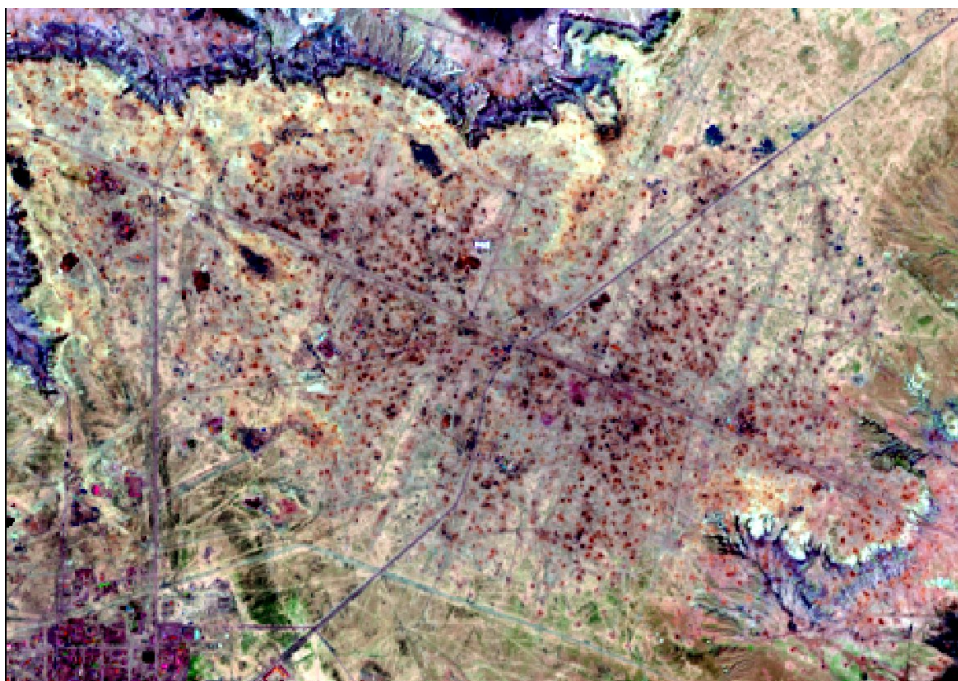


Рис. 3. Фрагмент космоснимка Landsat 8 с комбинацией каналов 7–4–2, наиболее удобной для визуального дешифрирования

ли в один класс при применении метода неконтролируемой классификации (кластерный анализ).

Чтобы получить точные контуры загрязненных участков, дешифрирование далее проводилось в несколько этапов. Для улучшения разделения классов был проведен визуальный анализ снимка с целью выделения объектов, различных по оптической плотности, цвету и внутренней структуре. Из полученного множества контуров выделялись те, которые с высокой степенью вероятности можно было отнести к нефтяным разливам. Анализируя снимок, удалось подобрать комбинацию каналов, которая лучше всего соответствует задаче выделения загрязненных нефтью территорий. В данном случае это были каналы 2, 4, 7 (рис. 3).

*Получение аналитической информации.* Следующим этапом было спектральное обследование района работ с целью выявления отражательных свойств нефтяного загрязнения. Проводились оценки отражательной способности почв, загрязненных нефтепродуктами. Всего было обследовано порядка пятнадцати загрязненных участков, приуроченных к объектам инфраструктуры нефтепромысловой зоны (трубопроводы, нефтяные скважины, резервуары и т. д.). Было показано, что в зависимости от уровня загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами меняется характер кривой спектрального отражения по сравнению с фоновыми почвами, что выражается снижением отражательной способности по мере увеличения степени загрязнения (рис. 4). При сильном загрязнении кривые спектрального отражения становятся почти горизонтальными во всем диапазоне длин волн. Если интегральное отражение фоновых почв составляет 37–65 %, то сильнозагрязненных почв — 34–48 %, причем коэффициент отражения в видимой части спектра снижается. Спектральное обследование показало, что территория месторождения Озен действительно сильно загрязнена нефтью. Причем, наряду со старыми, частично рекультивированными

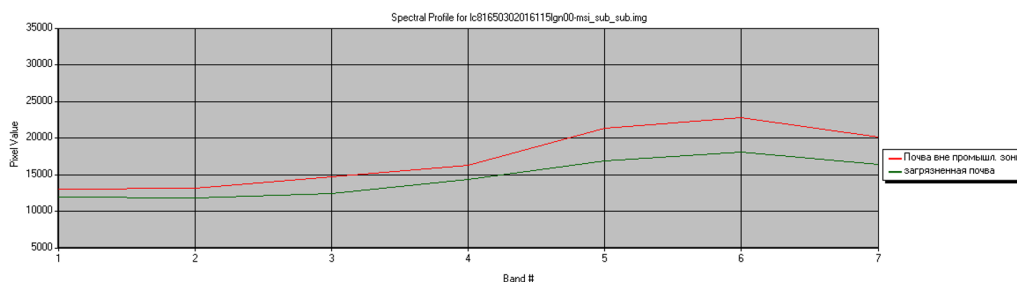


Рис. 4. Спектральный профиль почвы вне нефтепромышленной зоны (красная линия) и загрязненной нефтепродуктами почвы (зеленая линия) по спутниковым данным

ми и зарастающими разливами, были выявлены новые пятна разливов нефти. Границы некоторых разливов выделялись четко. Другие типы нефтяных загрязнений были представлены на снимке с различными вариациями значений отражательной способности в разных каналах. Скорее всего, это зависит от времени происхождения разливов нефти и типа участка.

Была составлена таблица свойств объектов, которая позволила проанализировать спектральные характеристики выделенных объектов путем сравнения гистограмм яркости и положения объектов на объемной модели распределения характеристик для разных объектов земной поверхности. Этот этап включал несколько итераций, в ходе которых последовательно уточнялись границы объектов (рис. 5). Исследовались характеристики растительного покрова, поведение почвенного покрова, спектральные показатели в местах нефтяных разливов. В местах нефтяных разливов происходит выброс токсичных веществ, которые при попадании в почву способны вызывать изменения ее физико-химических свойств, приводить к снижению функциональной активности микробиоты почвенных биоценозов. Этот эффект изменяет растительный покров, что может служить признаком для обнаружения нефтяного загрязнения по данным дистанционного зондирования. Спутниковое дистанционное зондирование является эффективным инструментом и методом для мониторинга изменений растительности на земной поверхности, в частности, на территориях нефтепромыслов [1].

*Выявление текстурных признаков.* На основе изученных коэффициентов спектральной яркости проводилось индексирование данных спутников с целью сравнения полученных результатов и выявления нефтяных загрязнений на исследуемой территории месторождения Озен.

Одним из явных доказательств загрязняющего эффекта является отсутствие растительного покрова, либо наличие различных аномалий, возникших в результате воздействия нефтехимикатов на растительность [1]. Но, в связи с природными особенностями исследуемой территории, т.е. скудностью растительного покрова, в условиях преобладания полынно-солончаковой пустыни с участками кустарниковой растительности на бурых почвах: поверхность частично покрыта солончаками, такыровидными солонцами и песками с крайне редкой растительностью, необходимо провести ряд исследований для выявления областей действительного загрязнения нефтепродуктами, что существенно усложняет задачу. Для начала проведем ряд математических операций по вычислению спектральных индексов (нормализованная разница вегетационного индекса (NDVI) и почвенно-

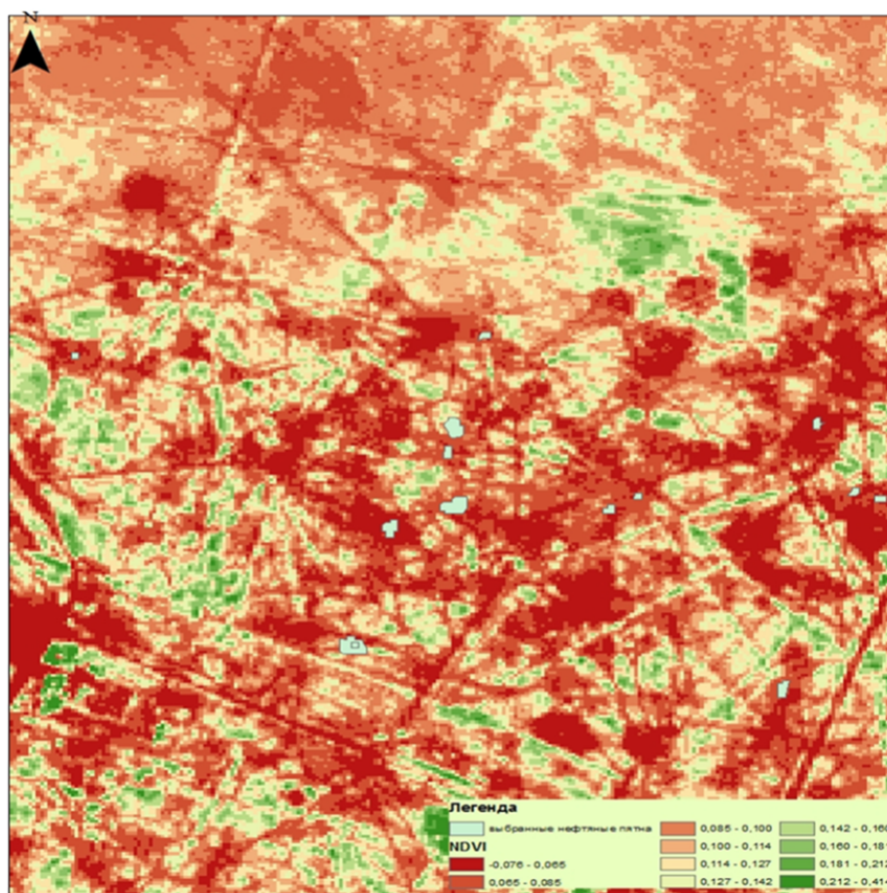


Рис. 5. Фрагмент карты вегетационного индекса с нанесенными контурами участков загрязнения на территории месторождения

скорректированного индекса растительности (SAVI)). Данные индексы вычисляются по следующей формуле:

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED);$$

$$SAVI = ((NIR - RED)/(NIR + RED + L)) \times (1 + L),$$

где  $L = [0; 1]$ ,  $L = 0$  для наибольшего индекса облиствения,  $L = 1$  для наименьшего, оптимальное значение  $L = 0,5$ ;  $L + 1$  — множительный фактор, присутствующий в SAVI, приводящий к тому, что значения варьируют от  $-1$  до  $1$ , введен для того, чтобы свести эти индексы к виду NDVI при  $L$ , стремящемся к  $0$ . NIR — ближний инфракрасный, RED — красный каналы.

Данные вычисления показали, что почва в области пятен характеризуется низкими значениями вегетационного и почвенного индексов. Также можно заметить, что больше 50 % исследуемой территории месторождения Озен имеет низкие показатели индекса NDVI от  $-0,076$ – $0,1$  (рис. 5), притом, что съемка выполнена в активном вегетационном сезоне.

*Выделение области изменения количественных параметров интенсивности сигнала.* Используя данные спектральных характеристик нефтяных загрязнений, были контрастнее выделены области изменения количественных параметров интенсивности сигнала, которые дали хорошую градацию измененных почв, как видно на рис. 6. Данные анализа

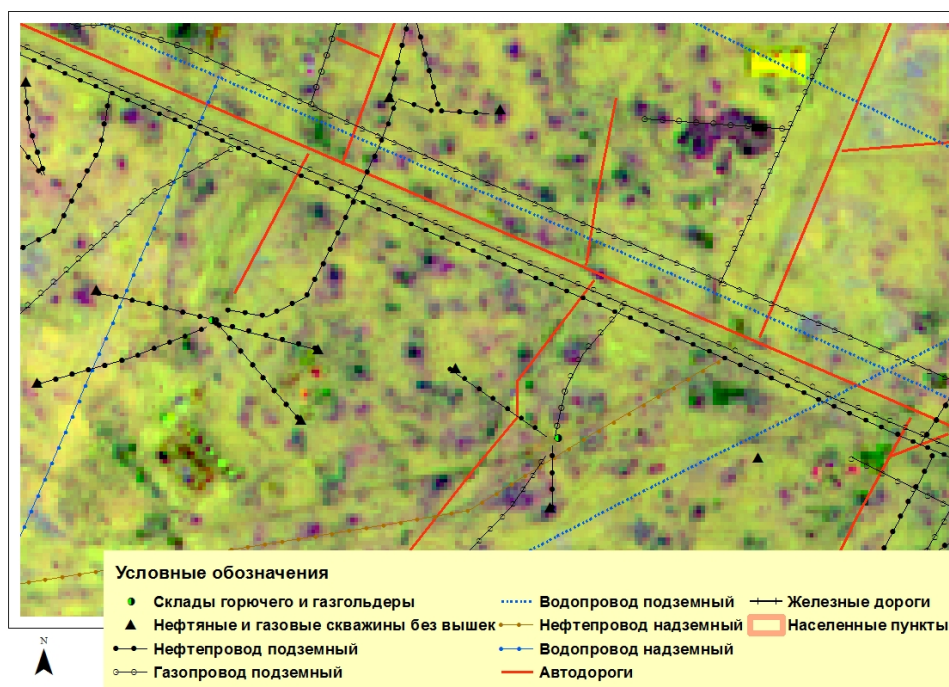


Рис. 6. Изображение, полученное в результате синтеза коротковолнового инфракрасного канала и двух индексированных каналов, выполненных на основе вегетационного и почвенного индексов

показывают, что почва в области пятен характеризуется низкими значениями вегетационного и почвенного индексов. Также можно заметить, что сильнее проявляется контраст фоновых и загрязненных почв. Нефтепродукты темнее по тону и при попадании на почву уменьшают ее отражение [2].

На основе этих параметров было синтезировано четырехканальное изображение из панхроматического канала SWIR (коротковолновый инфракрасный канал) и карты NDVI, SAVI. Нефтяные загрязнения имеют большой контраст в 5–7 канале спутниковых данных Landsat 8 (рис. 2). В данном композиционном варианте при неконтролируемой классификации на 7 кластеров сразу четко выделяются области промышленной зоны, нефтяные загрязнения и объекты инфраструктуры (рис. 7). Предварительно были отфильтрованы отрицательные значения индекса NDVI для исключения водных и др. не относящихся к загрязнению объектов. Индексированные изображения и коротковолновый канал данных Landsat 8 были нормализованы относительно друг друга и синтезированы в трехканальное изображение (RGB — цветовая модель). В целом вычисление почвенного и вегетационного индексов является лишь дополнением к нашему исследованию, суть которого заключается в том, чтобы выделить параметры и усилить признаковое пространство для детектирования нефтяных загрязнений. Алгоритм увеличения градиента между загрязненными нефтяными пятнами участков и фона будет заключаться в последовательном сложении и комбинации индексированных каналов и данных в коротковолновой инфракрасной зоне спектра данных Landsat 8.

На данной карте (рис. 6) выделены участки с нефтяными загрязнениями и имеющимися объектами на исследуемой территории. Как мы видим, зачастую загрязнения находятся в области нефтепроводов, газопроводов и в местах нахождения скважин.



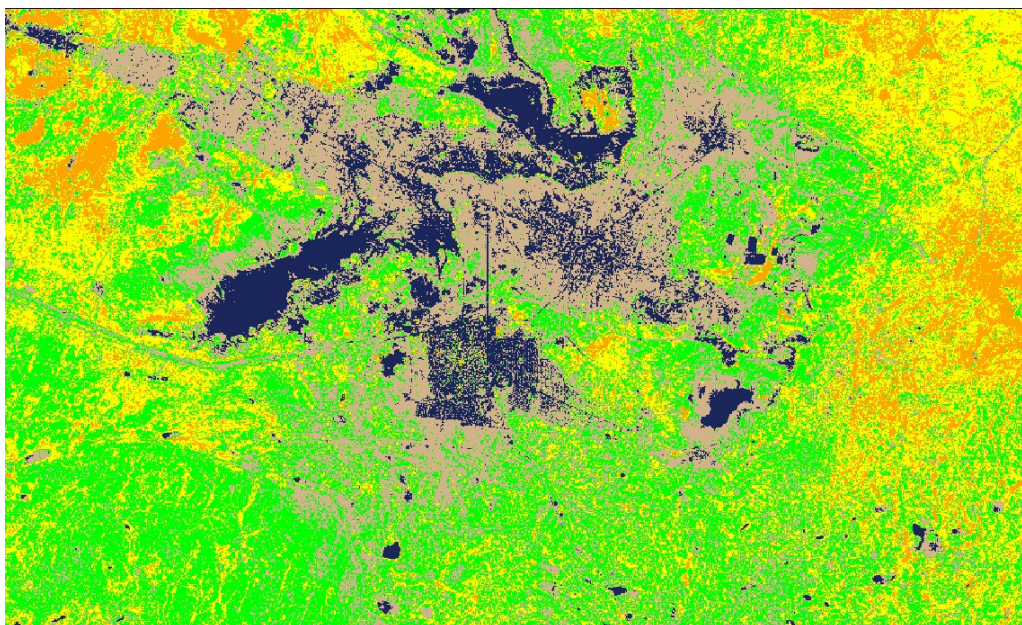


Рис. 7. Изображение, полученное в результате неконтролируемой классификации по синтезированному изображению

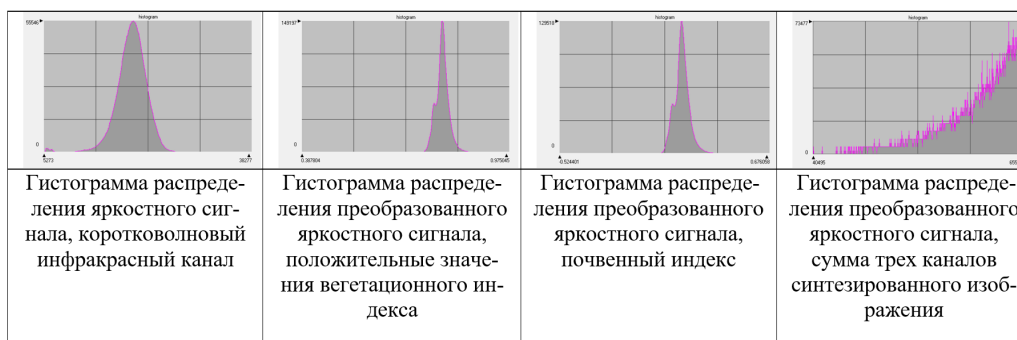


Рис. 8. Гистограммы распределения преобразованных яркостных сигналов и суммы трех каналов синтезированного изображения

На рис. 7 при разбиении на 7 кластеров полученного изображения вся территория нефтедобычи месторождения Озен выделилась отдельным цветом, также дешифрируются нефтяные загрязнения и объекты постройки, которые имеют антропогенное происхождение.

Почва на исследуемой территории тоже выделилась отдельным классом, данное явление доказывает атрофированность и загрязненность исследуемой территории месторождения Озен. Как показано на рис. 7, при синтезе выбранных спектральных диапазонов и индексного выражения мультиспектральной космической съемки исследуемой территории месторождения Озен выделяются техногенные объекты, что объясняется нарушением почвенного покрова, растительности и загрязнением, связанным с добычей, транспортировкой и развитием инфраструктуры месторождения. Композиция RGB выделяет зоны с нормальной почвой зеленым и желтовато-оранжевым цветом, которые находятся далеко за пределами территории нефтедобычи. В результате, как видно из рис. 7, выделяется 5

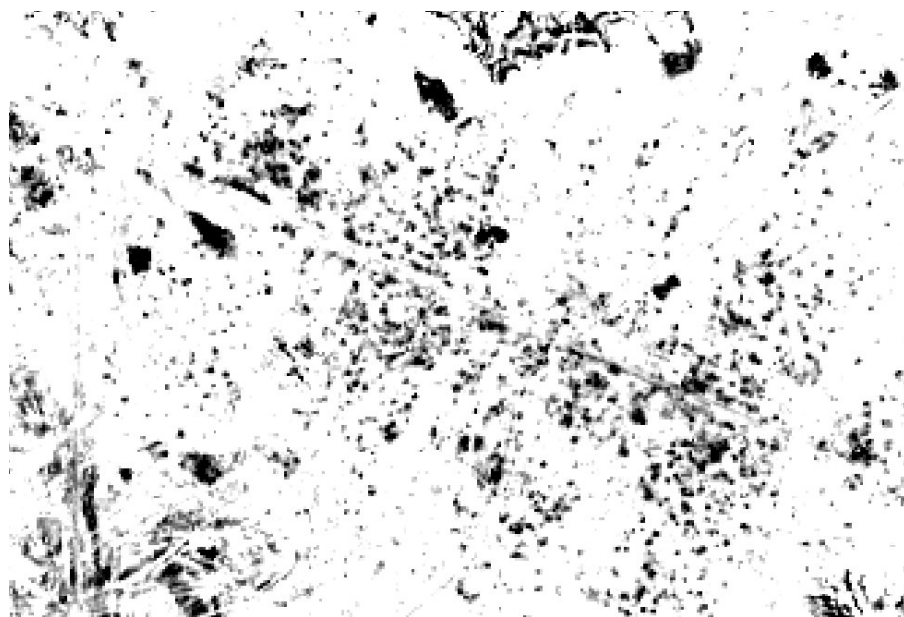


Рис. 9. Изображение суммарного значения индексованных и преобразованных спутниковых данных в инфракрасной области спектра

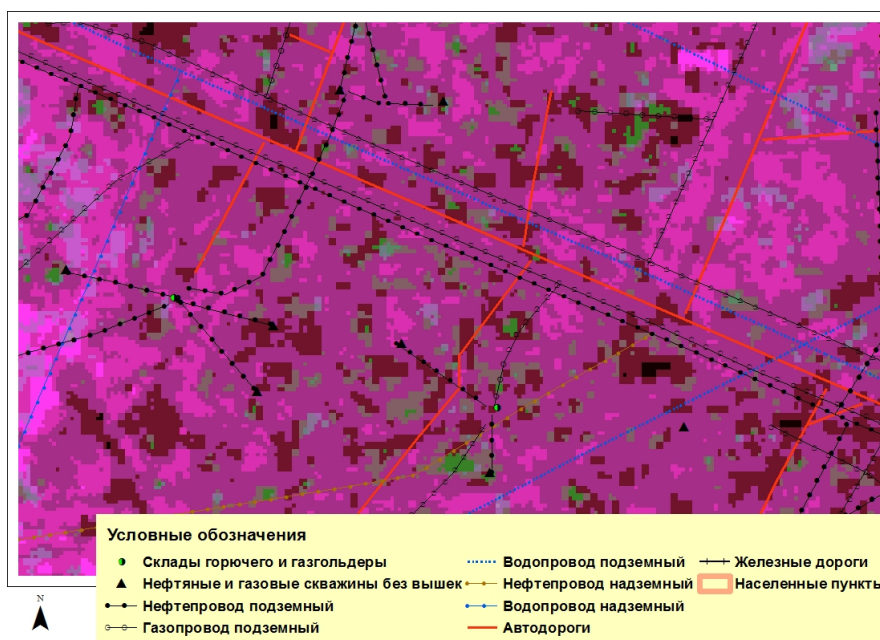


Рис. 10. Карта с отклассифицированными нефтяными загрязнениями. Почва с нефтяными загрязнениями выделена черным, коричневым и зеленым цветами в зависимости от степени загрязнения

классов, это: желтый — почва типа 1, оранжевый — почва типа 2, зеленый — почва типа 3 (растительность), серо-бурый цвет — измененная почва типа 4 — и участки с загрязнением — темно-сине-черным цветом.

*Классификация.* Процесс извлечения объектов завершается классификацией на основе получения аналитической информации. Выходные данные поканальной обработки данных являются входными данными для последующих инструментов, где цель заключается в со-

здании значимой объектно-ориентированной карты классов объектов. В результате применения вышеописанного алгоритма получения значимых величин яркостных уровней фона и нефтяных загрязнений получили моно-изображение с суммарной гистограммой распределения преобразованного яркостного сигнала (рис. 8, 9). Использование гистограммных методов для коррекции тонов изображения в данном случае дает новые дополнительные возможности, а именно возможность коррекции градации изображения. Гистограммный метод коррекции тона стал основой автоматизации процессов градационной коррекции для различных по свойствам исходных данных.

Действительно, в результате получили изображение, больше похожее на бинарное представление данных (рис. 9).

Классификация по данному изображению отражает реальную картину антропогенного воздействия на окружающую среду (рис. 10). Определялась принадлежность сомнительных контуров к тому или иному классу, а также проверялась правильность выделения границ нефтяных загрязнений почвы. Полученный растровый слой, отражающий реальное расположение нефтезагрязненных территорий, был в дальнейшем обработан инструментами ГИС с целью вычисления их площадей и создания атрибутивных данных.

**Заключение.** В результате проведенной работы была создана карта нефтяных разливов на район месторождения Озен, которая показала, что значительная часть территории загрязнена нефтью. Разработан алгоритм, позволяющий применять автоматическую классификацию нефтяных загрязнений на земной поверхности. Спутниковые изображения были усилены методами геоинформационных технологий, чтобы оптимизировать информационное содержание на объект нефтяного загрязнения.

## Список литературы

1. Алиев С. А., Гаджиев Д. А. Влияние загрязнения нефтяным органическим веществом на активность биологических процессов почв // Изв. АН. АзССР. Сер. Биол. наук. 1977. № 2. С. 46–49.
2. Аммосова Я. М., Голев М. Ю. Влияние нефтяного загрязнения на спектральную отражательную способность дерново-подзолистых почв // Вестн. МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1998. № 3. С. 31–34.
3. Roy, Waleed and Asem, Samira. Application of GIS for Mapping Oil-Contaminated Soil in Kuwait // AMCIS 2007 Proceedings. Paper 484. [Electron. Res.]: <http://aisel.aisnet.org/amcis2007/484>
4. Espinosa-Hernandez A., Galvan-Pineda J., Monsivais-Huertero A., Jimenez-Escalona J. C., Ramos-Rodriguez J. M. Delineation of hydrocarbon contaminated soils using optical and radar images in a coastal region // Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International, Melbourne, VIC, Australia, 21–26 July 2013. P. 676–679.



**Разакова М. Г.**, специальность „Математика“, является ведущим специалистом в области применения геоинформационных технологий и геоинформационного моделирования для тематической обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования, подтверждено сер-

тификатами: Работа в программном комплексе Geomatica 10, ООО „Гео-Альянс“, 27.06.2011 — 02.07.2011; Интерферометрическая обработка данных ДЗЗ в программном обеспечении Gamma Software, ООО „Гео-Альянс“, 22.08.2011 — 03.09.2011; CASI Normalization and Data Fusion Itres — Гиперспектральные системы и решения, 2007; CASI Hyperspectral Analysis and GIS Integration (CASI гиперспек-

тральный анализ и интеграция ГИС), Itres — Гиперспектральные системы и решения, 2007; „Definiens Professional 5.0 Basic and Advanced Training“, organized by Definiens — The Image Intelligence Company, June 26–30, 2006; Radar Mapping Suite, The Earth to Business Company erdas, 25 июня — 5 июля 2012.

Сфера занятости: определение смещений земной поверхности в результате антропогенной деятельности методами радиолокационной интерферометрии, обработка данных дистанционного зондирования по обнаружению нефтяных загрязнений водной поверхности, почвенного покрова, дешифрирование тепловых аномалий, построение цифровых моделей рельефа, тематическая классификация объектов земной поверхности, определение изменений объемов водных бассейнов, выявление изменений лесного покрова и т. д. По результатам работы опубликовано более 30 публикаций, получены грамоты и благодарности на международных конференциях и семинарах. Стаж работы более 30 лет:

2011 г. — настоящее время. АО „Национальный центр космических исследований и технологий“, должность: заведующий лабораторией геоинформатики и ГИС-технологий. 2003–2011 гг. АО „КазГеоКосмос“, департамент геологии и геофизики, должность: главный менеджер. 1991–2003 гг. Институт космических исследований (НИИ) Министерства образования и науки Республики Казахстан, должность: старший научный сотрудник лаборатории ГИС. 1984–1991 гг. Институт Сейсмологии Академии наук Республики Казахстан, должность: инженер.

Maira G. Razakova, specialty „Mathematics“ (Kazakh State University(1979–1984)), is a leading specialist in the application of GIS and geoinformation modeling for thematic processing

and interpretation of remote sensing data. Had got certified:

CASI Normalization and Data Fusion Itres — Hyperspectral systems and solutions, 2007; CASI Hyperspectral Analysis and GIS Integration (CASI hyperspectral analysis and GIS integration), Itres — Hyperspectral systems and solutions, 2007; „Definiens Professional 5.0 Basic and Advanced Training“, organized by Definiens — The Image Intelligence Company, June 26–30, 2006;

Work in the Geomatica 10 software package, Geo-Alliance LLC, 27/06/2011 — 02/07/2011 Interferometric processing of remote sensing data in software Gamma Software, Geo-Alliance LLC, 22/08/2011 — 03/09/2011 Radar Mapping Suite, The Earth to Business Company, June 25 –July 5, 2012.

Scope of employment: determination of earth surface displacements using methods of radar interferometry, processing remote sensing data to detect contamination of soil, water surface, the identification of solid domestic waste, control of the state of infrastructure, the definition of change of volumes of water basins, identifying the changes in forest cover and etc. By results of works were published more than 30 articles, have been got diplomas and gratitude at international conferences and seminars. Experience over 30 years: 2011 — to the present. JSC „National Centre of Space Research and Technology“, position: Head of the Laboratory of Geoinformatics and GIS technologies. 2003–2011. JSC „KazGeoCosmos“ , geology and geophysics department , position: general manager. 1991–2003. Space Research Institute (SRI) of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, position: senior scientist in GIS laboratory. 1984–1991. Seismic Institute of the Academy of Sciences Republic of Kazakhstan, position: engineer.

*Дата поступления — 16.08.2017*