

UDC 504.062; 504.064
AGRIS P01

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/08>

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ
ЙОДО-БРОМНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ
ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

©Исмацова Х. Р., SPIN-код: 4406-3688, ResearcherIDK-3210-2017, канд. физ.-мат. наук,
Национальная академия авиации Азербайджана,
г. Баку, Азербайджан, spaceazer@rambler.ru
©Каримли Г. Э., Национальное Аэрокосмическое Агентство Азербайджана,
г. Баку, Азербайджан, shukurluqumru@list.ru

**STUDY OF ENVIRONMENTAL DYNAMICS OF IODINE-BROMINE DEPOSIT
BASED ON MULTI-TEMPORAL REMOTE SENSING DATA**

©Ismatova Kh., SPIN-code: 4406-3688, ResearcherIDK-3210-2017, Ph.D.,
National Aviation Academy of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan, spaceazer@rambler.ru
©Karimli G., National Aerospace Agency of Azerbaijan,
Baku, Azerbaijan, shukurluqumru@list.ru

Аннотация. Рассматривается процесс изменения покрытия территории йодо-бромного месторождения загрязнёнными, засоленными, заболоченными и загрязнёнными водными объектами, которые образуются в результате добычи йодо-бромных пластовых вод и их переработки на предприятии по добыче йода. Мониторинг исследуемой территории проводится на базе разновременной спутниковой информации с помощью геоинформационных технологий.

Abstract. The article considers the process of changing the coverage of the territory of an iodine-bromine deposit with polluted, saline, swampy and polluted water bodies that are formed as a result of the extraction of iodine-bromine formation waters and their processing at an iodine mining enterprise. Monitoring of the study area is carried out on the basis of multi-temporal satellite information using geoinformation technologies.

Ключевые слова: месторождения, йодо-бромные воды, ГИС, Азербайджан.

Keywords: deposits, iodine-bromine waters, GIS, Azerbaijan.

Проведение мониторинга на йодо-бромном месторождении – актуальная задача, так как при разработке месторождения происходит загрязнение окружающей среды. В 1950-1955 гг на азербайджанском побережье Каспийского моря были открыты новые месторождения йодо-бромных вод. В 1984 г на побережье Каспия был построен и введен в эксплуатацию новый йодо-бромный завод. С 2004 г велись строительно-монтажные работы. В 2007 г ООО «Азер-Йод» официально начал свою деятельность. Здесь производятся технический йод, кристаллический йод и соли бромистого железа. Накопление здесь специфических химических элементов, свойственных технологическим процессам на заводе, объясняется непрерывностью поступления стоков отработанных вод в пруды-накопители и перетеканием их во вновь образованные водоемы. В настоящее время площадь занята заливными (заболоченными) землями, наблюдается тенденция их увеличения. Для йодного производства

серьезной проблемой является удаление отработанных рассолов, количество которых на предприятиях йодо-бромной промышленности исчисляется многими миллионами м³/год. Рассматривается динамика озёр и других водных поверхностей исследуемой территории по разновременным космическим снимкам.

Описание территории и методика проводимых исследований

На азербайджанском побережье Каспийского моря находится йодо-бромное месторождение и предприятия, перерабатывающие пластовые воды для извлечения йода и солей бромистого железа (Рисунок 1).



Рисунок 1. Красным контуром показана исследуемая территория на побережье Каспийского моря (Азербайджан)

В районе завода пробурены сотни скважин, из которых выкачивается йодсодержащая вода и в которые закачиваются отработанные рассолы. Закачка производится с помощью насосов высокого давления. В водах содержатся нефть, окисное железо, включая коллоидный гидроксид железа, йод, различные соли и другие вещества (1-4).

Отработанные рассолы завода нередко прорывают земляную дамбу водоема-накопителя и затопливают прилегающие территории. В данной статье для исследования динамики водных объектов используются космические и геоинформационные технологии. На космических снимках после 2010 г наблюдаются увеличение различных водоемов-накопителей, засоление почв, мест захоронения отходов, прорывов каналов с отходами деятельности заводов и в местах бурения скважин. По спутниковым снимкам в видимом и ИК диапазонах электромагнитного спектра успешно дешифрируются виды загрязнения, которые приводят к изменению оптических или тепловых свойств поверхности. Чаще всего спутниковые данные применяются для обнаружения загрязнения водных объектов и почвы. По снимкам в каналах видимой части спектра могут быть успешно выделены как минимум три вида загрязнения водных объектов: загрязнение взвешенными веществами (повышенная мутность воды), загрязнение соединениями железа (резко изменяющее оптические свойства воды), а также загрязнение биогенными элементами, которое сопровождается размножением синезеленых водорослей (цветение воды). Кроме того, по снимкам в тепловом диапазоне успешно выделяются крупные источники сброса в водоемы подогретых вод с электростанций (теплового загрязнения) [1-5].

Высокая концентрация соединений железа сильно меняет оптические свойства воды – она становится ярко-рыжей или бурой, что позволяет хорошо различать загрязнение и находить его источники на космических снимках в видимом диапазоне спектра (Рисунок 2).



Рисунок 2. Загрязнение реки кислыми водами с высокой концентрацией железа (река в жёлто-оранжевом цвете)

Основным признаком загрязнения воды соединениями железа является именно повышение яркости в красном диапазоне спектра, в сравнении с синим и зеленым. В синтезе NIR-RED-GREEN загрязненная вода будет иметь голубовато-зеленый оттенок и плохо отличается от мутной воды [5].

Исходные данные и методика

Исходными данными для исследований, проводимых в работе, являются изображения Landsat 8 по съёмкам 1990, 2000 и 2010 гг и применение различных методов обработки и анализа исходной информации, в том числе с применением вычисления индекса NDVI.

Всего спутник НАСА Landsat 8 имеет 11 диапазонов, 9 спектральных диапазонов имеют пространственное разрешение 30 м. Разрешение для диапазона 8 (панхроматическое) составляет 15 м. Тепловые каналы 10 и 11 полезны для получения более точных данных о температуре поверхности. Они собираются с разрешением 100 м, но передискретизируются до 30 м. Спутник Landsat 8 снимает всю Землю каждые 16 дней с 8-дневным смещением от Landsat 7. (NASA, 2018). Для вычисления вегетационного индекса NDVI используются два спектральных канала - 4 и 5 спектральные каналы (RED и NIR) по формуле:

$$NDVI = (NIR-RED)/(NIR+RED), \quad (1)$$

где, RED – красный спектральный диапазон видимого спектра электромагнитных волн, NIR – ближний инфракрасный диапазон.

В результате вычисления NDVI получаем индексное чёрно-белое изображение, где каждый пиксель может принимать значение от -1 до +1.

Существует эталонная Таблица для объектов поверхности Земли в значениях NDVI. С помощью вычисления индекса NDVI рассмотрим динамику водных поверхностей на йодобромном месторождении Азербайджана с помощью ГИС-технологий и картографирования. В

работе используются разновременные изображения со спутника Landsat 8 за 1990, 2000, 2010 годы. С этой целью в среду ГИС ArcGIS 10.4.1. вводятся исходные данные:

1. Топографические карты масштаба 1:100000 (Рисунок 3, 4).
2. Четвёртый и пятый каналы спутника Landsat 8 (это красный RED и инфракрасный NIR каналы спутника).

Таблица

ЭТАЛОНЫ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ЗНАЧЕНИЯХ NDVI

| NDVI | Тип растительности |
|--------------|--|
| 0,8-1,0 | Очень мощная, густая растительность (тропический или широколиственный лес) |
| 0,67-0,8 | Мощная, густая растительность |
| 0,4-0,5 | Скудная и разреженная древесная и кустарниковая растительность |
| 0,2-0,4 | Кустарники и пастбища |
| 0,09-0,2 | Открытая почва |
| -0,1-0,1 | Горные породы, песок, снег |
| -0,42--0,33 | Водный объект |
| -0,55...-0,5 | Антропогенное покрытие (бетон, асфальт) |
| 0 | Облако на снимке |

Создание базовой цифровой информации по топографическим картам

На первом этапе создаются базовые векторные слои с топографических карт масштаба 1:100000 (карты за 1987 г). Эти цифровые карты будут базовыми для дальнейшего сравнительного анализа по годам. На картах 1987 г в исследуемой территории показаны естественные озёра. В качестве рабочей программы используем ArcGIS 10.4.1.



Рисунок 3. Фрагмент карты, где указаны йодо-бромные скважины



Рисунок 4. Красные точки – оцифрованные бромные скважины, жёлтый контур – оцифрованные в ГИС озёра

С помощью инструментов программы создаём векторные цифровые карты, которые делятся на точечные, линейные и полигональные слои в ГИС. Создаются точечный векторный слой, как цифровая модель йодо-бромных скважин (Рисунок 4, 5) и второй векторный слой – это полигональный слой для контуров озёр и болот с топокарты. Третий векторный слой – это полигональный слой населённых пунктов, указанных на топокарте. Четвёртый векторный слой – это линейная тема дорог с топокарты, пятый векторный слой – это линейный слой каналов и рек с топокарты (Рисунок 5).

Вычисление изображения по индексу NDVI по снимку LANDSAT 8 за 1990 г

В среду ГИС вводятся 4 и 5 спектральные каналы снимка LANDSAT 8 за 1990 г. С помощью ГИС ArcGIS 10.4.1. вычисляется индекс NDVI для каждого пикселя исходного изображения по формуле 1. В итоге получаем индексное изображение (Рисунок 6).

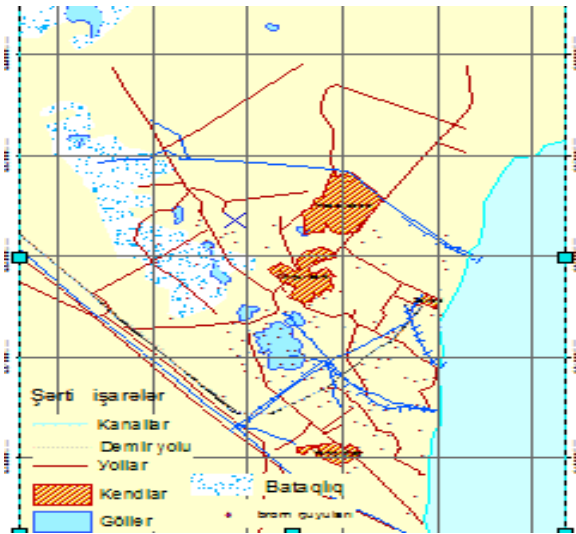


Рисунок 5 Векторные слои, созданные с топографической карты, площадь озёр по топокарте составляет 2,161 км²



Рисунок 6. Изображение NDVI. Контур тёмного цвета - водные поверхности

На Рисунке 8 и 9 даны созданные карты классификации озёрных экосистем по значениям NDVI на йодо-бромном промысле за 1990 г. Классификация дана по 5 классам значений NDVI.

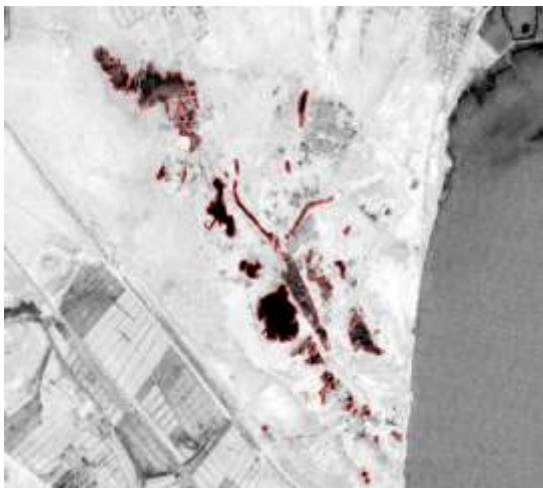


Рисунок 7. По результату вычисления NDVI оконтурены водные поверхности на йодо-бромном месторождении

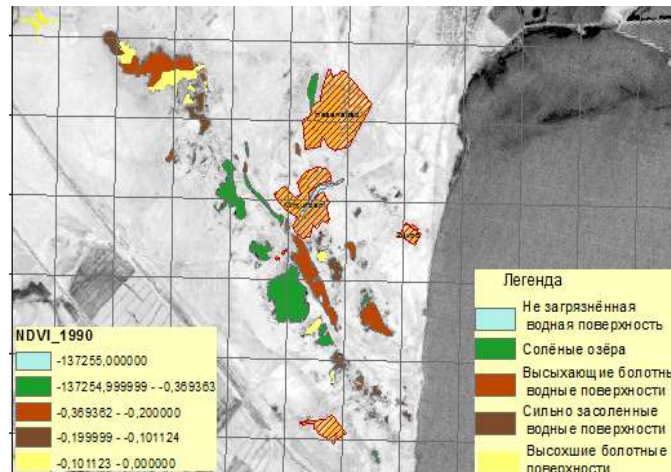


Рисунок 8. Классификация озёрных экосистем по значениям NDVI (1990 г)

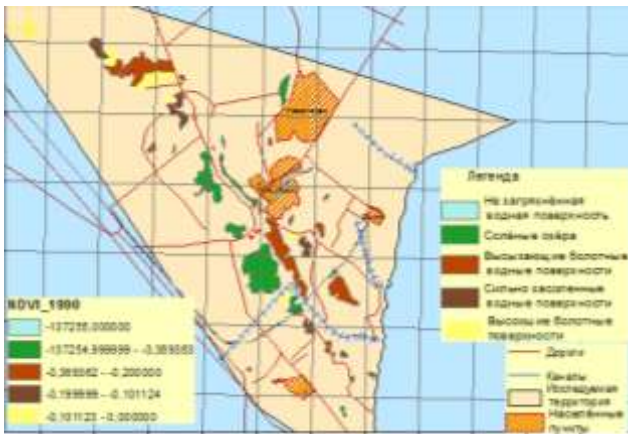


Рисунок 9. Карта классификации озёрных экосистем по значениям NDVI (1990 г)

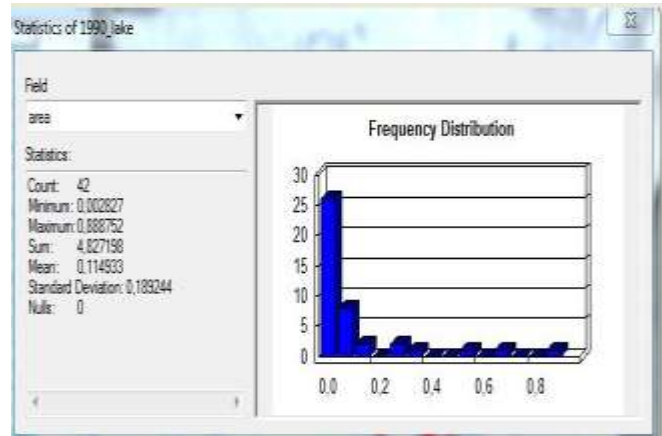


Рисунок 10. Статистика по водным поверхностям исследуемой территории за 1990 год по индексу NDVI, S - 4,327 км²

Для оценки степени загрязнения поверхностных вод по космическим снимкам выполнялся расчет индекса AMWI (AcidMineWaterIndex) по формуле:

$$AMWI = (RED - BLUE) / (RED + BLUE), \quad (2)$$

где, BLUE – отражение объекта в синей зоне спектра; RED – отражение объекта в красной зоне спектра. Данный индекс применяется для оценки содержания железа в водоемах. Высокие значения индекса AMWI показывают значительную концентрацию железа в воде [5].

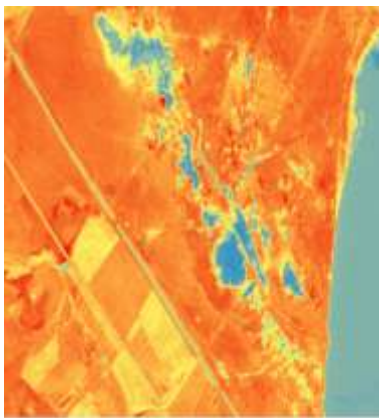


Рисунок 10. Цветное изображение спутника Landsat8 1990 г



Рисунок 11. Изображение по индексу AMWI



Рисунок 12. Синим контуром показана территория, где индекс AMWI принимает высокое значение по сравнению с другими водными территориями

Вычисление индекса NDVI по снимку LANDSAT 8 за 2000 г

В среду ГИС вводятся 4 и 5 спектральные каналы снимка LANDSAT 8 за 2000 г (Рисунок 13, 14).

Вычисляется индексное изображение по NDVI за 2000 г (Рисунок 15) и создаётся карта классификации озёрных экосистем по значениям индекса NDVI (Рисунок 15, 16).

Общая площадь водной поверхности дана в Таблице 2.



Рисунок 13. Исследуемая территория в 2000 г

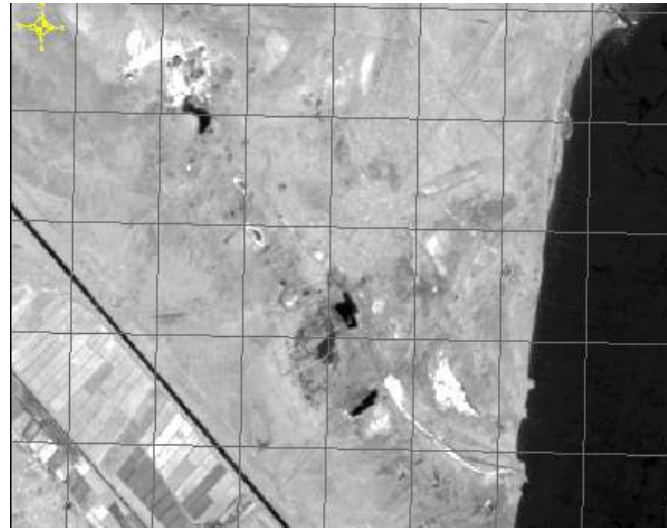


Рисунок 14. 5 спектральный канал за 2000 г

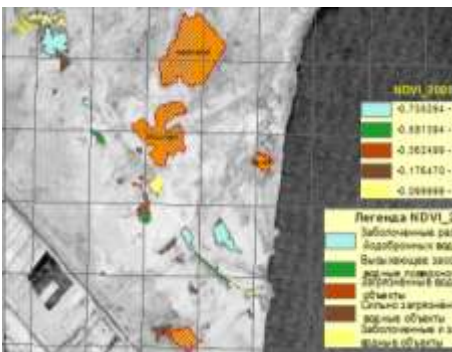


Рисунок 15. Векторизация водной поверхности по NDVI со спутника Landsat 8 за 2000 г



Рисунок 16. Карта классификации водной поверхности по значениям NDVI за 2000 г

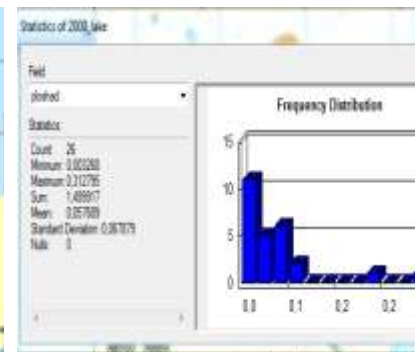


Рисунок 17. Статистика по площади водной поверхности по за 2000 г, S - 1,4999 км²

Таблица 2

NDVI со спутника Landsat 8 за 2000 г

| Легенда NDVI | Классификация водной поверхности по значениям NDVI | Оценка |
|--------------|--|--|
| | -0,735294- -0,581395 | Заболоченные разливы йодобромных вод |
| | 0,581394- -0,362500 | Высыхающее засоленные водные поверхности |
| | 0,362499- -0,176471 | Загрязнённые водные объекты |
| | -0,176470- -0,100000 | Сильно загрязнённые водные объекты |
| | 0,099999-0,042756 | Заболоченные и засоленные водные объекты |

Вычисление индекса NDVI по снимку LANDSAT 8 за 2010 г

В среду ГИС вводятся 4 и 5 спектральные каналы снимка LANDSAT 8 за 2010 г (Рисунок 19). С помощью инструмента ImageAnalysis программы ArcGIS 10.4.1. вычисляется индексное изображение и векторизуются водные поверхности (Рисунок 20).

На Рисунке 21 и 22 дана классификация и карта озерных экосистем по значениям NDVI за 2010 г. На Рисунке 23 дана статистика по площади озерных экосистем за 2010 г.



Рисунок 18. Landsat 8 за 2010 г

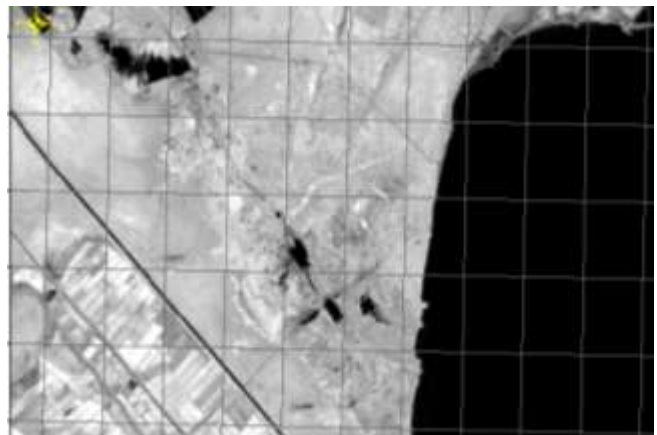


Рисунок 19. Landsat 8 за 2010 г 5 канал

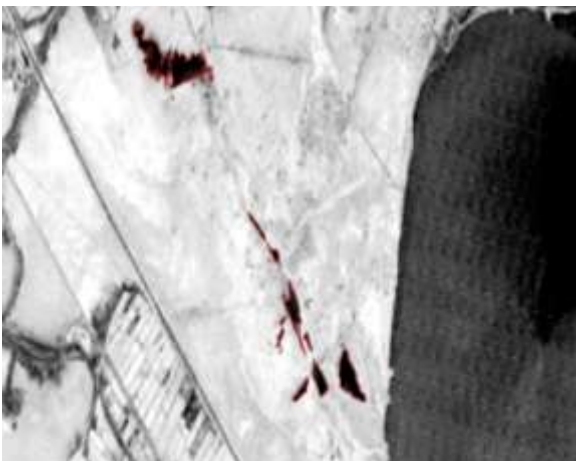


Рисунок 20. Векторизация водной поверхности по NDVI по снимку Landsat8 за 2010 г

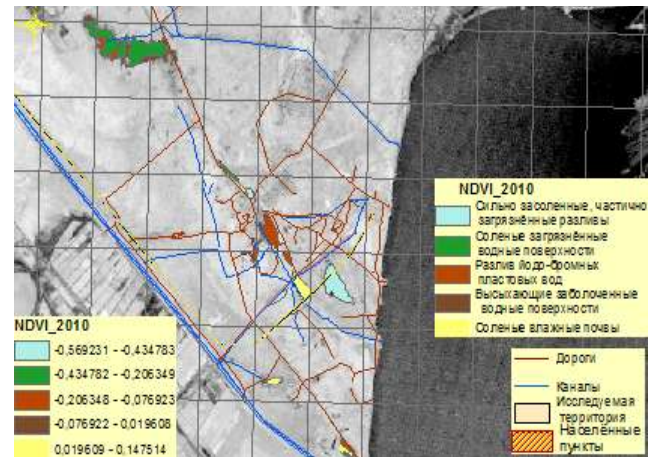


Рисунок 21. Классификация водной поверхности по значениям NDVI за 2010 г

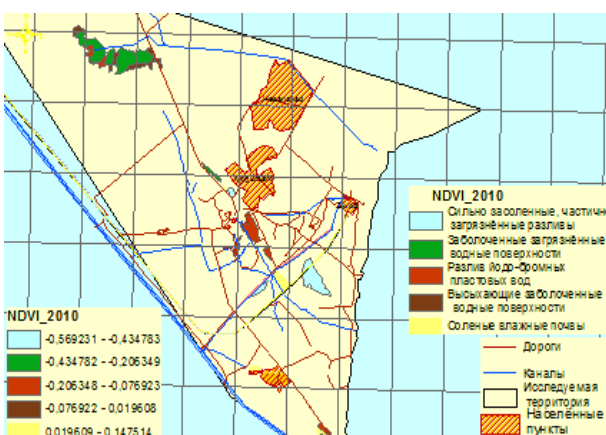


Рисунок 22. Карта классификации озерных экосистем по значениям NDVI за 2010 г

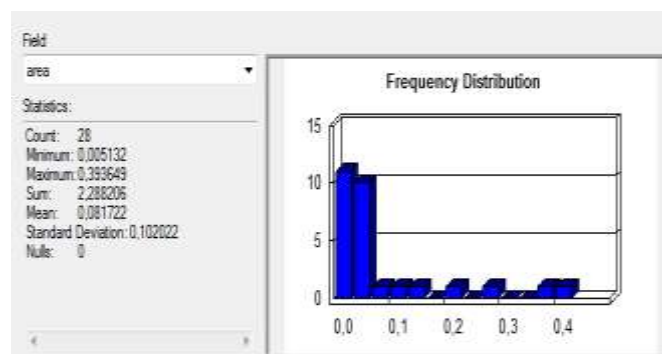


Рисунок 23. Статистика по площади водной поверхности по значениям NDVI за 2010 г, S - 2,288 км²

Таблица 3






| Легенда NDVI | Классификация водных объектов по значениям NDVI | Оценка |
|---|--|--|
|  | -0,569231- -0,434783 | Сильно засоленные, частично загрязнённые разливы |
|  | -0,434782- -0,206349 | Заболоченные загрязнённые водные поверхности |
|  | -0,206348- -0,076923 | Разлив йодо-бромных пластовых вод |
|  | -0,076922- 0.019608 | Высыхающие заболоченные водные поверхности |
|  | 0,019609-0.147514 | Соленые влажные почвы |

Таблица 4

| Год | Площадь, занимаемая озёрными экосистемами, км ² |
|------|--|
| 1980 | 2,161 |
| 1990 | 4,327 |
| 2000 | 1,439 |
| 2010 | 2,288 |

Динамика озёрных экосистем меняется неравномерно в сторону уменьшения до 2010 г (Таблица 6).

Сравнительный анализ по созданным цифровым картам и NDVI (Рисунок 24-26).

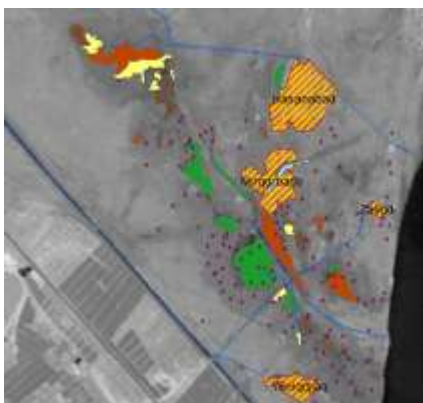


Рисунок 24. 1990 г



Рисунок 25. 2000 г

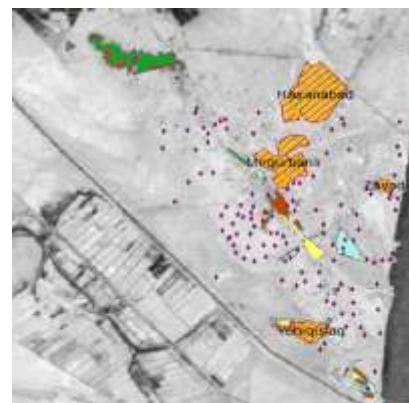


Рисунок 26. .2010 г

Солёные озерные системы, обозначенные на топокарте 1987 г ещё сохранились на изображении 1990 г, а на снимках 2000 и 2010 гг они уже не существуют. На территории в результате деятельности йодо-бромного месторождения и завода образовались новые озера. Как результат возобновления деятельности месторождения и переработки йодо-бромных пластовых вод увеличились площади заболоченных, засоленных, загрязнённых земель. Этот процесс также можно наблюдать по индексу NDVI, который показывает большие площади заливных, заболоченных и засоленных земель (Рисунок 27). Земли очерченные красным контуром имеют отрицательные знаки по индексу NDVI.



Рисунок 27. Красным контуром показаны заболоченные, засоленные и загрязнённые территории по NDVI (2017 г.). Точками показаны основные скважины



Рисунок 28. На снимке 2017 г влажные, заболоченные территории показаны зелёным цветом, засоленные влажные - светло-серым цветом

При добыче и переработки йодо-бромных пластовых вод наблюдается значительное загрязнение прилегающих территорий, которое можно наблюдать по разновременным данным дистанционного зондирования. Чаще всего спутниковые данные применяются для обнаружения загрязнения водных объектов и почвы. Преимущество мониторинга с помощью космической информации заключается в том, что съёмка территории ведётся в разные периоды времени и это позволяет наблюдать динамику процесса загрязнения территории месторождения. Так по разновременным данным спутниковой информации и с помощью геоинформационных технологий был проведён мониторинг водных объектов йодо-бромного месторождения на побережье азербайджанского сектора Каспийского моря. Показано, что существующие водные объекты были деградированы, а новые водные объекты являются следствием разливов йодо-бромных пластовых вод и результатов их переработки на действующем предприятии.

Источники:

- (1). Ekoloji monitoring <https://www.socar.az/az/page/ekoloji-monitoring>
- (2). Global Aerospace Monitoring for Disaster Forecasting <https://goo.su/ABBSz3>
- (3). Abşeron Gölləri <http://www.ecoalem.org/az/?p=189>
- (4). Abşeron yarımadasında çirkəlmiş torpaqların bioloji rekultivasiyasının aparılma metodları <https://goo.su/A4okK>

Список литературы:

1. Бондур В. Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. 2010. №6. С. 3–17.
2. Гаврилюк Е. А., Ершов Д. В. Методика совместной обработки разносезонных изображений Landsat-TM и создания на их основе карты наземных экосистем Московской

области // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. №4. С. 15-23.

3. Мехтиев А. Ш., Исмадова Х. Р., Бадалова А. Н., Абдуллаев Х. И. Применение данных дистанционного зондирования и геоинформационных систем в нефтегазовой отрасли. Баку, 2016. 136 с.

4. Мəммədov Q. Ş, Xəlilov M. Y. Ekologiya və ətraf mühitin mühafizəsi, Bakı, 2005. 880 s.

5. Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И. Перминова Е. С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения. Пермь, 2020. 190 с.

References:

1. Bondur, V. G. (2010). Aerokosmicheskie metody i tekhnologii monitoringa neftegazonosnykh territorii i ob"ektov neftegazovogo kompleksa. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, (6), 3-17. (in Russian).

2. Gavriluk, E. A., & Ershov, D. V. (2012). Metodika sovmestnoi obrabotki raznosezonnykh izobrazhenii Landsat-TM i sozdaniya na ikh osnove karty nazemnykh ekosistem Moskovskoi oblasti. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 9(4), 15-23. (in Russian).

3. Mekhtiev, A. Sh., Ismatova, Kh. R., Badalova, A. N., Abdullaev, Kh. I. (2016). Primenenie dannykh distantsionnogo zondirovaniya i geoinformatsionnykh sistem v neftegazovoi otrasli. Baku. (in Russian).

4. Mamedov, G. Sh., & Khalilov, M. Yu. (2005). Ekologiya i okhrana okruzhayushchei sredy, Baku. (in Azerbaijani).

5. Shikhov, A. N., Gerasimov, A. P., Ponomarchuk, A. I. & Perminova, E. S. (2020.) Tematicheskoe deshifrirovaniye i interpretatsiya kosmicheskikh snimkov srednego i vysokogo prostranstvennogo razresheniya. Perm'. (in Russian).

Работа поступила
в редакцию 14.02.2025 г.

Принята к публикации
19.02.2025 г.

Ссылка для цитирования:

Исмадова Х. Р., Каримли Г. Э. Исследование динамики окружающей среды йодобромного месторождения по разновременным данным дистанционного зондирования // Бюллетень науки и практики. 2025. Т. 11. №4. С. 58-68. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/08>

Cite as (APA):

Ismatova, Kh., & Karimli, G. (2025). Study of Environmental Dynamics of Iodine-Bromine Deposit Based on Multi-Temporal Remote sensing Data. *Bulletin of Science and Practice*, 11(4), 58-68. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/113/08>