[1]Салмурзаулы Р.,
[1]Нуртазин С.Т.,
[2]Мухитдинов А.М.,
[1]Икласов М.К.

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы
[2]Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Казахстан, г. Алматы

**Использование дистантных методов мониторинга загрязнения поверхностных вод бассейна р. Иле**

В статье рассматриваются общие вопросы целесообразности использования данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга некоторых типичных и важных в плане загрязнения поверхностных водоемов и водотоков бассейна реки Иле. Показано, что использование дистантных методов позволяет охватить обширные территории, получить для сравнения и анализа существующих трендов разновременную информацию, картировать потенциальные источники опасных для здоровья и жизни людей, биоты и природных экосистем поллютантов. Результаты анализа данных дистанционного зондирования двух крупных и важных в гидрологическом и гидрохимическом отношении водных объектов – Капшагайского водохранилища и накопителя сточных вод Сорбулак – показывают, что использование современных геоинформационных систем может стать важным элементом системы мониторинга состояния поверхностных вод и оценки влияния загрязняющих веществ на качество воды, используемой населением для хозяйственно-бытовых нужд, для техногенных целей, орошения, рыбохозяйственных целей и т.д. в бассейне р. Иле.

**Ключевые слова:** мониторинг, качество воды, дистанционное зондирование, водные объекты, загрязнения.

---

[1]Salmurzauli R.,
[1]Nurtazin S.T.,
[2]Muhitdinov A.M.,
Iklasov M.K.

[1]Al-Farabi Kazakh National University, Kazahstan, Almaty
[2]Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Kazahstan, Almaty

**The use of remote sensing methods for monitoring pollution of surface waters of the Ili river basin**

The article considers the common questions the feasibility of using remote sensing data for the monitoring of some typical and important in terms of pollution of surface water bodies and streams Ili River basin. It is shown that the use of remote sensing methods can cover large areas, to obtain for comparison and analysis of existing trends of multi-temporal information, to map potential sources of hazards to health and life of humans, biota and natural ecosystems of pollutants. The results of the analysis of remote sensing data of the two largest and most important in the hydrological and hydrochemical regard to water bodies-Kapshagai reservoir and Sorbulak wastewater storage show that the use of modern geo-information systems can be an important element of the system of monitoring of surface water status and assessing the impact of pollutants on the quality of water used by the population for domestic use, for technogenic purposes, irrigation, fishery purposes, etc. in the Ile river basin. Using modern methods of remote sensing techniques allows to quickly identify areas of water pollution depending on the presence of contaminants and sediment, changing the properties of surfactants, changes in the spectral characteristics of the display in the images, such as anthropogenic eutrophication of the reservoir, etc. Represented in this article the main approaches to the use of remote sensing methods can be an important part of monitoring the condition of the surface water.

**Key words:** monitoring, water quality, remote sensing, water bodies, pollution.

---

[1]Салмұрзаұлы Р.,
[1]Нұртазин С.Т.,
[2]Мұхитдинов А.М.,
[2]Ықласов М.Қ.

[1]Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан, Алматы қ.
[2]Қ.И. Сатпаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу университеті, Қазақстан, Алматы қ.

**Іле өзенінің бассейнінің жер беті суларының ластануынын зерттеуде ғарыштан бақылау әдістерін қолдану**

Мақалада Іле өзені бассейнінің кейбір маңызды жер беті су қорларының ластану мәселесін зерттеудегі жер бетін ғарыштан бақылау деректерін қолдану тиімділігімен орындылығы қарастырылған. Ғарыштан бақылау әдістерін қолдану үлкен алқаптарды қамтуға, уақыт аралық салыстырмалы өзгерістерді саралауға, сонымен қатар адам өмірмен денсаулығына және қоршаған ортаға зиян келтіретін ластағыш заттарды зерттеудегі тиімділігі келтірілген. Гидрологиялық және гидрохимиялық тұрғыдан маңызды Қапшағай су қоймасы және ағынды сулар жинағышы Сорбұлақ су нысандарын ғарыштан зерттеу нәтижелері, қазіргі заманғы геоинформатикалық жүйелер әдістерін қолдану, Іле өзені бассейнінде ауыз су және күнделікті үй-шаруасында, сонымен қатар егіс, балық өсіруде қолданатын су сапасына әсер ететін ластағыш заттарды қадағалау жүйесінің маңызды бір бағыты ретінде қалыптасқанын көрсетті. Қазіргі заманғы ғарыштан бақылау әдістері, су ортасында ластағыш заттардың таралу ареалын теңдестіруге мүмкіндік береді. Су беткі қабатының спектральді шағылысу ерекшелігін ғарыштан түсірілген сурет арқылы сараптай отырып, мысалы, су қойманың антропогендік эвтрофикациясын немесе органикалық заттармен ластануын сипаттауға болады.

**Түйін сөздер:** мониторинг, су сарасы, ғарыштан бақылау, су нысандары, ластану.

© 2016 Al-Farabi Kazakh National University

УДК

[1*]Салмурзаулы Р., [1]Нуртазин С.Т.,
[2]Мухитдинов А.М., [1]Икласов М.К.

[1]Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
Республика Казахстан, г. Алматы
[2]Казахский национальный исследовательский технический университет
им. К.И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы
[*]E-mail: ruslan.salmurzauli@gmail.com

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСТАНТНЫХ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД БАССЕЙНА Р. ИЛЕ

## Введение

Вторая половина XX-го и начало XXI-го столетия отмечены резким ростом антропогенного воздействия на природу, окружающие и включающие человека наземные экосистемы, атмосферу, поверхностные воды и т.д. Возникает целый ряд экологических и социально-экономических проблем, а в связи с этим, в частности, – необходимость всестороннего точного учета изменений качества воды, использования этих данных в целях рационального и устойчивого природопользования. Надежные данные экологического мониторинга – необходимая база для управления качеством воды в регионе, которая является важнейшим компонентом окружающей природной среды, одной из основ жизнедеятельности народов, проживающих на ее территории. В связи с остротой проблем сохранения окружающей среды создана глобальная система мониторинга окружающей среды (ГСМОС), частью которой является программа, посвященная водным проблемам – ГСМОС (Вода) – с центром в Канаде. Задачами программы ГСМОС (Вода) являются нижеследующие:

– мониторинг распространения и трансформации загрязняющих веществ в водной среде;

– оповещение о серьезном нарушении состояния водных объектов;

– напоминание правительствам о необходимости принятия мероприятий по охране, восстановлению и улучшению окружающей среды.

В рамках программы ГСМОС (Вода) вводятся национальные стандарты нормирования качества воды, которые устанавливают для воды конкретного объекта совокупность допустимых значений показателей ее состава и свойств, в пределах которых надежно обеспечиваются здоровье населения, благоприятные условия водопользования и экологическое благополучие водного объекта. Вытекающие из указанных стандартов правила охраны поверхностных вод определяют нормы качества воды водоемов и водотоков для условий хозяйственно-питьевого, культурно-бытового и рыбохозяйственного водопользования.

Известно, что проблема загрязнения поверхностных вод стоит в большинстве стран мира, в том числе в Казахстане, чрезвычайно остро [1]. В последние десятилетия растет техногенное загрязнение практически всех крупных рек нашей страны, включая трансграничную с Китаем реку Иле. Следует при этом учитывать, что в бассейне Иле, на юго-востоке Казахстана, проживает более трех миллионов человек, сложился крупный агропромышленный комплекс, что требует совершенствования всей системы водоохранных мероприятий и контроля качества воды на данной территории. Оптимальное решение задач, стоящих перед водным хозяйством региона, невозможно без объективной информации о состоянии водных ресурсов, без разработки, внедрения и совершенствования способов и научно обоснованных технологий оценки качества поверхностных и грунтовых вод.

Существующая система точечного контроля качества водных сред не позволяет в современных условиях достаточно оперативно решать задачи по контролю зон хронического загрязнения водных бассейнов на больших территориях [2]. Расширение задач по оценке состояния окружающей среды требует разработки новых методик, позволяющих на современном научно-техническом уровне оценивать масштабы загрязнения окружающей среды и выявлять степень влияния данного загрязнения на здоровье и качество жизни населения и живых организмов. Большими возможностями по идентификации загрязнения поверхностных вод обладают методы дистанционного зондирования, которые позволяют вести мониторинг на значительных территориях водных объектов, в том числе малодоступных для обычных контактных методов индикации [3, 4]. Дистанционные технологии при этом, безусловно, должны дополняться использованием классических методов оценки загрязненности и качества поверхностных вод по их гидрохимическим показателям [5, 6]. Данные возможности особенно важны для получения информации раннего обнаружения возникновения экстремальных ситуаций на водных объектах после природных и техногенных катастроф, аварий, экстремальных сезонных ситуаций и прочего [5, 6, 7, 8].

В настоящее время в мире накоплен значительный опыт по вопросам гидрологического мониторинга, включающего мониторинг состояния водных объектов и мониторинг состояния водосбора. Мониторинг состояния водных объектов включает в себя мониторинг различных гидрологических характеристик по количественным и качественным показателям (уровни и расходы воды, мутность и сток наносов, термический и ледовый режимы, качество воды), гидроморфологический мониторинг, мониторинг объемов водопотребления и водоотведения, водохозяйственных сооружений и водоохранных зон. Мониторинг состояния водосбора состоит из мониторинга физико-географических и климатических факторов стока (почвы, растительность, осадки, снегозапасы, температура и влажность почвы и т. п.) и мониторинга развития хозяйственной деятельности на водосборе. Как видно из приведенного перечня задач, для их решения необходим большой объем информации с высокой частотой обновления, которую могут обеспечить только данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, получаемые с заданным периодом наблюдений, с использованием разных методов ДЗЗ и спектральных диапазонов [9] (таблица 1).

Анализ современных методов дистанционного зондирования показывает, что их возможности позволяют оперативно идентифицировать ареалы загрязнения водной среды. Факторами загрязнения, наиболее распознаваемыми методами дистанционного зондирования являются: продукты нефти на поверхности, мутность воды взвесями, наличие и плотность хлорофилла, температурные аномалии и т.д. При этом основными признаками отображения на аэрокосмических снимках состояния водных объектов являются: изменение оптических характеристик толщи воды, изменение гидродинамических параметров водной среды, изменение свойств пленки поверхностно-активных веществ, изменение физико-химических характеристик водной среды, изменение спектральных характеристик отображения на снимках [10].

Определены преимущества дистанционного зондирования как метода идентификации загрязняющих компонентов поверхностных вод вследствие:

– обзорности;

– масштабности решаемых задач;

– значительной дешевизны получения данных по идентификации поллютантов по сравнению с другими методами;

– адекватности и документальности полученных данных;

– возможности использования и сравнения разновременных снимков;

**Таблица 1** – Характеристики методов дистанционного зондирования по идентификации водных поллютантов

| Метод исследования | Объект исследования | Спектральный диапазон, мкм |
|---|---|---|
| Съемка в видимом диапазоне | Зоны с повышенной антропогенной нагрузкой, загрязнение водных объектов разливами нефтяных пятен, аккумуляция, цветность загрязнений на объектах и др. | 0,4 – 0,78 мкм |
| Многозональная съемка | Глубоководные объекты, мелководные объекты, исследование цвета водной среды | 0,4 – 0,48 мкм |
| Мультиспектральная съемка | Механическое загрязнение вод, концентрация взвешенных частиц, автотрофное загрязнение водоемов | 0,4 – 0,48 мкм |
| Инфракрасная съемка | Места утечек техногенных вод, температурные аномалии, несанкционированные сбросы промышленных стоков в водоемы | 3 – 5 и 8 – 12 мкм |
| Телевизионная съемка | Зоны с повышенной антропогенной нагрузкой, загрязнение акваторий, разливы, цветовая контрастность нефтяных пятен | 0,5 – 0,75 мкм |
| Радиосъемка | Нефтяные загрязнения водных объектов, температурные показатели поверхностных вод | ≥ 12 мкм |
| Лазерная съемка | Концентрация зоопланктона и фитопланктона, распределение минеральной взвеси | 10 – 720 нм |

Однако, каждый метод дистанционного зондирования обладает ограниченной областью применения. Точность и информативность данных о загрязнении поверхностных вод увеличивается при совместном применении нескольких методов дистанционного зондирования, дополняющих друг друга. Эффективность идентификации поллютантов в водных средах методами дистанционного зондирования, как указывалось выше, во многом определяется результатами тестирования элементов распознавания непосредственно на объекте исследования с использованием классических гидрохимических методов анализа загрязняющих веществ [11, 12, 13].

Целью проведенной нами работы являлась разработка методики мониторинга состояния поверхностных вод естественных и искусственных водоемов и водотоков (водохранилищ, рек, озер) казахстанской части бассейна реки Иле с использованием разновременных материалов дистанционного зондирования. Теоретической и методической основой исследования послужили разработки ученых стран СНГ и дальнего зарубежья [14, 15, 16].

В рамках проведенного исследования был выполнен анализ данных дистанционного зондирования исследуемого региона с целью выявления потенциальных источников загрязнений поверхностных вод водных объектов бассейна реки Иле, в том числе населенных пунктов, водоемов – накопителей сточных вод, крупных промышленных, транспортных и животноводческих объектов, массивов орошаемого земледелия и т.д. в целях разработки системы мониторинга на основе использования данных дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) в сочетании с результатами гидрохимического анализа проб воды из соответствующих тестовых точек.

С целью определения характера распределения загрязняющих веществ и взвесей в водной среде рассмотрены накопитель сточных вод г. Алматы Сорбулак и Капшагайское водохранилище. Показано, что характер распределения, объем и концентрация загрязняющих компонентов и взвесей в поверхностных водах определяются: производительностью источников загрязнения; способами загрязнения (сточные воды, в том числе бытовые, производственные, транспортные, дождевые и талые, сельскохозяйственные сточные воды животноводческих комплексов и оросительных систем), которые указаны в карте-схеме исследуемого региона (рисунок 1).

Осуществлять расчет экологического риска, учитывая все присутствующие в водном объекте загрязняющие вещества представляет собой трудоемкий процесс и при этом не является необходимым, в связи с тем, что на качество воды наибольшее влияние зачастую оказывают лишь несколько веществ – приоритетных поллютантов для рассматриваемого водного объекта. Следует особо подчеркнуть, что загрязнение воды связано не только с присутствием в ней токсичных или дурно пахну-

щих веществ, но и с изменением ряда других физико-химических показателей, таких, как содержание взвешенных веществ, минеральный состав, растворенный кислород, температура, pH и др. В створах водопользования, забора состав и свойства воды ни по одному из названных показателей не должны превышать установленный норматив. При использовании водного объекта для различных нужд приоритетными являются более жесткие требования в ряду одноименных показателей. Главным с гигиенических позиций требованием к качеству питьевой воды является ее безопасность в эпидемиологическом отношении [17, 18]. Поэтому проблема контроля воды в системах водоснабжения, особенно на присутствие органических примесей, представляет собой самостоятельную актуальную задачу [19, 20].

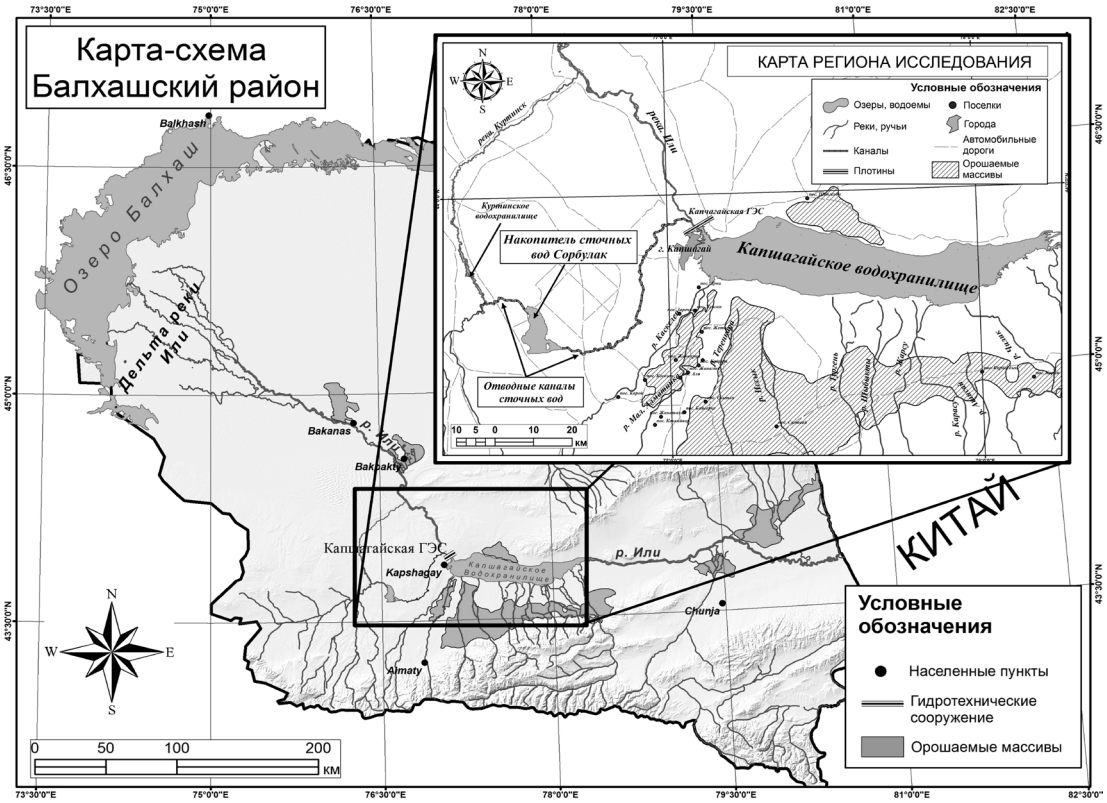


**Рисунок 1** – Карта-схема исследуемого региона и источники загрязнения в нижнем течении реки Иле на примере накопителя Сорбулак и Капшагайское водохранилище

## Материалы и методы

Исходя из поставленных задач, нами использовались методы спектрального анализа мультиспектральных данных Landsat 5 TM со средним пространственным разрешением 30 метров. При выборе космических снимков Landsat учитывались время сьемки и основные критерии качества. Все представленные космоснимки прошли корректировку с учетом радио- и атмосферных помех. В ходе спектрального анализа поверхностных вод водохранилища Капшагай и накопителя сточных вод Сорбулак оценивались отражательная способность поверхности вод в условиях их загрязнения и наличия взвесей различного типа в различных диапазонах спектра видимого и инфракрасного света. Анализ отражательной способности, загрязненной взвесями воды, проводился отдельно по всему спектральному диапазону Landsat TM, за исключением тепловой инфракрасной части [21, 22, 23] (таблица 2).

**Таблица 2** – Спектральные диапазоны спутника Landsat 5TM

| Спектральный канал | Длины волн | Разрешение |
|---|---|---|
| Видимый синий | 0,45 – 0,50 мкм | 30 м |
| Видимый зелёный | 0,51 – 0,55 мкм | 30 м |
| Видимый красный | 0,63-0,75 мкм | 30 м |
| Ближний инфракрасный | 0,76 – 0,90 мкм | 30 м |
| Инфракрасный – 1 | 1,55 – 1,75 мкм | 30 м |
| Инфракрасный – 2 | 2,08 – 2,35 мкм | 30 м |
| Тепловой инфракрасный | 10,4 – 12,4 мкм | 120 м |

Коэффициент отражения световых волн различных частей спектра от водной поверхности высчитывался по нижеприведенной формуле:

$$R = \pi * L_{\lambda} * d / ESUN_{\lambda} * \cos(\vartheta)_s$$

где: R – коэффициент отражения; π – значение пикселей региона обследования; $L_{\lambda}$ – спектральная яркость в определенной длине волны; d – расстояние между Землей и Солнцем; $ESUN_{\lambda}$ – средняя внеатмосферная солнечная спектральная излучения; $\cos(\vartheta)_s$ – высота стояния Солнца над горизонтом в момент съёмки.

Таким образом, для решения поставленных задач были использованы волны видимого и инфракрасного диапазонов спектра (таблица 3).

Обработка спутниковых снимков и их последующая компоновка проводились в программном комплексе ENVI и ArcGis. Использованные спутниковые снимки были получены из открытых источников http://earthexplorer.usgs.gov. Всего были исследованы два снимка серии Landsat Thematic Mapper, 2010 года.

**Таблица 3** – Примеры использования различных спектральных диапазонов при дешифрировании снимков водного объекта

| Спектральный диапазон | Примеры исследования |
|---|---|
| Видимый голубой 0,45 – 0,52 мкм | Картографирование и отображение мелководий. Различие открытой почвы и растительности в прибрежной зоне. |
| Видимый зеленый 0,52 – 0,57 мкм | Определение здоровья растительности в прибрежной зоне и на мелководье. Выявление различных ее поражений. |
| Видимый красный 0,62 – 0,75 мкм | Определение разновидностей фитопланктона и растительности мелководий в эвтрофированных водоемах. |
| Ближний инфракрасный 0,76 – 90 мкм | Картографирование водного объекта. Определение силы (мощности) прибрежной растительности, ее здоровья (пораженности). Тепловые аномалии в зоне сброса сточных вод. |
| Средний инфракрасный 2,08 – 2,35 мкм | Выявление типов горных пород путем определения их структуры и состава. Определение состояния береговой линии, растительности и почвы. Картографирование геологической структуры. Очерчивание водных границ. |

## Результаты и их обсуждение

Опыт использования оценки последствий загрязнения поверхностных вод биогенными элементами и взвесями с использованием материалов дистанционного зондирования на примере Капшагайского водохранилища и накопителя сточных вод г. Алматы – Сорбулак показал ее применимость и достаточно высокую корректность для мониторинга водных объектов бассейна реки Иле. Анализ мультиспектральных космических снимков исследованных водных объектов выявил особенности характера распределения в воде примесей органической и неорганической природы. В обоих случаях использовалась соответствующая специфике общего характера и природы загрязнения часть спектра.

Известно, что Капшагайское водохранилище играет важную роль в регулировании стока

и распределении различных растворенных веществ и взвесей в среднем течении и низовьях реки Или. Учитывая большую площадь (около 1150 км$^2$) и объем, Капшагайское водохранилище аккумулирует самые различные вещества. По результатам спектрального анализа отраженного от поверхностных вод Капшагайского водохранилища света был выявлен спектральный диапазон волн, наиболее чувствительных к степени мутности воды (рисунок 2).

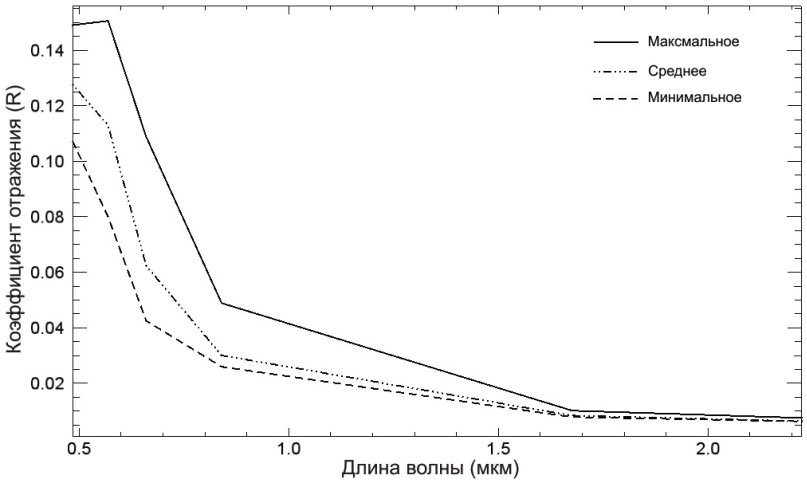


**Рисунок 2** – Коэффициент отражения волн различной длины от поверхности Капшагайского водохранилища.

Как видно из графика, наибольший коэффициент отражения соответствует длине волны 0,45 мкм, то-есть лежит в диапазоне сине-фиолетового цвета. Исходя из этого, дальнейшая кластеризация и детальный спектральный анализ мутности воды проводился в диапазоне волн длиной 0,45 – 0,52 мкм. Кластеризация синего спектра снимка позволила получить карту мутности по интенсивности отражения волн в данном диапазоне (рисунок 3).

При составлении карты нами выделены три области водохранилища, различающиеся по мутности воды, которая отличается между собой по отражательной способности не только в синей части спектра, но и в других частях (до сине-голубой части спектра), что показывает высокую достоверность кластеризации (таблица 4). Общая площадь водной поверхности с высокой степени мутности, площадью 328,1 км$^2$, распространяется от места впадения реки Или в водохранилище, вдоль южной акватории, где загрязнения поступают из мелких рек южной водосборной территории и в виде грунтовых вод. Часть водохранилища со средней степени мутности, площадью 282,8 км$^2$, имеет вид полосы шириной около 4 км и длиной около 60 км, расположена в южной части Капшагайского водохранилища. Самая чистая от взвесей часть водохранилища, площадью 534,7 км$^2$, находится в центре.

**Таблица 4** – Коэффициент отражения волн различной длины от поверхности воды различной степени мутности (спутник Landsat TM)

| Спектральный канал | Высокая мутность | Средняя мутность | Ннизкая мутность |
|---|---|---|---|
| Синий (0,45 – 0,52 мкм) | 0,15059 | 0,12758 | 0,10710 |
| Зелёный (0,52 – 0,60 мкм) | 0,14906 | 0,11299 | 0,08004 |
| Красный (0,63 – 0,69 мкм) | 0,10880 | 0,06236 | 0,04251 |
| Ближний инфракрасный (0,76 – 0,90 мкм) | 0,10880 | 0,03004 | 0,02595 |
| Инфракрасный – 1 (1,55 – 1,75 мкм) | 0,01013 | 0,00836 | 0,00781 |
| Инфракрасный – 2 (2,08 – 2,35 мкм) | 0,00752 | 0,00634 | 0,00627 |

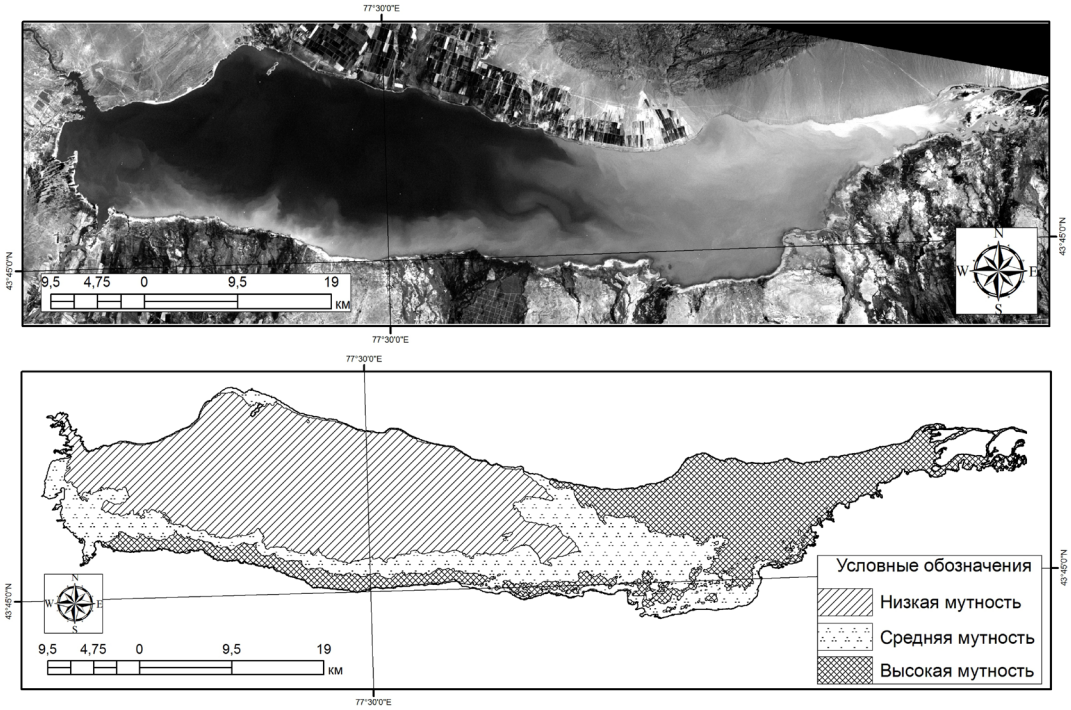


**Рисунок 3** – Спутниковый снимок Капшагайского водохранилища и карта кластеризации водоема по степени мутности воды

Отметим, что мутность воды обусловлена наличием в воде примесей – взвешенных веществ, твердых частиц ила, глины, водорослей и других мелких частиц, включая микроорганизмы и является важным показателем ее качества. Мутность воды повышается при дождях, паводках, таянии ледников. В результате повышенной мутности ухудшается не только внешний вид воды, но и бактериологическая загрязненность, т.к. мутность защищает бактерии и микроорганизмы при ультрафиолетовом обеззараживании воды или при любой другой процедуре дезинфекции.

Важное практическое значение имеет мониторинг загрязнения водоемов биогенными веществами, вызывающими эвтрофирование водоемов и резкое ухудшение качества воды, начиная от крупных морей и заканчивая мелкими речными системами, является чрезвычайно актуальным направлением в дистанционном зондировании и широко используется во всех развитых странах мира [24, 25, 26]. Известно, что естественное эвтрофирование – процесс очень медленный во времени (тысячи, десятки тысяч лет), развивается главным образом вследствие накопления донных отложений и обмеления водоемов, тогда как антропогенное эвтрофирование – процесс очень быстрый (годы, десятки лет), отрицательные последствия его для водоемов проявляются в очень резкой форме. На Международном симпозиуме по вопросам эвтрофирования поверхностных вод (1976) принята следующая формулировка – «антропогенное эвтрофирование – это увеличение поступления в воду питательных для растений веществ вследствие деятельности человека в бассейнах водных объектов и вызванное этим повышение продуктивности водорослей и высших водных растений».

Классическим примером антропогенно эвтрофированного водоема является накопитель сточных вод г. Алматы – Сорбулак, сток, из которого вода в различных объемах транзитом через реку Курты сбрасывается в р. Иле. Данный водный объект исследовался нами на основе анализа космических снимков из базы данных спутников Landsat. Пространственное распределение и концентрация в накопителе Сорбулак хлорофиллсодержащей биоты регистрировались на основе нормализованного относительного индекса растительности (NDVI), который обычно используется для мониторинга наземных экосистем (рисунок 4). Но в последние годы индекс NDVI активно применяется при мониторинговых обследованиях полупогруженной в воду растительности и идентификации вспышек размножения одноклеточных водорослей в

результате антропогенного эвтрофирования водоемов [27, 28, 29].

На вышеприведенной ГИС-карте выделены различные по степени (низкой, средней и высокой) эвтрофирования участки накопителя Сорбулак. Показано, что на представленном космоснимке 2010 года участки повышенного эвтрофирования вод составляют 16.36% от общей площади водной поверхности накопителя, равной 62 км$^2$.

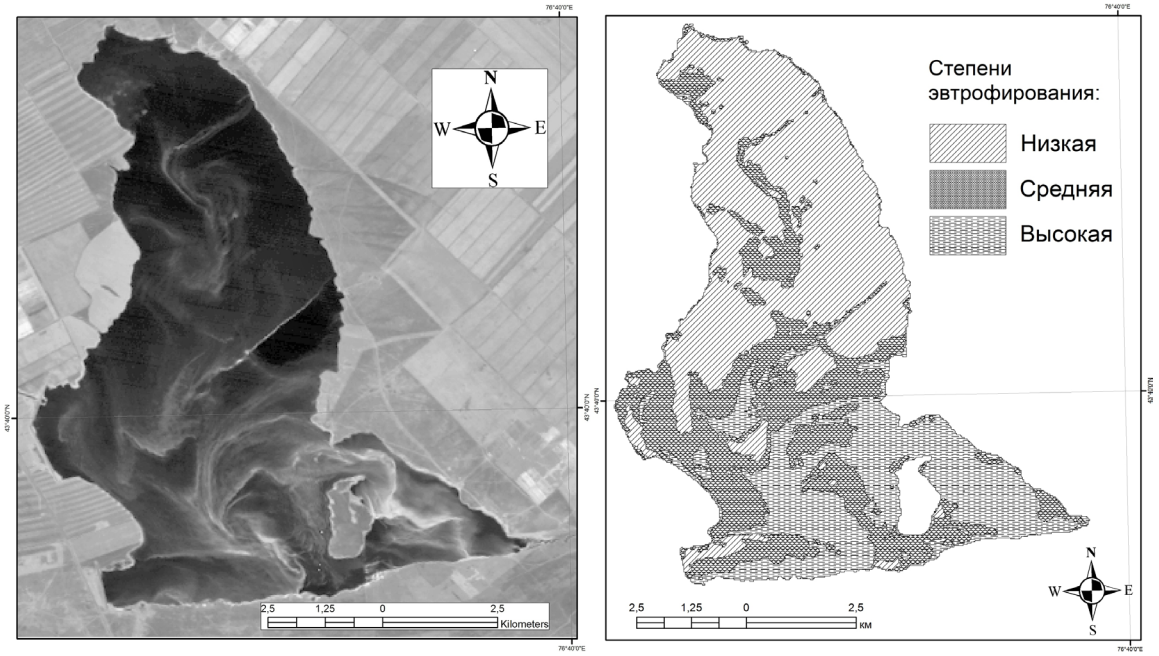


**Рисунок 4** – ГИС-картирование вод накопителя Сорбулак по степени эвтрофирования

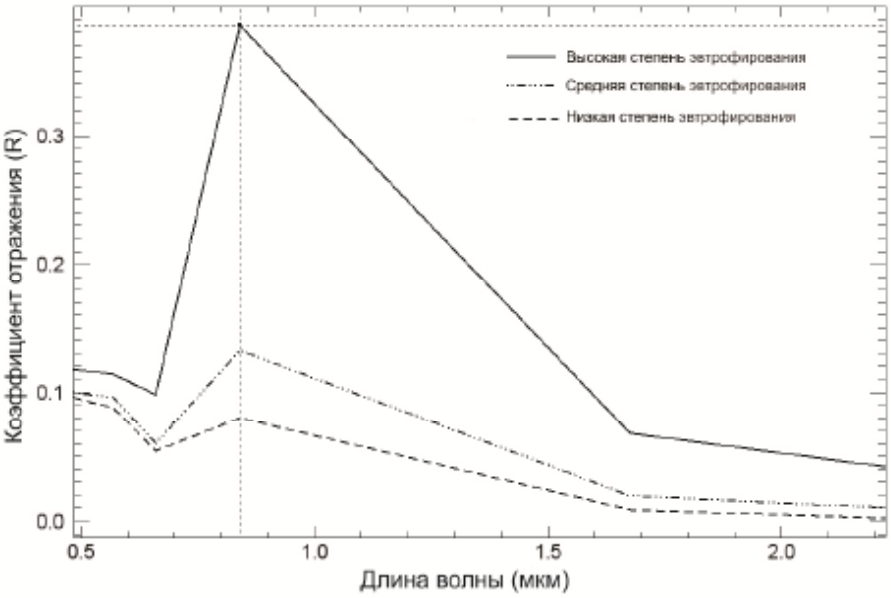


**Рисунок 5** – Коэффициент отражения волн различной длины в зависимости от степени антропогенного эвтрофирования воды

Для проверки достоверности классификации был проведен спектральный анализ, в ходе которого была подсчитана средняя спектральная отражения полученных классов NDVI, где учитывались отражения и поглощение спектров определенной длины волны, в данном случае – от 0,45 до 2,35 мкм. Полученные результаты показали типичное отражение и поглощение спектров, свойственных зеленым растениям, т.е. активное поглощение в красной части видимого спектра и отражение в инфракрасной части по мере увеличения значения индекса NDVI (рисунок 5).

**Заключение**

Давая общую оценку вышеприведенным результатам анализа данных дистанционного зондирования двух крупных и важных в гидрологическом и гидрохимическом отношении водных объектов бассейна реки Иле (Капшагайского водохранилища и накопителя сточных вод Сорбулак), следует отметить, что современные геоинформационные системы позволяют оперативно и в широких масштабах оценивать состояние поверхностных вод. Использование современных методов дистанционного зондирования позволяет оперативно идентифицировать ареалы загрязнения водной среды посредством анализа основных признаков отображения на снимках, таких как: изменение оптических характеристик толщи воды, показателей отражения волн различной длины в зависимости от присутствия загрязнений и взвесей, изменение свойств пленки поверхностно-активных веществ, изменение спектральных характеристик отображения на снимках, например при эвтрофировании водоема и т.д.

Представленные в настоящей статье основные подходы к использованию дистанционных методов могут стать важным звеном системы мониторинга за состоянием поверхностных вод и оценки влияния загрязняющих веществ на качество поверхностных вод, используемых населением, для техногенных целей, орошения и т.д. в бассейне р. Иле.

**Литература**

1 Всесторонний анализ окружающей природной среды: Тр. III симпозиума, октябрь 1977. – Ташкент. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – С. 21-22.

2 Латыпова В.З. Антропогенная нагрузка на бассейны рек / В.З. Латыпова, Е.А. Минакова, Ю.П. Переведенцев // Экологические проблемы малых рек Республики Татарстан. – Казань, 2003. – С. 38-58.

3 Katja Dörnhöfer., Natascha Oppelt., Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. Ecological Indicators 64 (2016) 105–122

4 Birk S., Ecke, F., The potential of remote sensing in ecological status assessment of coloured lakes using aquatic plants. Ecol. Indic. 46, (2014) 398–406.

5 Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. – СПб.: «Крисмас+», 2009. – 220 с.

6 Панина М. В. Роль техногенных факторов в формировании гидрохимического режима в бассейне р. Миасс: дис., канд. геогр. наук: 25.00.27 / Панина М.В.; Место защиты: Пермский гос. ун-т. – Пермь, 2006. – 208 с.

7 Бондур В.Г. Аэрокосмические методы в современной океанологии // Новые идеи в океанологии. Т. 1. Физика. Химия. Биология. – М.: Наука. 2004. – С. 55–117.

8 Бондур В.Г. Основы аэрокосмического мониторинга окружающей среды: Курс лекций. – М.: Московский государственный университет геодезии и картографии. 2008. – 369 с.

9 Dekker A.G., Brando V.E., Anstee J.M., Pinnel N., Kutser T., Hoogenboom E., Peters. Imaging spectrometry of water. In: van der Meer, F.D., Jong, S. (Eds.), Imaging Spectrometry. Springer, Netherlands, (2002). – Pp. 307–359.

10 Matthews M.W. A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. Int. J. Remote Sens. 32, (2011) 6855–6899

11 Бондур В.Г., Старченков С.А. Методы и программы обработки и классификации аэрокосмических изображений // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2001. – № 3. – С. 118–143.

12 Иванов А.Ю. О восстановлении параметров морской среды по данным космических РСА // Исследование Земли из космоса. – 2010. – № 3. – С. 77–92.

13 Барсегян А.А. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAR / А.А. Барсегян [и др.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – С. 35-41.

14 Конобеева В.К., Салтанкин В.П. Экологическое состояние водохранилищ волжского каскада: факты, тенденции. – Екатеринбург, 1997. – 242 с.

15 Gómez J.A.D., Alonso C.A., García A.A. Remote sensing as a tool for monitoring water quality parameters for Mediterranean Lakes of European Union Water Framework Directive (WFD) and as a system of surveillance of cyanobacterial harmful algae blooms (SCyanoHABs). Environ. Monit. Assess. 181, (2011) 317–334.

16 Шайтура С.В. Геоинформационные системы и методы их создания. – М.: изд. МИИГАИК. 1995. – 157 с.

17 Эдельштейн К.К. Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения. – М.: ГЕОС, 1998. – 254 с.

18 Абросимова Е.М. Изменение гигиенических нормативов качества питьевой воды. Новые проблемы Водоканалов // Водоснабжение и санитарная техника, 2001. – № 1. – С. 6-11.

19 Амплеева Г.П. Оптимизация методических основ санитарного надзора за условиями хозяйственно-питьевого водопользования: Автореф. дис.канд. мед. наук. – М., 1997. – 24 с.

20 Баженова Т.В. Экологическая безопасность водно-канализационного хозяйства страны // Сборник материалов VIII международ, научно-практ. конф. Пенза, 2005. – С.132-135.

21 Vanhellemont, Q., Ruddick, K., Advantages of high quality SWIR bands for ocean colour processing, examples from Landsat-8. Remote Sens. Environ. 161, (2015) 89–106

22 Schaeffer B.A., Schaeffer K.G., Keith D.J., Lunetta R.S., Conmy R., Gould R.W. Barriers to adopting satellite remote sensing for water quality management. Int. J. Remote Sens. 34, (2013) 7534–7544

23 BABIN M. and STRAMSKI D. Light absorption by aquatic particles in the near-infrared spectral region. Limnology and Oceanography, 47, (2002). – pp. 911–915.

24 Gitelson A., Kondratyev K.Y. Optical models of mesotrophic and eutrophic water bodies. Int. J. Remote Sens. 12, (1991) 373–385

25 Hunter P.D., Tyler A.N., Carvalho L., Codd G.A., Maberly S.C., Hyperspectral remote sensing of cyanobacterial pigments as indicators for cell populations and toxins in eutrophic lakes. Remote Sens. Environ. 114, (2010) 2705–2718

26 Matthews M.W., Odermatt D. Improved algorithm for routine monitoring of cyanobacteria and eutrophication in inland and near-coastal waters. Remote Sens. Environ. 156, (2015) 374–382

27 Yuyan C. J., Abduwasit G., Sean H., Traits of surface water pollution under climate and land use changes: A remote sensing and hydrological modeling approach. Earth-Science Reviews 128 (2014) 181–195

28 Jie Zh., Xuan W., Lixiao Zh., Hongguang Ch., Zhifeng Y., System dynamics modeling of the influence of the TN/TP concentrations in socioeconomic water on NDVI in shallow lakes. Ecological Engineering 76, March 2016, Pages 27–35

29 Yuchao Zh., Ronghua Ma., Hongtao D., Steven L., Minwei Zh., Jinduo X. A novel MODIS algorithm to estimate chlorophyll a concentration in eutrophic turbid lakes. Ecological Indicators 69 (2016) 138–151

**References**

1 Vsestoronniyanalizokruzhayushcheyprirodnoysredy :Tr . III simpoziuma , 1977 oktyabr' , Tashkent . L.: Gidrometeoizdat, 1978. - S. 21-22.(in Russian)

2 Latypova V.Z. Antropogennayanagruzkanabasseynyrek / V.Z. Latypova ,Ye.A. Minakova , YU.P. Perevedentsev // EkologicheskiyeproblemymalykhrekRespublikiTatarstan. Kazan', 2003, -S.38-58. (in Russian)

3 KatjaDörnhöfer□., NataschaOppelt., Remote sensing for lake research and monitoring – Recent advances. Ecological Indicators 64 (2016) 105–122

4 Birk S., Ecke, F., The potential of remote sensing in ecological status assessment of coloured lakes using aquatic plants. Ecol. Indic. 46, (2014) 398–406.

5 Murav'yev A. G. Rukovodstvopoopredeleniyupokazateleykachestvavodypolevymimetodami. SPb .: «Krismas +», 2009. 220 s.(in Russian)

6 Panina M. V. Rol' tekhnogennykhfaktorov v formirovaniigidrokhimicheskogorezhima v basseyne r. Miass:. Dis, kand. geogr. nauk: 25.00.27 / Panina M. V.; Mestozashchity: Permskiygos. un-t. Perm', 2006. 208 s.(in Russian)

7 Bondur V.G. Aerokosmicheskiyemetody v sovremennoyokeanologii // Novyyeidei v okeanologii. T. 1. Fizika. Khimiya. Biologiya. M.: Nauka. 2004. S. 55-117.(in Russian)

8 Bondur V.G. Osnovyaerokosmicheskogomonitoringaokruzhayushcheysredy: Kurslektsiy. - M.: Moskovskiygosudarstvennyyuniversitetgeodeziiikartografii. 2008. 369 s.(in Russian)

9 Dekker A.G., Brando V.E., Anstee J.M., Pinnel N., Kutser T., Hoogenboom E., Peters. Imaging spectrometry of water. In: van der Meer, F.D., Jong, S. (Eds.), Imaging Spectrometry. Springer, Netherlands, (2002) pp. 307–359.

10 Matthews M.W. A current review of empirical procedures of remote sensing in inland and near-coastal transitional waters. Int. J. Remote Sens. 32, (2011) 6855–6899

11 BondurV.G.,Starchenkov S.A. Metodyiprogrammyobrabotkiiklassifikatsiiaerokosmicheskikhizobrazheniy // Isv.VUZov. Geodeziya i aerofotosyemka . 2001. № 3. S. 118-143.(in Russian)

12 12. Ivanov A.YU. O vosstanovleniiparametrovmorskoysredypodannymkosmicheskikh RSA // IssledovaniyeZemliizkosmosa. 2010. № 3. S. 77-92.(in Russian)

13 13. Barsegyan A.A. Tekhnologiianalizadannykh: intellektual'nyyanalizdannykh, Visual Mining, Text Mining ,Olar / A.A. Barsegyan [ idr . ] . - SPb.: BKHV-Peterburg, 2007. S. 35-41.(in Russian)

14 14. KonobeyevaV.K.,Saltankin V.P. Ekologicheskoyesostoyaniyevodokhranilishchvolzhskogokaskada: fakty, tendentsii. 242 s. Yekaterinburg, 1997 g.(in Russian)

15 Gómez J.A.D., Alonso C.A., García A.A. Remote sensing as a tool for monitoring water quality parameters for Mediterranean Lakes of European Union Water Framework Directive (WFD) and as a system of surveillance of cyanobacterial harmful algae blooms (SCyanoHABs). Environ. Monit. Assess. 181, (2011) 317–334.

16 Shaytura S.V. Geoinformatsionnyyesistemyimetodyikhsozdaniya. - M.: izd. MIIGAIK. 1995. - 157 s.(in Russian)