

Д. Н. Ондасынова¹, Е. П. Хлебникова¹*

Мониторинг изменения русла реки Иртыш с использованием спутниковых снимков Sentinel-2

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: ondasynovadaana@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены роль и значение применения технологий дистанционного зондирования Земли при мониторинге водных объектов. Обозначены положительные стороны и недостатки дистанционного мониторинга. В работе предлагается использовать спутниковые снимки Sentinel-2, которые обладают высоким разрешением и широким спектром наблюдения, что позволяет получить детальную информацию о состоянии объекта исследования. Использован метод сегментации водных объектов по космическим снимкам при помощи расчета нормализованного вегетационного индекса NDVI. Ожидаемые результаты исследования включают в себя картографирование изменений реки Иртыш на основе спутниковых снимков, а также оценку динамики этих изменений во времени. Полученные данные позволят более точно определить факторы, влияющие на изменение русла реки, и поспособствовать разработке эффективных стратегий управления водными ресурсами. Результаты работы могут быть использованы в планировании и принятии решений в области водного хозяйства, охраны окружающей среды и устойчивого развития региона.

Ключевые слова: спутниковые снимки, мониторинг, водные объекты, река Иртыш, Sentinel-2, NDVI

D. N. Ondasynova¹, E. P. Khlebnikova¹

Monitoring of Irtysh River channel changes using Sentinel-2 satellite images

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
* e-mail: ondasynovadaana@mail.ru

Abstract. The article considers the role and significance of Earth remote sensing technology application in monitoring of water bodies. Positive sides and disadvantages of remote monitoring are outlined. The paper proposes to use Sentinel-2 satellite images, which have high resolution and wide spectrum of observation, which allows obtaining detailed information on the state of the object of study. The method of water bodies segmentation from space images by means of calculation of normalized vegetation index NDVI was used. The expected results of the study include mapping of changes in the Irtysh River based on satellite images, as well as assessment of the dynamics of these changes over time. The data obtained will make it possible to determine more precisely the factors influencing the river channel changes and contribute to the development of effective water management strategies. The results of the work can be used in planning and decision-making in the field of water management, environmental protection and sustainable development of the region.

Keywords: satellite images, monitoring, water bodies, Irtysh River, Sentinel-2, NDVI

Введение

Одной из главных задач экологического мониторинга является изучение изменений природных комплексов, для решения которой активно используются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Данные ДЗЗ являются предварительными и производными материалами, полученными бесконтактными методами с использованием наземных авиационных и космических приборов, они широко используются для исследований окружающей среды, землепользования, изучения растительных сообществ, оценки последствий стихийных бедствий, пожарной опасности, различных гидрологических особенностей, в частности, пространственного распределения и динамики гидрологических явлений.

Примерами использования данных методов в области гидрологии являются оценка влажности почвы, картирование и мониторинг наводнений, мониторинг динамики ледников, картирование дренажных зон, мониторинг динамики побережья и многое другое [1].

Климатические особенности Восточного Казахстана, находящегося в умеренном поясе, характеризуются резко выраженной континентальностью, то есть проявляются большие амплитуды сезонных температур относительно коротких переходных сезонов. Естественная ритмичность, а также ее фазы, проявляют значительное воздействие на функционирование разных сфер хозяйства. Ритмы лежат в основе равновесия в природе, что приводит к необходимости их наиболее углубленного и детального исследования.

В качестве объекта данного исследования был взят участок реки Иртыш в пределах границы Республики Казахстан, Абайской области, вблизи города Семей, протяженностью около 140 километров (рис. 1).

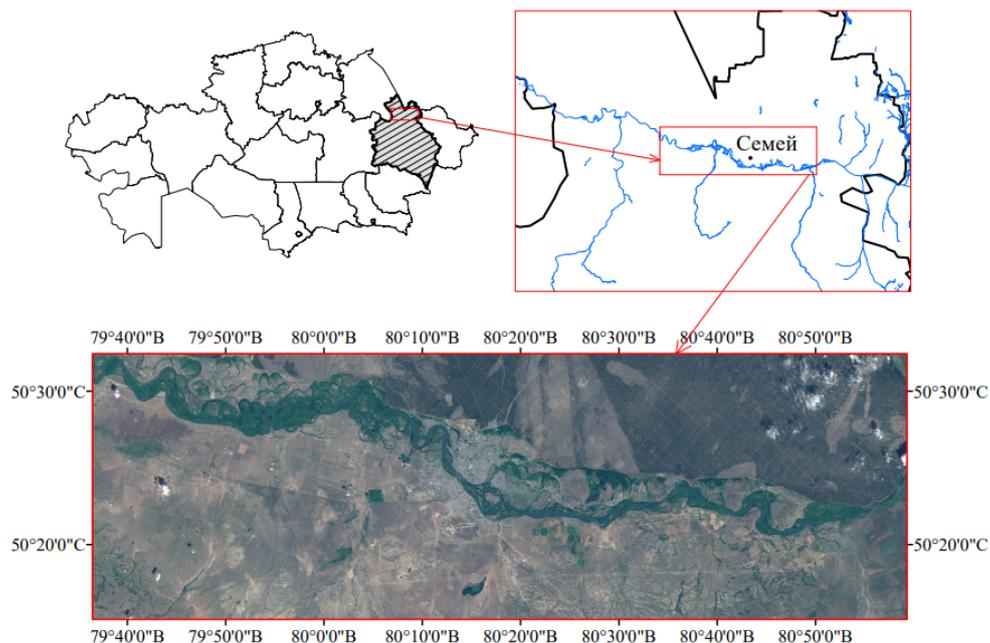


Рис. 1. Объект исследования

Стоит отметить, что Иртыш является очень важным источником пресной воды для Республики Казахстан, поскольку Иртыш является основной рекой, наполняющей главный искусственный водоем Казахстана – Бухтарминское водохранилище. Река обеспечивает питьевой водой не только города, что расположены на ее берегах, но и в связке с каналом Иртыш-Караганда снабжает водой Астану, Экибастуз, Темиртау и др.

Также река оказывает очень большое значение для экономики Казахстана, поскольку вдоль побережья Иртыша построены три гидроэлектростанции – Бухтарминская, Шульбинская и Усть-Каменогорская ГЭС, что является одним из самых дешевых источников производства электроэнергии [2].

Из этого можно заключить, что дефицит воды в реке Иртыш может способствовать обострению межгосударственных водных отношений, трансформации природных зон, усилению опустынивания, сопровождаемые сокращением обеспечения продовольственной безопасности страны. Также, наряду с этим, река Иртыш может нанести и огромный ущерб близлежащим территориям из-за появления паводков. Паводки на равнинных реках, имеющих ледниковое и снеговое питание, зачастую являются причиной затопления обширных территорий. Таким образом, каждую весну населенные пункты нашей страны подвергаются паводкам, в итоге которых может пострадать сельское хозяйство, здания, сооружения, коммуникации, хозяйственная деятельность, урожай и плодородные почвы.

Исходя из всего вышесказанного, можно с уверенностью утверждать, что космический мониторинг водных объектов является связующим информационным звеном в методологии комплексного управления речными бассейнами, главная цель которого – сохранение водных ресурсов, определение площади водного объекта, определения границ и площади подтопления населённых пунктов, определение периода изменения состояния русла реки [3].

Методы и материалы

В настоящее время, ведущим и самым распространенным методом дешифрирования является визуальное выявление объектов, когда водные объекты распознаются на основе цветowych синтезированных изображений. Основной проблемой этого метода является одновременный анализ нескольких изображений. Это делается с целью детализации береговой линии, которая на синтезированных изображениях отображается по-разному. Данный процесс с таким подходом достаточно трудоемок и длителен [4].

Математические способы обработки данных дистанционного зондирования дают возможность узнать о пространственных и временных параметрах земной поверхности, в том числе и водных объектов. Одним из таких параметров является водная маска, которая позволяет определить пиксели, в которых расположены водные объекты на спутниковом снимке [5, 6, 7].

В ходе исследования, проведя анализ всех расчетных индексов [8], для обнаружения водных объектов по космическим многоспектральным изображениям использовался индекс NDVI.

Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI выступает в качестве наиболее распространенного индекса, который используется на практике, и показывает наличие и состояние растительности на момент измерений. Индекс основан на контрасте отражательных характеристик с максимальным поглощением пигментов хлорофилла и высокой отражательной способностью растительного покрова. Индекс вычисляется по формуле (1) [9]:

$$NDVI = \frac{(Red - NIR)}{(Red + NIR)}, \quad (1)$$

где *Red* – отражение в красной области спектра; *NIR* – отражение в ближней инфракрасной области спектра.

Основой исследования послужили спутниковые снимки Sentinel-2.

Согласно классификации, приведенной в работе [10], изображения Sentinel-2 относятся к изображениям высокого разрешения. Данные этой системы находятся в открытом доступе, пространственное разрешение – 10 м, радиометрическое разрешение – 12 бит на пиксель, что является достаточным для целей этого исследования. В качестве рабочих каналов выбраны каналы видимого диапазона (2 – синий, 3 – зеленый, 4 – красный) и канал инфракрасного диапазона (8А – ближний инфракрасный). У всех выбранных каналов пространственное разрешение 10 м, что позволяет объединить их без дополнительной обработки.

Результаты

Результат выделения водных объектов по спектральному индексу представлен на рис. 2.

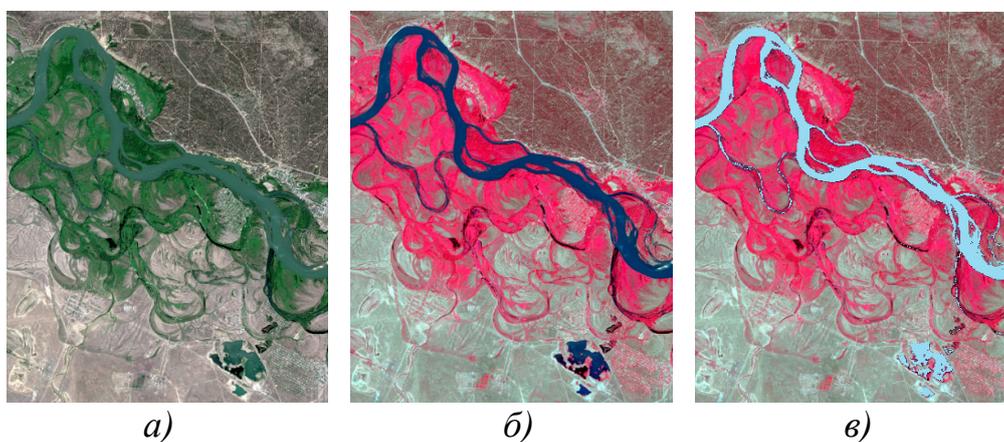


Рис. 2. Наложение вычисленного растра NDVI на комбинацию 8-4-3:

а) участок реки Иртыш в естественном цвете (4-3-2); б) участок реки Иртыш в инфракрасном цвете (8-4-3); в) наложенный растр на комбинацию 8-4-3

После завершения обработки снимков был проведен анализ динамики русла реки Иртыш. Для определения площади были использованы векторные полигональные данные, полученные в результате векторизации вычисленных растров.

В табл. 1 приведены результаты анализа, показывающие изменения количественных параметров изменения площади реки Иртыш за 2016-2022 годы.

Таблица 1

Вычисленная площадь реки Иртыш

Год \ Сезон	Весна (км ²)	Лето (км ²)	Осень (км ²)
2016	75,10	61,3	56,5
2018	96,7	55,1	55,6
2020	99,4	49,8	59,9
2022	66,2	51,5	55,2

На рис. 3 изображена диаграмма на основе данных табл. 1. По этой диаграмме можно определить, что значения площади несколько отличаются.

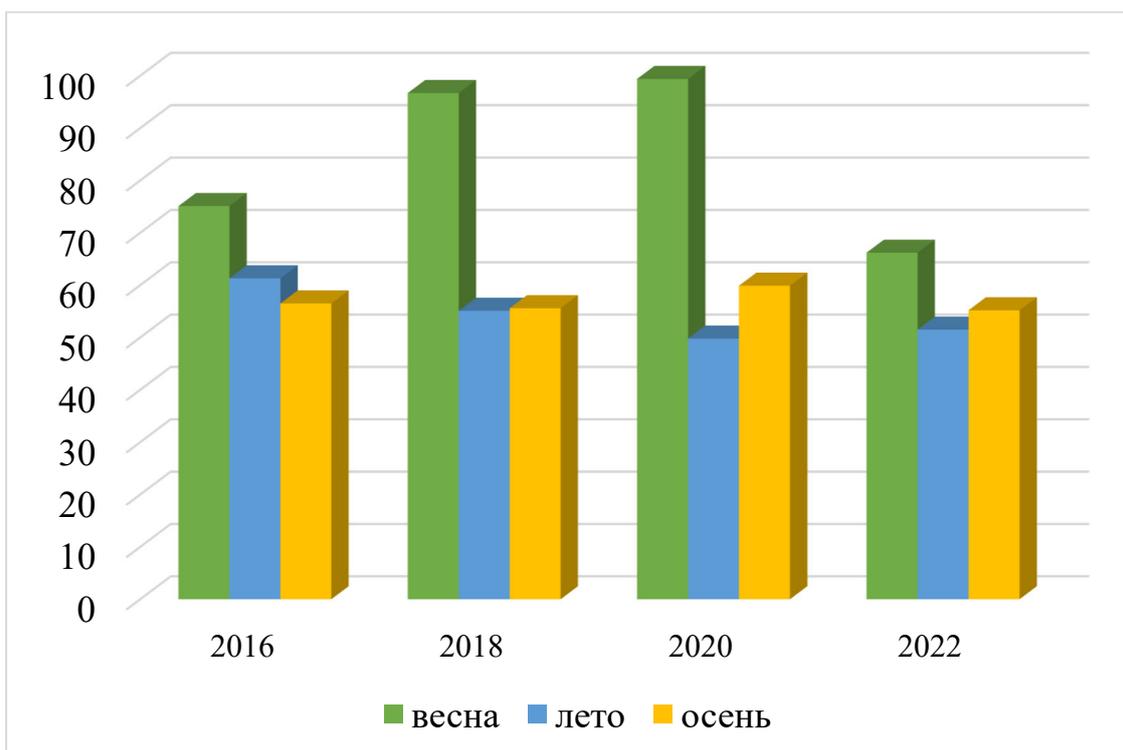


Рис. 3. Диаграмма динамики изменения площади реки Иртыш

Используя метод дешифрирования водных объектов на спутниковых снимках, была составлена графическая визуализация изменения береговой линии реки Иртыш с указанием участков потенциального затопления (рис. 4).

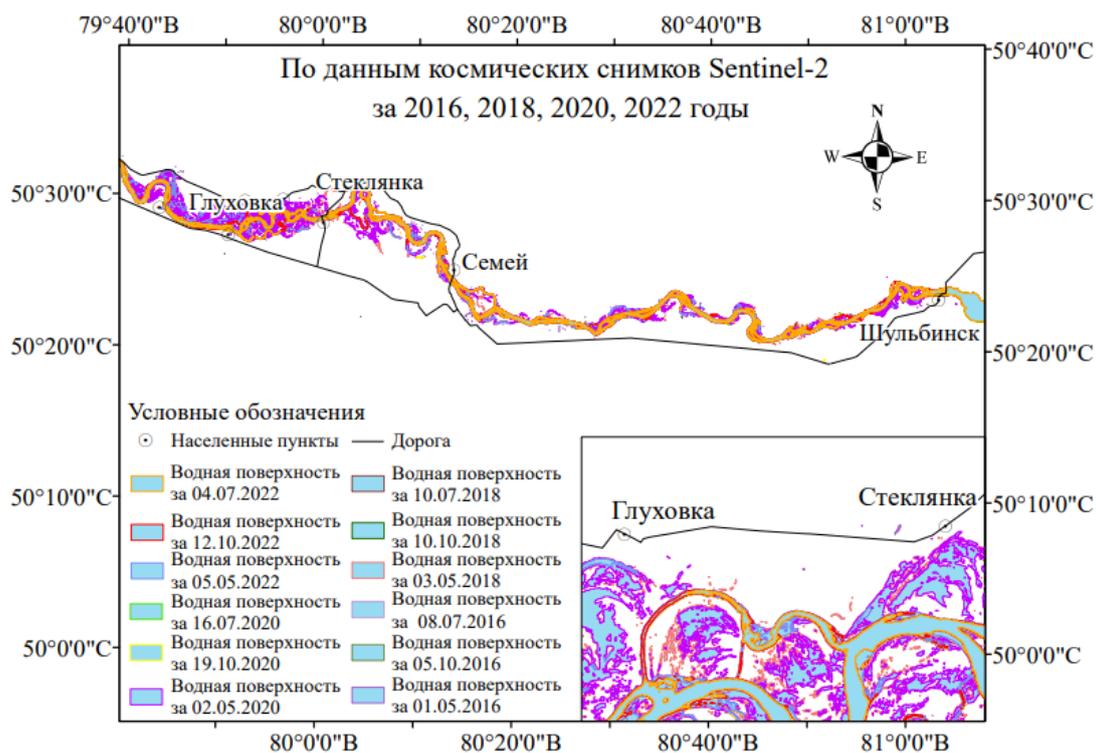


Рис. 4. Изменение береговой линии реки Иртыш с указанием участков потенциального затопления

Помимо перечисленных карт, также продемонстрирована общая динамика изменения русла реки Иртыш за 2016-2022 годы (рис. 5).

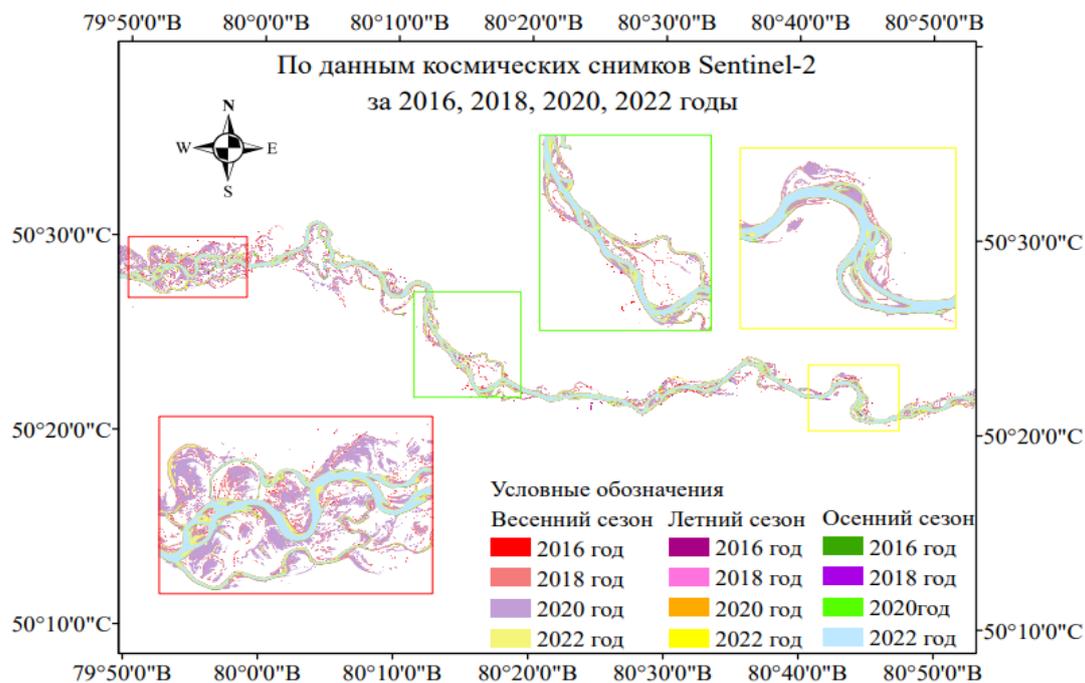


Рис. 5. Динамика изменения русла реки Иртыш за 2016-2022 годы

Обсуждение

Таким образом, в связи с сезонными изменениями река Иртыш на протяжении семи лет характеризуется периодическими колебаниями.

Основываясь на результатах анализа данных дистанционного зондирования исследуемого участка русла реки Иртыш, можно сделать вывод, что колебания весеннего и летне-весеннего стока рек, расположенных в разных частях исследуемой территории, весьма разнообразны. Основной объем стока образуется в весенний период, по большей части благодаря таянию снега и дождевым паводкам. Река в этот сезон характеризуется наибольшей изменчивостью, и в его колебаниях можно различить фазы повышенной и пониженной водности. В летний сезон площадь реки постепенно все же идет на уменьшение. В осенний период, за исключением 2020 года, сохраняется стабильная тенденция – площадь реки сопровождается незначительными колебаниями.

Заключение

В данном исследовании с помощью космических снимков с облачностью не более 30 % был произведен мониторинг изменения реки Иртыш с едиными месяцами съемки (май, июль и ноябрь).

Итоговые иллюстрации и вычисленные количественные параметры показали границы максимального и минимального уровня воды в реке с различными сезонными условиями, что может быть полезным для будущего оперативного принятия обоснованных решений в случае возникновения разных чрезвычайных ситуаций. Следовательно, изучение и картирование изменения реки в пространственном и временном масштабе является очень важным процессом для мониторинга устойчивости экосистем, поскольку эти материалы могут служить основой для многих научных исследований.

Согласно проведенному исследованию по полученным результатам можно утверждать, что основным и наиболее действенным ресурсом для мониторинга прибрежных территорий водных объектов на данный момент являются данные дистанционного зондирования Земли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абросимов А. В., Дворкин Б. А. Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России // Геоматика. – 2009. – № 4. – 45–49 с.
2. Козлов Л. Н., Беляков А. А. Иртышско-обская глубоководная магистраль от Китая до Северного морского пути в составе транспортно-энергетической водной системы (ТЭВС) Евразии // Евразийская Экономическая Интеграция [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/irtyshsko-obskaya-glubokovodnaya-magistral-ot-kitaya-do-severnogo-morskogo-puti-v-sostave-transportno-energeticheskoy-vodnoy-sistemy>.
3. Космический мониторинг водных объектов // KGS SPACE TECHNOLOGIES [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://km.gharysh.kz/courses/water>.
4. Лабутина И. А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: учеб. пособие для студентов вузов. – М.: АспектПресс. – 2004. – 184 с.
5. F. Hui, B. Xu, H. Huang, Q. Yu, P. Gong. Modelling spatial-temporal change of Poyang Lake using multitemporal Landsat imagery // International Journal of Remote Sensing. – 2008. – Vol. 29 (20). – P. 5767–5784.

6. L. Ji, L. Zhang, B. Wylie. Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. – 2009. – Vol. 75 (11). – P. 1307–1317.
7. W. Sun, J. Chen, P. Gong. Comparison and improvement of methods for identifying waterbodies in remotely sensed imagery // *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. – Vol. 33 (21). – P. 6854–6875.
8. Морозова В. А. Расчет индексов для выявления и анализа характеристик водных объектов с помощью данных дистанционного зондирования // *Современные проблемы территориального развития: электрон. журн.* – 2019. – № 2.
9. Катаев М. Ю., Бекеров А. А. Методика обнаружения водных объектов по многоспектральным спутниковым измерениям // *Доклады ГУСУРа*. – 2017. – Т. 20 (4). – 105–108 с.
10. Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В. Аэрокосмические методы географических исследований // *Издательский центр «Академия»*. – 2004. – 336 с.

© Д. Н. Ондасынова, Е. П. Хлебникова, 2024