

УДК 528.8.04

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ПАВОДКА В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ РЕКИ ИШИМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Мезенцева О.В., Ломакина С.С.

*ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск,
e-mail: svetik.lighting@mail.ru*

Работа посвящена проблеме геоэкологического мониторинга поверхностных вод и гидроморфных ландшафтов с помощью современных методов научных исследований. Ввиду интенсивного развития науки и техники значительное применение получили дистанционные методы исследования, позволяющие получить результаты после интерпретации информации с космических снимков в виде картосхем, выполненных в цифровом формате. В статье приведены результаты анализа зоны затопления в среднем течении р. Ишим в период весеннего паводка и картосхемы, построенные с использованием дистанционных методов и ГИС-технологии. Рельеф территории северной части Казахстана в данном исследовании изучен как наиболее важный фактор формирования стока с водосборного бассейна р. Ишим. С точки зрения влияния рельефа на процессы и явления базируется на построении и анализе цифровых моделей рельефа (ЦМР). В работе данные SRTM были использованы для визуализации рельефа и создания на его основе необходимой для мониторинга гидро-ЦМР. В данном исследовании гидро-ЦМР представляет собой модель, в которой форма и направление смоделированных с помощью ГИС водотоков будет совпадать с реальными водными объектами в пределах исследуемой территории. Результатом построения такой модели стало отражение реального характера движения водных потоков. С помощью расчета индекса NDVI определены и сопоставлены зоны затопления в бассейне р. Жабай (правый приток р. Ишим) в отдельные годы, а также наглядно представлена площадь водной поверхности в различные периоды водного режима реки. Установлено, что путем использования дистанционных методов исследования, в частности данных спутника LANDSAT-8, и обработки их с помощью ГИС ArcGIS 10.4 можно провести анализ зоны затопления в период весеннего паводка и рассчитать площади затопления.

Ключевые слова: ЦМР, ГИС, дистанционный метод исследования, космические снимки, LANDSAT-8

GEOECOLOGICAL MONITORING OF SURFACE WATER DURING SPRING FLOODS IN THE MIDDLE REACHES OF THE ISHIM RIVER, USING REMOTE SENSING METHODS AND GIS-TECHNOLOGIES

Mezentseva O.V., Lomakina S.S.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: svetik.lighting@mail.ru

The work is devoted to the problem of geoecological monitoring of surface waters and hydromorphic landscapes with the help of modern methods of scientific research. In view of the intensive development of science and technology, remote methods of research, allowing to obtain results after the interpretation of information from satellite images in the form of maps, made in digital format, have been significantly used. The article presents the results of the analysis of the flooding zone in the middle course of the Ishim river during the spring flood and maps, built using remote sensing methods and GIS technology. The relief of the Northern part of Kazakhstan in this study was studied as the most important factor in the formation of runoff from the Ishim river catchment area. In terms of the impact of relief on processes and phenomena is based on the construction and analysis of digital elevation models (DEM). In this paper, SRTM data were used to visualize the terrain and create on its basis necessary for the monitoring of hydro-DEM. In this study, the hydro-DEM is a model in which the shape and direction of GIS-modeled streams will coincide with real water bodies within the study area. The result of this model is a reflection of the real nature of the movement of water flows. By calculating the NDVI index, the flood zones in the Zhabay river basin (the right tributary of the Ishim river) in some years are determined and compared, and the water surface area in different periods of the river water regime is clearly represented. It was found that by using remote methods of research, in particular Landsat-8 satellite data, and processing them with the help of GIS ArcGIS 10.4, it is possible to analyze the flood zone during the spring flood and calculate the area of flooding.

Keywords: DEM, GIS, remote sensing, satellite imagery, LANDSAT-8

В условиях засушливости и резкой континентальности умеренного климата в северной части Казахстана в отдельные годы с холодными зимами при глубоком сезонном промерзании почвогрунта возникают предпосылки для образования значительных по площади паводков и затоплений водосборов временных водотоков. При этом

полноценная сеть гидрологических постов и станций имеется только на реках с постоянным стоком. В связи с этим широкое распространение получают данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), которое стало одним из наиболее оперативных, надежных источников информации, позволяющих не только наблюдать развитие по-

ловодья, но и получать оперативный прогноз затопления, оценивать причиненный ущерб, выявлять участки, которым угрожает затопление, выбирать места для создания защитных дамб [1]. При решении задач мониторинга на локальном уровне требуется регулярное получение снимков высокого и сверхвысокого разрешения, что технически представляется не всегда возможным. Весной, в период прохождения половодья, процент облачных дней обычно высок, что существенно осложняет мониторинг, и некоторые снимки недоступны для дешифрирования. При геоэкологическом мониторинге поверхностных вод бассейна р. Ишим в данной работе вполне пригодными оказались данные общедоступных (LANDSAT-8) съемочных систем, работающих в оптическом и ИК диапазонах. В совокупности они обеспечили покрытие исследуемой территории снимками с частотой один раз в несколько дней и оперативное отслеживание динамики развития половодья (в случае преобладания малооблачной погоды).

Цель исследования: провести анализ зоны затопления в период весеннего паводка в среднем течении р. Ишим с использованием дистанционных методов и ГИС-технологий.

Материалы и методы исследования

В качестве основных методов использовался дистанционный метод исследования, основанный на дешифрировании и интерпретации космических снимков спутника LANDSAT-8 с использованием неуправляемой классификации по индексу NDVI и использования инструментов группы «Гидрология» ГИС ArcGIS 10.4. Для работы с ЦМР выбрана матрица высот на основе базы данных радарной топографической съемки SRTM, поскольку этот набор данных имеет почти глобальный охват с разрешением, подходящим для гидрологического анализа крупных речных бассейнов. Название квадрата данных ЦМР соответствует координатам его левого нижнего угла. Квадрат, в котором расположен исследуемая область водосборного бассейна р. Ишим (Есиль), занимает территорию между 65° и 75° с.ш., 50° и 55° в.д. и состоит из двух листов, которые находятся в открытом доступе для скачивания на сайте базы данных SRTM. С целью более подробного изучения подтопленных территорий данной местности в период весеннего половодья использованы наборы космических снимков за 2007, 2014, 2016 и 2017 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

На первоначальном этапе исследования установлено, что ЦМР, которая используется при определении гидрографических характеристик рек и их бассейнов, должна быть гидрологически корректной. Под гидрологической корректностью ЦМР понимается модель с отсутствием фиктивных точек стока (фиктивные депрессии), а также потоковые линии (талwegи) на ЦМР должны совпадать с исходными отрезками речной сети [2].

При построении гидрологически корректной ЦМР должна учитываться не только информация о рельефе, но и данные о речной сети и замкнутых понижениях [3].

Гидро-ЦМР, в отличие от обычной цифровой модели рельефа, позволит наиболее точно определить границы исследуемого водосборного бассейна, даст возможности для моделирования гидрографической сети с определением порядков водотоков, станет основой для построения зоны потенциального затопления территории [4]. Для построения подобной цифровой модели на территорию водосборного бассейна в качестве исходной информации были взяты данные радарной топографической съемки SRTM с разрешением 30 м, или одна угловая секунда. Разрешение и точность данной модели вполне подходят и для анализа зон затопления. Работа по построению гидро-ЦМР выполнена с помощью программного комплекса ESRI ArcGIS 10.4.

При работе с данными SRTM необходимо проводить соответствующую корректировку, так как в них учтены все объекты, находящиеся на поверхности (здания, растительный покров), а также присутствуют множественные артефакты и ошибки в значениях высот. Объектом данного исследования выступает территория с преимущественно равнинным рельефом и степной растительностью (северная часть Сарыарки – степи Казахского мелкосопочника), что в некоторой степени снижает возможные ошибки. Чтобы максимально приблизить модель к действительной поверхности рельефа, были заполнены все локальные понижения (некорректные области внутреннего стока) и устранены погрешности и неточности в значениях ячеек раstra, появление которых связано часто с неточностью исходных данных. Если не выполнить описанные выше операции, то в дальнейшем при моделировании сети водотоков могут получиться разрывы, что, безусловно, является недопустимым.

Завершающим этапом подготовки гидро-ЦМР для исследуемого бассейна стало автоматизированное выделение непосредственно самого водосборного бассейна р. Ишим. Однако для этого в ArcGIS необходимо обозначение «точек устьев» – мест впадения одного водотока в другой. К сожалению, в данном программном комплексе такая операция проводится вручную с помощью инструмента «Snap Pour Point». Он используется для выбора точек с максимальным суммарным стоком при построении водосборных бассейнов. Данный инструмент будет выполнять поиск ячеек с наивысшим суммарным стоком в пределах величины допуска вокруг заданных точек устьев и сдвигать их, т.е. фактически привязывать к ячейке с наибольшим суммарным стоком в пределах заданного расстояния.

После использования инструмента «Водосборный бассейн» получен контур бассейна р. Ишим, показывающий границы водосборного бассейна, основанный на данных высот ЦМР. Рассчитанный водосборный бассейн р. Ишим соответствует бассейну реки, выделенному по водоразделам на основании топографических карт региона, что подтверждает достоверность результатов использования данного инструментария [5].

Для изучения подтопленных территорий в период весеннего половодья использованы данные космических снимков LANDSAT-7, 8. Учитывая критерии, применяемые при выборе снимков, для выбранного участка было отобрано и обработано по 6 снимков для периода половодья (24 снимков) и по 4 снимка для периода межени (12 снимков). К сожалению, погодные условия в период наводнения соответствуют высокой степени облачности, что существенно осложняет работу по дешифрованию снимков и использованию их данных. На отобранных снимках облачность либо отсутствует, либо ее процент незначителен (до 10%).

Автоматизированное выделение водной поверхности не представило большой сложности, поскольку водные объекты в пространстве спектральных признаков резко отличаются от других природных объектов, их. В данной работе использовался метод определения границы суши и воды на основе вегетационного индекса NDVI. Расчет данного индекса проводился по алгоритму, представленному на сайте независимого информационного ресурса, посвященного географическим информационным системам (ГИС) и дистанционному зондированию

Земли Gis-Lab. Расчет NDVI происходил в «Растровом калькуляторе» ГИС. Водные объекты и суша были разделены по пороговому значению NDVI. В результате был получен бинарный растр (маска воды) в период половодья, в котором значение «1» соответствует воде, а «0» – суше. В результате обработки космических снимков, была получена водная поверхность для участка впадения р. Жабай в р. Ишим на 19 апреля 2017 г.

Для анализа площади затопления необходимо провести сравнение с уровнем воды в период летнего состояния реки и обработать данные снимков в период межени. Обработка и интерпретация космических снимков проведена по аналогии со снимками в период половодья. В летний период реки данного бассейна могут значительно изменить площадь своей водной поверхности, что связано с установлением жаркой погоды без осадков, а также забором воды на полив дачных участков и др. Поэтому полученный результат вполне соответствует вышеуказанному утверждению.

Для того чтобы проследить как изменялась площадь рассматриваемой водной поверхности р. Жабай и части р. Ишим, путем наложения полученных масок в разные режимные периоды с помощью ГИС получен единое растровое изображение, где разными цветами отображены различные характеристики (рис. 1). Результаты обработки снимков весеннего половодья 2016 г. для данного района также были наложены на имеющиеся растры и представлены на рис. 2.

Согласно данным картосхем 1 и 2, площадь водной поверхности в период половодья значительно превышает уровень реки в летний период. На момент пика половодья для исследуемой зоны в 2016 г. нет снимка, поэтому использован снимок территории реки через 7 дней. Однако масштабы территорий, покрытых водой спустя неделю после пика половодья, позволяют судить о масштабе наводнения. Площадь водной поверхности для 2017 г. распространяется далеко за пределы пойменной части. Именно наводнение в 2017 г. по оценкам местным властям нанесло данной территории максимальный ущерб. В местах замкнутых понижений в летнее время образуются неглубокие озера, преимущественно в южной части водосбора, которые на рисунках легко определить по цвету и округлой замкнутой форме.

С наибольшей частотой в зону затопления попадает территория г. Атбасар, кото-

рый расположен на правом берегу правого притока р. Ишим – р. Жабай. Используя уже полученные результаты, можно представить данный участок с выделением зоны подтопления (рис. 3).

Исходя из полученных данных обработки космических снимков на рис. 3, с помощью ГИС рассчитана площадь затопленной территории в период весеннего половодья 2017 г. – 0,73 км² при площади города в 13,7 км².

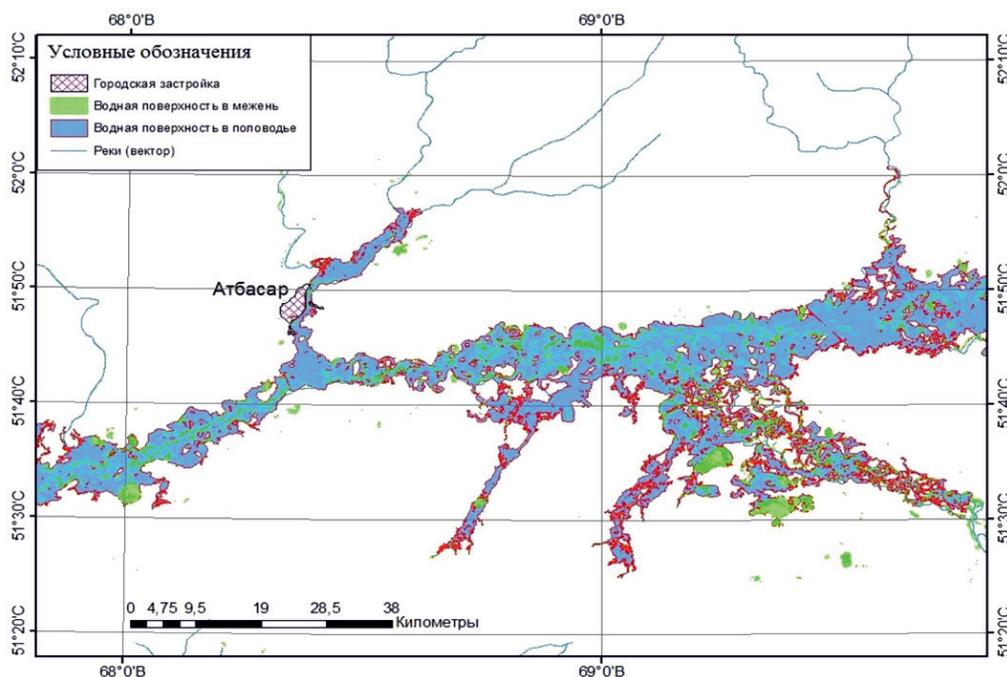


Рис. 1. Соотношение территорий водных поверхностей бассейна р. Ишим в период затопления и в период межени, 2017 г.

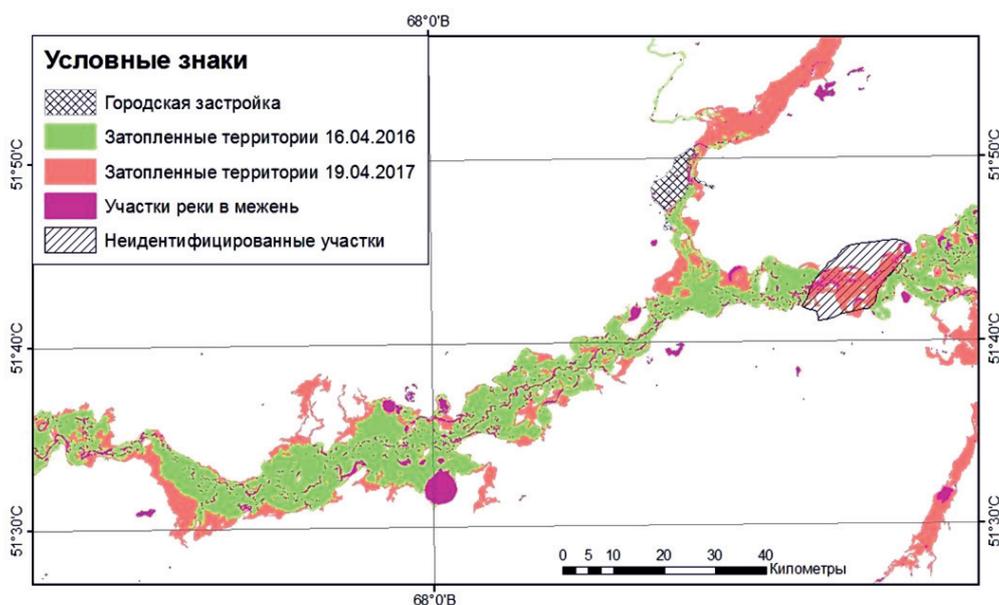


Рис. 2. Соотношение территорий водных поверхностей бассейна р. Ишим в период затопления и в период межени, 2016, 2017 гг.

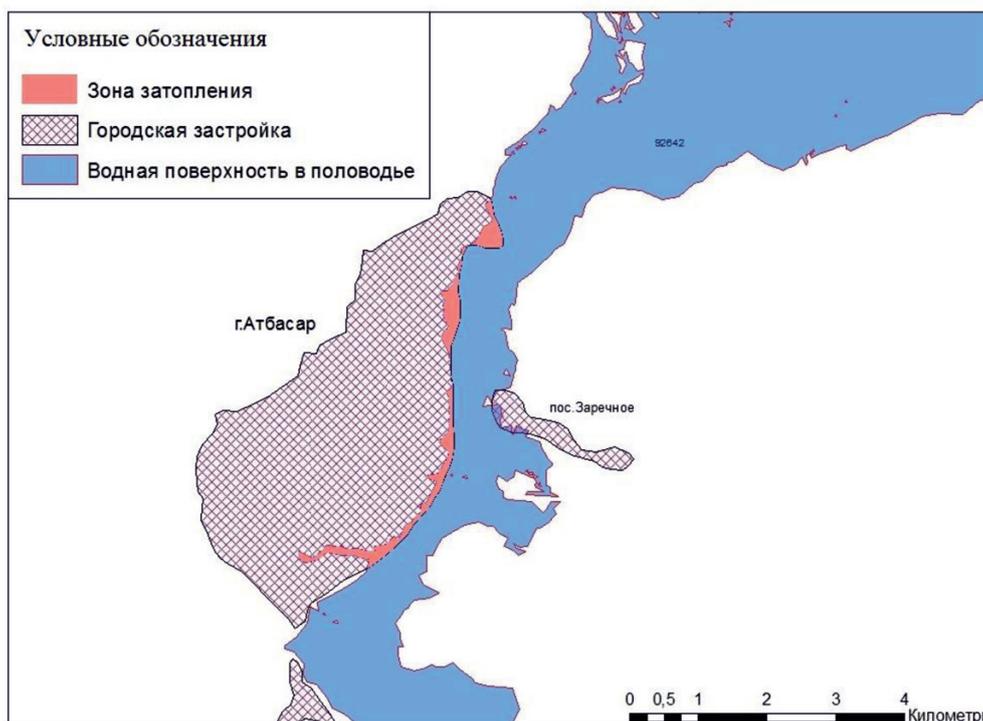


Рис. 3. Зона подтопления г. Атбасар, 17 апреля 2017 г.

Заключение

В ходе исследования установлено, что речная сеть крупных водотоков на исследуемой местности по топографическим картам соответствует полученным расчетам дренажной сети с помощью ГИС. Так же, с помощью ГИС, выделена и определена площадь водосборного бассейна р. Ишим в пределах Северного Казахстана.

В результате обработки и анализа космических снимков в период весеннего половодья и межени для среднего течения р. Ишим на территории впадения в нее р. Жабай определена территория, занимаемая во время разлива реки, а также участки долины, занятые рекой и водотоками в период межени. Путем сопоставления данных установлено, что в местах замкнутых понижений в летнее время образуются неглубокие озера, преимущественно в южной части водосбора («степные блюдца»). Рассчитана площадь подтопления крупнейшего населенного пункта на данном участке, г. Атбасар.

Таким образом, путем непосредственных измерений весенний сток при недостаточно развитой сети наблюдательных

пунктов на водных объектах оценить затруднительно, но представляется возможным картировать русловую сеть временных водотоков и сопоставлять по годам зоны затопления в период весеннего половодья с использованием дистанционных методов и ГИС-технологий.

Список литературы / References

1. Хабаров Д.А., Адиев Т.С., Попова О.О. Анализ современных технологий дистанционного зондирования Земли // Московский экономический журнал. 2019. № 1. С. 181–190. [Электронный ресурс]. URL: <https://qje.su/wp-content/uploads/2019/02/Nomer-1-2019-Arhiv.pdf> (дата обращения: 04.07.2019). DOI 10.24411/2413-046X-2019-11068.

Khabarov D.A., Adiev T.S., Popova O.O. Analysis of modern technologies for remote sensing of the Earth // Moscow Economic Journal. 2019. № 1. P. 181–190. [Electronic resource]. URL: <https://qje.su/wp-content/uploads/2019/02/Nomer-1-2019-Arhiv.pdf> (date of access: 04.07.2019). (in Russian).

2. Яковченко С.Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии: дис. ... докт. техн. наук. Барнаул, 2007. 406 с.

Yakovchenko S.G. Creation of geographic information systems in engineering hydrology: dis. ... doct. techn. nauk. Barnaul, 2007. 406 p. (in Russian).

3. Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пономарчук А.И. Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач: практикум: учебное пособие. Пермь: Изд-во Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2014. 91 с.

Shikhov A.N., Cherepanova E.S., Ponomarchuk A.I. Geographic information systems: the use of GIS technologies in

solving hydrological problems: workshop studies. Perm': Izd-vo Permskiy gosudarstvenny natsional'nyy issledovatel'skiy universitet, 2014. 91 p. (in Russian).

4. Чумаченко А.Н., Хворостухин Д.П., Морозова В.А. Построение гидрологически-корректной цифровой модели рельефа (на примере Саратовской области) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2018. № 2. С. 104–109. DOI: 10.18500/1819-7663-2018-18-2-104-109.

Chumachenko A.N., Khvorostukhin D.P., Morozova V.A. Construction of a Hydrologically-correct Digital Terrain Model (Using the Example of Saratov Region) // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Seriya: Nauki o Zemle. 2018. № 2. P. 104–109 (in Russian).

5. Ломакина С.С., Мезенцева О.В. Построение гидро-ЦМР для анализа водосборного бассейна. объектов // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития, посвященная 100-летию советской геодезии и картографии: сборник материалов I Международной научно-практической конференции (Омск, 15 марта 2019). Омск: Омский ГАУ, 2019. С. 85–88.

Lomakina S.S., Mezentseva O.V. Construction of hydro-DEM for analysis of the catchment area. objects // Geodesy, land management and cadastres: problems and development prospects dedicated to the 100th anniversary of Soviet geodesy and cartography: collection of materials of the I International scientific-practical conference (Omsk, March 15, 2019). Omsk: Omskiy GAU, 2019. P. 85–88 (in Russian).