

УДК 528.8

The Use of Various Optical and Radar Remote Sensing Data in Operative Space Monitoring of Flood in Kazakhstan

Oleg P. Arkhipkin* and Gulshat N. Sagatdinova
*National Center of Space Research and Technology
15 Shevchenko, Almaty, 050010, Kazakhstan*

Received 21.07.2016, received in revised form 09.08.2016, accepted 12.11.2016

The description of GIS technology of operative space monitoring the passage of flood waters and floods is given. Its results have found practical application in the work of Agency of Emergency Situations. The optical and radar remote sensing data of different resolution are used in the monitoring process, which list is updated by new available remote sensing data. In recent years in system was included on regularly basis data from new optical Landsat-8 and radar Sentinel-1A satellites. Additional information about zones of flooding is obtained in the processing of complex radar data by methods of a radar polarimetry.

Keywords: remote sensing, space monitoring, emergency situations, high waters, zones of flooding, GIS-technology, radar data, radar polarimetry.

Citation: Arkhipkin O.P., Sagatdinova G.N. The use of various optical and radar remote sensing data in operative space monitoring of flood in Kazakhstan, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2016, 9(7), 1045-1058. DOI: 10.17516/1999-494X-2016-9-7-1045-1058.

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: oarkhipkin@rambler.ru

Использование различных оптических и радарных данных дистанционного зондирования при оперативном космическом мониторинге паводков в Казахстане

О.П. Архипкин, Г.Н. Сагатдинова

*Национальный центр космических исследований и технологий
Казахстан, 050010, Алматы, ул. Шевченко, 15*

Дается описание ГИС-технологии оперативного космического мониторинга прохождения паводковых вод и наводнений, результаты которой используются в практической деятельности органов ЧС Казахстана различного уровня. В процессе мониторинга применяют оптические и радарные данные дистанционного зондирования (ДДЗ) различного разрешения, список которых обновляется при появлении новых доступных ДДЗ. В последние годы для этих целей регулярно используются данные Landsat-8 и радарные данные Sentinel-1A. Дополнительную информацию о зонах затопления получают при обработке комплексных радарных данных методами радарной поляриметрии.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космический мониторинг, чрезвычайные ситуации, паводки, зоны затопления, ГИС-технологии, радарные данные, радарная поляриметрия.

Введение

Большое значение для республики имеет контроль над объектами и явлениями, представляющими потенциальную и реальную угрозу возникновения природных и техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС), в том числе на водных объектах. Такие ЧС периодически происходят на больших и малых реках Казахстана как при прохождении паводковых вод, так и при сильных осадках, в том числе дождевых в зимний период. В последние годы крупные для Казахстана паводки и наводнения наблюдались в Южно-Казахстанской, Западно-Казахстанской и Восточно-Казахстанской областях. В 2015 г. сильные паводки, приведшие к значительным материальным потерям, прошли также в Акмолинской, Павлодарской и Карагандинской областях. Серьезного внимания требуют и искусственные водохранилища, прорыв которых может привести к тяжелейшим последствиям. Ярким примером этого был катастрофический прорыв плотины в районе пос. Кызылагаш (Алмаатинская область) в 2010 г., уничтоживший практически весь поселок и приведший к гибели более 40 человек.

Использование космической информации при мониторинге ЧС – одно из главных направлений использования космической информации в мире. Для Казахстана с его большой территорией и малочисленным населением космический мониторинг является эффективным методом своевременного обнаружения, наблюдения и контроля развития ЧС. Национальный центр космических исследований и технологий (НЦ КИТ) с 2001 г. разрабатывает системы космического мониторинга ЧС в Казахстане, в задачу которых входит оперативное обнаружение различных ЧС, в том числе на водных объектах, дистанционный контроль состояния потенциально опасных объектов, оценка уже происходящих ЧС, своевременное доведение полученной информа-

ции до соответствующих ответственных органов власти и ЧС различного уровня (республиканского, областного, районного). В настоящее время более половины областей используют в своей деятельности результаты космического мониторинга паводков. Данные о прохождении паводков при возникновении критических ситуаций в каких-либо регионах Казахстана также оперативно передаются в республиканский Кризисный центр комитета по ЧС (КЧС).

Главные задачи космического мониторинга паводков: оперативный космический мониторинг схода снежного и ледяного покрова; оперативный космический мониторинг прохождения паводковых вод и наводнений; космический мониторинг динамики водной поверхности водохранилищ. Для решения этих задач были разработаны соответствующие ГИС-технологии [1-3], которые базируются на приемных станциях, установленных в Астане и Алма-Ате. Они обеспечивают несколько раз в день прием ДДЗ с американских спутников EOS (Terra и Aqua) и Suomi NPP в режиме прямого сброса.

Космический мониторинг паводков и наводнений представляет собой постоянно развивающуюся систему. Развитие осуществляется различными путями. Здесь и введение новых блоков (например, моделирования), и разработка новых форматов выходных данных (например, формата Geopdf), и использование Web-GIS-технологий. Развитие новых космических систем, особенно предоставляющих ДДЗ в открытом доступе, позволяет также значительно усиливать возможности мониторинга. Так, с 2014 г. при проведении мониторинга паводков на регулярной основе применяются данные Landsat-8, а с 2015 г. – радарные данные Sentinel-1A. В результате была отработана ГИС-технология комплексного использования оптических и радарных ДДЗ различного разрешения для дистанционного контроля прохождения паводковых вод и наводнений.

В последние годы активно отрабатываются методы оптимального (и по цене, и по оперативности) использования радарных данных различного разрешения, применение которых значительно увеличивает эффективность космического мониторинга водных объектов, так как в этом случае их мониторинг может проводиться и ночью, и в условиях высокой облачности, очень характерной для периода прохождения паводковых вод. При этом радарные данные используются с двумя поляризациями в комплексном формате (с амплитудами и фазами), что позволяет для анализа водных объектов брать как амплитудные характеристики каждой из поляризаций, так и их различные сочетания и комбинации. Кроме того, дополнительная информация получается из фазового анализа этих поляризаций. Отметим, что ранее радарные данные употребляли только с одной поляризацией (HH или VV) в амплитудном формате без привлечения фазового анализа.

Краткое описание технологии космического мониторинга схода снежного покрова и прохождения паводковых вод

В системе космического мониторинга схода снежного покрова и прохождения паводковых вод в Казахстане можно выделить несколько функциональных блоков: оперативного мониторинга, обзорно-аналитического, моделирования, передачи данных. Главным же является первый блок.

Функциональная схема ГИС-технологии оперативного космического мониторинга схода снежного покрова и прохождения паводковых вод имеет трехуровневую структуру (по дан-

ным низкого, среднего, высокого и сверхвысокого разрешений) и предназначена для решения задач оперативного и обзорного мониторинга схода снежного покрова и прохождения паводковых вод, а также динамики водной поверхности водных объектов и ряда периодически возникающих задач (например, мониторинг ледовых заторов).

При формировании карт важна динамика заполнения водной поверхности водохранилищ, на которых отражается как ее текущее состояние, так и сравнение с различными предшествующими состояниями, в том числе и за предыдущие годы. В особую задачу выделен контроль динамики заполнения гидрокомплекса Чардаринское водохранилище – Коксарайский противопаводковый контррегулятор, который в 2011 г. введен в промышленную эксплуатацию для снижения риска затопления в зимне-весенний период территорий в среднем течении р. Сырдарья.

На первом уровне проводится ежедневный анализ по данным низкого разрешения MODIS. Ценность таких данных, несмотря на низкое разрешение, состоит в том, что они получаются ежедневно, охватывают всю исследуемую территорию и дают возможность оперативно оценивать текущее состояние исследуемых объектов и отслеживать динамику их развития. На этом уровне определяется водная поверхность только крупных и больших водохранилищ

На втором уровне привлекаются данные среднего разрешения (разрешение 15-70 м), в том числе радарные. Эти данные снимаются не каждый день, имеют более узкую полосу съемки по сравнению с данными низкого разрешения, но позволяют получить более точную информацию о состоянии изучаемых объектов.

С 2014 г. на этом уровне регулярно обрабатываются оптические данные Landsat (пространственное разрешение 30 м), которые снимаются сценами 180x180 км и обладают высокой точностью привязки. Среди радарных данных этого уровня отметим данные с двойной поляризацией (VV/VH) со спутника SENTINEL-1 A (в режиме IWS; 3 looks), имеющие пространственное разрешение 25 м в полосе 240 км. Доступ к этим двум данным бесплатный, однако космосъемка охватывает не очень большую площадь, имеет период повторяемости 12-16 сут и снимаемая территория определяется собственниками спутника без учета пожелания пользователей. Тем не менее, как показал опыт паводкового сезона 2015 г., эти данные очень полезны.

На третьем уровне используются радарные и оптические данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого (1-10 м) и сверхвысокого (выше 1 м) разрешения. Эти данные используются при необходимости получить особо точную и полную информацию об объекте исследования. На этом уровне можно оценивать динамику водной поверхности практически любых водохранилищ.

Главными недостатками данных ДЗЗ, используемых на третьем уровне, являются их высокая стоимость (несколько тысяч долларов США за один космоснимок), необходимость 100%-й предоплаты и предварительного заказа (за 1 – 2 недели до съемки). Однако сейчас ситуация меняется в лучшую сторону. При возникновении критических ситуаций при паводках и наводнениях (крупные затопления населенных пунктов, прорыв плотин и т.п.) эти данные можно оперативно и бесплатно получить от международных организаций, которые курируют ЧС. Так, НЦ КИТ получал такие данные в рамках международного проекта Sentinel Asia.

Что касается оперативности заказа и получения ДДЗ высокого разрешения при возникновении крупных ЧС, то, например, компания Airbus Defence and Space (Франция – Германия) разработала для этих целей специальную программу [4], которая позволяет максимально ускорить все процедуры как для оптических, так и радарных данных. Положительную роль играет и то, что в Казахстане в 2015 г. запущены два спутника высокого разрешения. После их ввода в эксплуатацию возможности оперативного использования данных высокого разрешения в интересах органов ЧС Казахстана значительно возрастут.

В процессе мониторинга с помощью специальных программных модулей, разработанных в специализированных программных комплексах и ГИС-среде, в автоматизированном или полуавтоматизированном режиме осуществляется предварительная и тематическая обработка ДДЗ всех уровней. Отметим, что тематическую обработку полириметрических радарных данных проводили в программных комплексах Erdas и S1 Toolbox (свободно распространяемый комплекс).

Главная задача космического мониторинга паводков и наводнений на каждом уровне состоит в разделении водных и неводных объектов. В каждом из этих основных классов можно в зависимости от поставленной задачи и уровня выделить дополнительные классы подстилающей поверхности. Так, во время схода снежного и ледового покрова на водных объектах выделяются водные поверхности, покрытые льдом и свободные от него, а на неводных объектах – поверхности, свободные от снежного покрова и покрытые снегом, из которых, в свою очередь, можно выделить зоны активного снеготаяния (территории, где температура поверхности больше 0 °С).

На любом уровне все водные объекты можно разделить на постоянные (стабильные) и зоны затопления, которые определяются как разница текущей водной поверхности и постоянной. Постоянные водные объекты определяются по космоснимкам при минимальном водном уровне. В представляемой технологии маска постоянных водных объектов для низкого и среднего разрешения сформирована по осенним снимкам Landsat. Для данных высокого и сверхвысокого разрешения для этих целей используются архивные снимки или данные, скаченные с интернетовских спутниковых карт.

Для оптических снимков любого уровня приходится вводить дополнительный класс – территории, покрытые облачным покровом, который не позволяет определить состояние подстилающей поверхности. Проведение процедур атмосферной коррекции позволяет в случае дымки и неплотной облачности уменьшить площади таких территорий. Также встречаются варианты, когда при визуальном рассмотрении облачных снимков сквозь облачность или дымку фиксируются силуэты затопленных территорий. Для радарных данных эта проблема не стоит так остро. Облачность в этом случае также может влиять на сигнал, но в гораздо меньшей степени.

Очень полезны радарные данные и при ночных съемках, так как время суток при радарной съемке не играет роли. Полученные зоны затопления необходимо анализировать с точки зрения их потенциальной опасности для жизни и деятельности населения. Существенная их часть не несет такой опасности, поскольку представляет собой постоянные места сбора талой воды, поймы рек, часто затапливаемые при прохождении паводковых вод, не связанные с проживанием и деятельностью населения отдаленные места и т.д. Часть из

них даже полезна, ибо используется для орошения, в рыбном хозяйстве, пойменном растениеводстве и т.п.

Степень опасности полученных зон затопления определяется их динамикой и наличием на их территории или в непосредственной близости жилых и промышленных сооружений, особо важных объектов, транспортной и промышленной инфраструктуры и т.п. Наличие таких объектов определяем с помощью специализированных тематических слоев ГИС, соответствующих данному уровню, а также путем текстурного анализа данных высокого разрешения (и оптических, и радарных).

Обзорно-аналитические задачи решаются на основе анализа сезонного и многолетнего рядов данных космического мониторинга зон затопления [5]. В течение сезона на основе ежедневных данных формируются обзорные декадные карты зон затопления, фиксирующие суммарные площади, затопившиеся на исследуемой территории за декаду. Далее на их основе в ГИС-среде формируются обзорные месячные карты, а на базе последних – сезонные карты. Сезонная карта характеризует все суммарные зоны затопления, которые фиксировались по данным космического мониторинга в течение сезона. На основе сезонных карт проводится сравнительный анализ развития паводков за какие-либо периоды, а также районирование зон риска затопления, которое оценивается частотой повторения затопления на конкретной рассматриваемой территории за весь исследуемый период времени.

Весь многолетний ряд ежедневных данных о зонах затопления используется также для аналитической оценки потенциального развития паводков на какой-либо конкретной территории [6, 7]. Располагая эти данные в порядке возрастания площади зон затопления, получаем пространственно-временную динамику прохождения паводков и наводнений. Эта оценка показывает реальную последовательность затопления территории при развитии паводков и наводнений от сценария слабого паводка к наихудшему, что позволяет разработать порядок предупредительных мер для уменьшения ущерба от них.

Моделированием для прогнозирования развития паводков и наводнений занимается специальная группа на основе модели FLO-2D, гидрологической и картографической информации, цифровых моделей рельефа.

Результаты космического мониторинга в настоящее время передаются непосредственно всем заинтересованным организациям по электронной почте. Параллельно развивается и другой путь распространения данных космического мониторинга ЧС через развитие геопортальных технологий и с созданием на базе их территориальных ситуационных центров космического мониторинга ЧС [8]. При передаче данных пользователям используется также формат Geo-pdf, который формируется с помощью ГИС (ArcGIS, MapINFO) и представляет собой расширенный формат Pdf, содержащий атрибутивную и пространственную информацию, привязанную к географическим координатам. Формат Geo-Pdf – простой вариант использования возможностей ГИС и при этом особых специальных знаний от пользователя не требует.

Особенности космического мониторинга паводков в 2015 г.

В 2015 г. сильные паводки наблюдались во второй половине апреля – начале мая во многих регионах Казахстана. Кроме упомянутых выше Акмолинской, Павлодарской и Карагандинской областей они также фиксировались в Кустанайской, Восточно-Казахстанской (ВКО),

Кызыл-Ординской и Южно-Казахстанской областях. Это дало возможность протестировать описанную выше ГИС-технологию в полном объеме. Для всех зон с сильным паводком были получены динамики развития паводка по данным MODIS и данным Landsat-8, а для большей их части еще и поляриметрические радарные данные SENTINEL-1 A.

Для пяти зон была также проведена оперативная съемка поляриметрических радарных данных TerraSar-X в режиме StripMap (разрешение 3 м). При этом территорию и время съемки определяли по результатам анализа оперативных данных MODIS и Landsat-8 о зонах активного паводка и потенциальных сцен съемки на ближайшие дни. Сама съемка осуществлялась или на следующий день после заказа, или чуть позже. Возможность оперативного заказа радарных данных TerraSar-X высокого разрешения возникла благодаря новым правилам, введенным компанией Airbus Defence and Space. Они допускают возможность заказа менее чем за сутки до съемки. Для этого надо предварительно согласовать число снимков и их стоимость, а время съемки будет определяться в дальнейшем исходя из текущей паводковой обстановки.

Для этих пяти полигонов в процессе мониторинга формировался единый временной ряд оптических и радарных данных различного разрешения в период прохождения паводковых вод в 2015 г. Отметим, что в период прохождения паводковых вод значительная или сплошная облачность наблюдалась на полигонах в 50-70 % съемки, а в пиковый период этот процент был еще выше. Все полученные нами радарные данные пришлись как раз на время высокой облачности в пиковый период, что позволило контролировать процесс прохождения паводков и в эти дни. Получение радарных данных при наличии высокой облачности позволяет восполнить пробелы в информации о развитии паводковой ситуации и использовать их для совместного анализа с оптическими данными среднего или высокого разрешения.

В процессе тестирования были отработаны методики и технологии предварительной и тематической обработки радарных данных высокого (TerraSar-X) и среднего разрешения (Sentinel-1A) с использованием поляриметрических методов с целью выделения водных объектов, исследованы особенности отображения различных типов водных поверхностей в зависимости от углов съемки, вида поляризации и спектрального диапазона радарной космосъемки. Также были модернизированы методики и технологии предварительной и тематической обработки оптических данных среднего разрешения Landsat 8.

Кроме возможности оперативной радарной съемки важнейшее значение имеет и время получения, обработки и выдачи выходных данных для органов ЧС после проведения съемки. Такая оценка потенциальной оперативности предоставления выходных данных была проведена в 2015 г. Время выставления после съемки данных TerraSar-X на FTP по заявлению Airbus Defence and Space не более 1 ч. Скачивание с FTP при нормальной работе Интернета занимает также около часа. Время обработки данных TerraSar-X для получения растровой маски водной поверхности – около 4 ч. Таким образом, получить выходные формы для передачи заказчику можно за 6 ч, что является хорошим показателем для данных высокого разрешения. Правда, получение векторной маски водной поверхности занимает от одного до нескольких дней, но для оперативной оценки паводковой ситуации достаточно и растровой маски.

Аналогичные временные интервалы по скачиванию, получению растровой и векторной масок водной поверхности характерны и для радарных данных среднего разрешения Sentinel-

1А. Однако время выставления их в Интернет для скачивания после съемки составляет 12 ч и выше. Тем не менее выходные данные для предоставления органам ЧС можно получить на следующий день после съемки, что также считается неплохим результатом.

Теперь приведем примеры данных космического мониторинга паводков и наводнений, которые передаются в органы ЧС и другим пользователям. Как сказано выше, данные низкого разрешения позволяют ежедневно оперативно получать данные о состоянии паводковой обстановки на всей территории республики с учетом облачности, а также отслеживать динамику ее развития. Пример такой динамики приведен на рис. 1.

Отметим, что для областных органов информация ежедневно оперативно передается на областном и районном уровнях, а органам КЧС высылаются только информация по регионам с сильным паводком. При сходе снежного покрова по желанию КЧС периодически формируется обзорная карта для всей территории республики.

Выходные карты по паводкам на первом уровне строятся двух видов. В основном они представляют собой результаты классификации по пяти классам: территории, свободные от снежного покрова; территории, покрытые им, с выделением зон активного снеготаяния (температура поверхности больше нуля); водные поверхности, покрытые льдом; водные поверхности, свободные ото льда, с выделением зон затопления; территории, закрытые облачным покровом. Но иногда бывает более полезным и наглядным представление выходных карт в виде rgb-комбинации (NDVI, 1,2), как представлено на рис. 1. В частности, такое представление полезно тогда, когда дымка мешает автоматической классификации

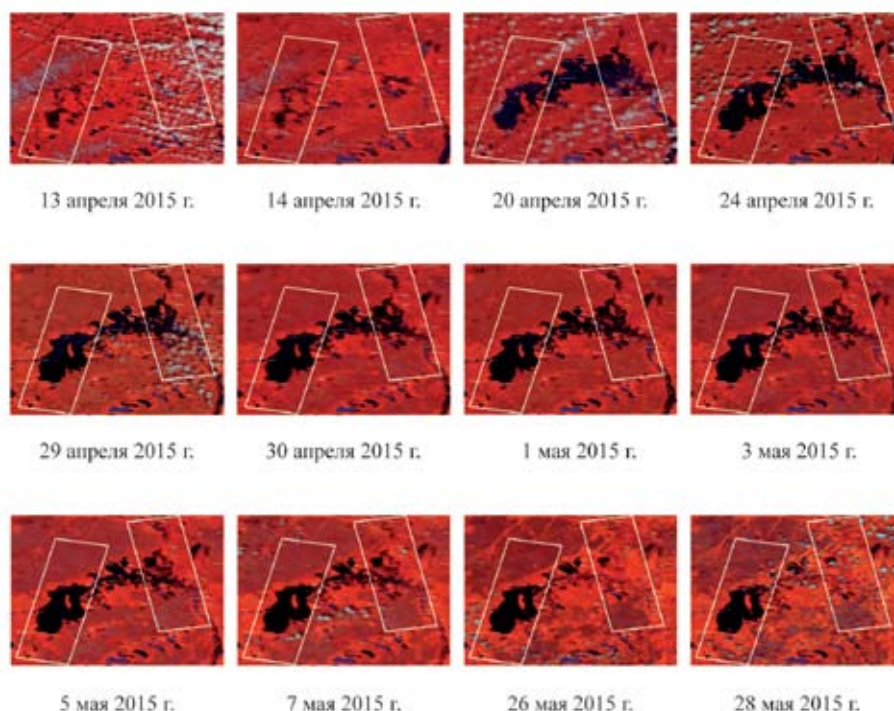


Рис. 1. Динамика зон затопления по данным MODIS в 2015 г. на р. Нура Акмолинской области в районе космосъемки TerraSar-X за 27 (слева) и 25 апреля (справа)

Результаты выделения зон затопления по данным среднего разрешения оптическим Landsat-8 и радарным Sentinel-1A изображены на рис. 2, 3. Эти карты, а также еще около сотни карт среднего разрешения были оперативно переданы в органы ЧС, в том числе КЧС. Поясним, что для лучшего восприятия информации зоны затопления, полученные по данным Landsat-8, накладывали на сам снимок. Зоны затопления по радарным данным Sentinel-1A представлены в растровом виде, что значительно повышает оперативность их предоставления. На рис. 4

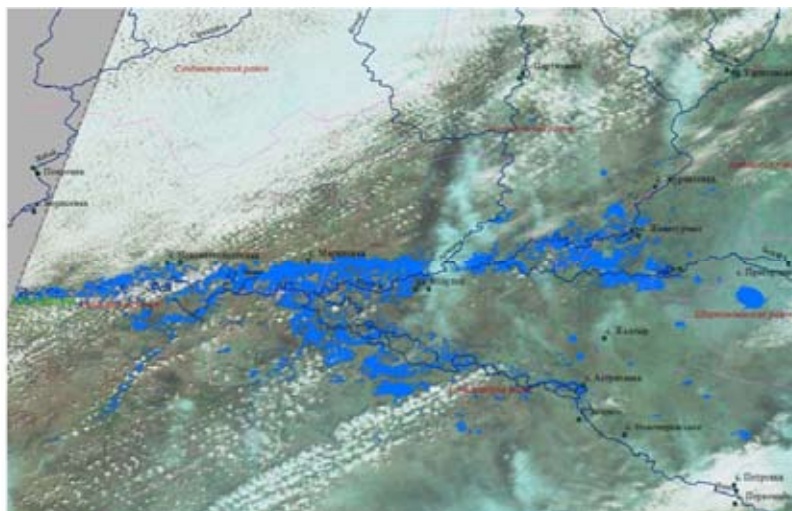


Рис. 2. Зоны затопления на р. Ишим в районе с. Мариновка Акмолинской области по данным Landsat-8 за 23 апреля 2015 г.

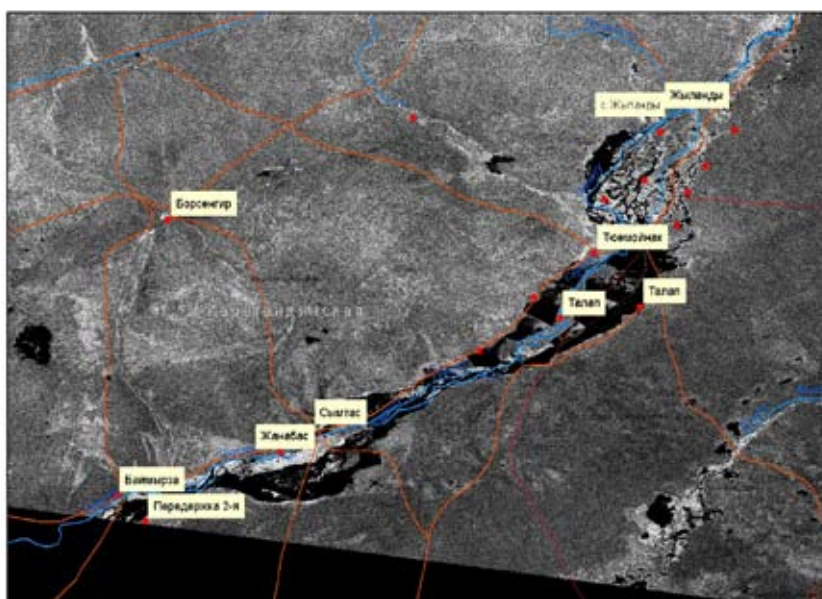


Рис. 3. Зоны затопления на р. Сарысу в районе с. Талап Карагандинской области по радарным данным Sentinel-1 A за 19 апреля 2015 г.

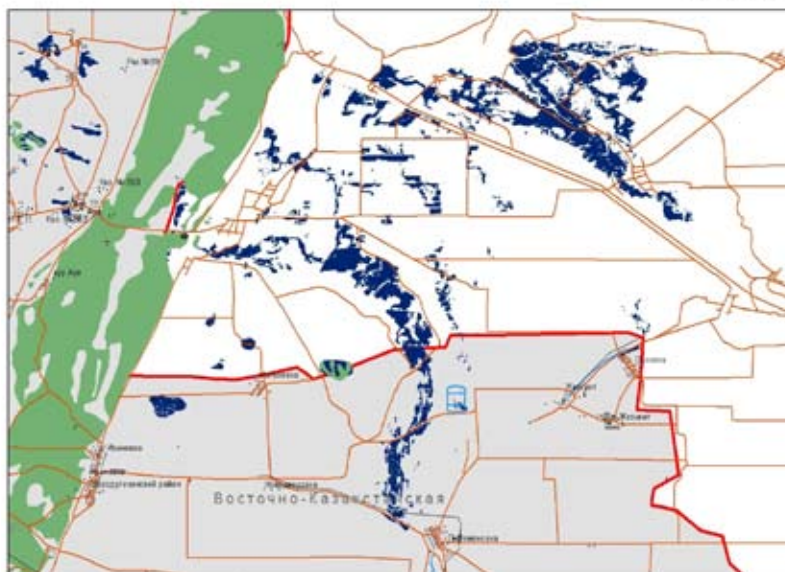


Рис. 4. Зоны затопления на границе Восточно-Казахстанской области и России по радарным данным Sentinel-1 A за 13 апреля 2015 г.

можно увидеть образец выходных данных в векторном виде, который для радарных данных требует более длительного времени получения.

Отметим следующий интересный момент. Как и для данных MODIS, сильная облачность не позволяет получать информацию о подстилающей поверхности, но облачность с разрывами или в виде дымки часто позволяет оценить зоны затопления по данным Landsat-8, в том числе в том случае, когда по данным MODIS такую оценку провести нельзя.

Наиболее точные данные о структуре зон затопления получаются при использовании данных высокого разрешения – как оптических, так и радарных (рис. 5).

Космический мониторинг прохождения паводковых вод и наводнений на основе методов радарной поляриметрии

Как уже отмечалось, низкая чувствительность радарной съемки к состоянию облачности и возможность съемки в любое время суток делают ее очень полезным инструментом при мониторинге паводков и наводнений. Очень часто радарная съемка является единственным способом получить достоверную информацию о ситуации с прохождением паводковых вод и наводнений. Эта особенность радарных данных обуславливает их многолетнее применение для этих целей [9-12].

Радарная съемка не непрерывна, она осуществляется сценами, с периодом повторяемости часто более 10 дней. Однако в настоящее время на орбите функционирует достаточно большое количество радиолокационных спутников, что позволяет оперативно и своевременно получать данные в паводковый период практически для любой территории с широким спектром пространственного разрешения. Для выделения водных объектов используются в основном три диапазона съемки: X-диапазон (3,1 см), C-диапазон (5,6 см) и L-диапазон (23,5 см). Про-

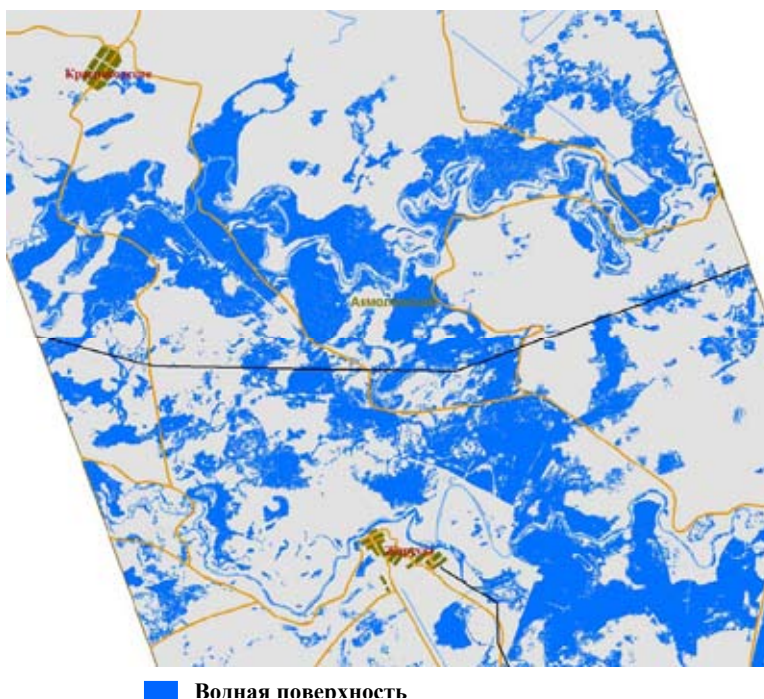


Рис. 5. Мониторинг зон затопления по радарным данным TerraSAR X за 22 апреля 2015 г. на территории Акмолинской области

странственное разрешение варьируется от высокого до низкого (от 1 до 150 м), ширина полосы съемки от 10 до нескольких сотен км. Поляризация бывает одинарная, двойная или полная (все четыре поляризации).

При проведении космического мониторинга паводков ранее преимущественно использовались однополяризационные (VV или HH) радарные данные. В настоящее время наблюдается тенденция использования для этих целей двух или четырех поляризационных радарных данных. Важным моментом служит наличие в радарных поляриметрических данных амплитудной и фазовой составляющих, каждая из которых выступает источником разнообразной информации. Это позволяет получить качественно новую информацию по сравнению с однополяризационными и позволяет исследовать их разнообразными методами [13-16].

В НЦ КИТ в 2015 г. была разработана ГИС-технология космического мониторинга прохождения паводковых вод и наводнений на территории Казахстана на основе методов радарной поляриметрии. Она позволяет получить качественно новую информацию по сравнению с однополяризационными как за счет анализа их самих, так и за счет формирования различных комбинаций из разных поляризаций, в том числе rgb-композитивов. Отработаны также методы тематической обработки амплитудной и фазовой составляющих радарных данных. При этом амплитудные значения переводятся в децибелы, что существенно улучшает качество классификации.

Из амплитудных методов классификации поляриметрических радарных данных были исследованы методы пороговой классификации и текстурного анализа изображений. Первый

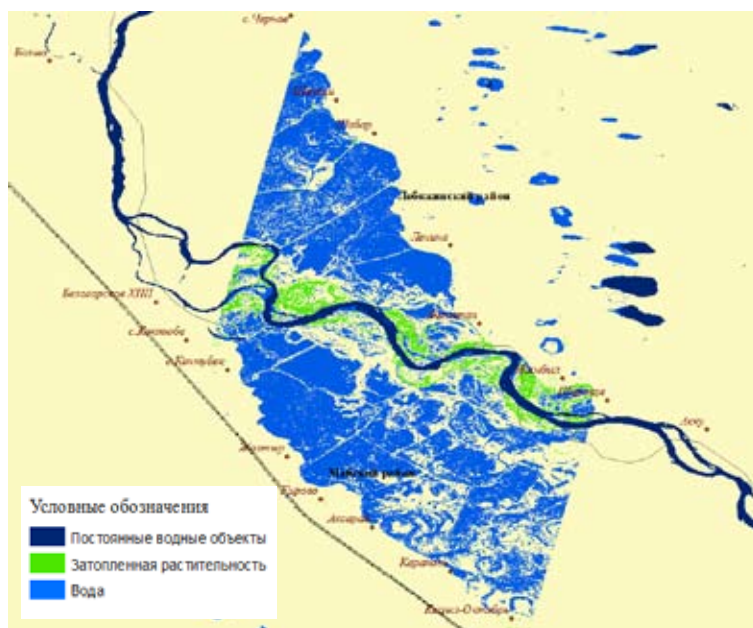


Рис. 6. Классификация водных объектов по результатам текстурного анализа по радарным данным TerraSAR-X за 29 апреля 2015 г. на р. Иртыш в Павлодарской области

не требует больших вычислительных ресурсов, его результаты обладают большой степенью надежности и позволяют оперативно идентифицировать площади затоплений, а второй помимо выделения водной поверхности позволяет также выделить объекты инфраструктуры на затопленных территориях, такие как хозяйственные и жилые постройки, дороги, линии электропередач, растительность (рис. 6) и т.д. На основе анализа статистических распределений значений пикселей, выделенных по радарным снимкам TerraSar-X и Sentinel-1A водных поверхностей, были получены пороговые значения для каждого вида поляризации этих радарных данных.

Фазовая информация позволяет выделить с помощью метода поляриметрической декомпозиции основные механизмы рассеяния радиоволн (одиночного, двойного, объемного), что используется для классификации подстилающей поверхности, так как разные типы поверхностей имеют характерные механизмы рассеяния радиоволн. Фазовая составляющая также дает возможность рассчитать когерентность для различных вариантов пар поляризаций, которая используется для классификации с помощью rgb-композигов, в частности, полезна для разделения затопленных и полузатопленных участков.

Обратим внимание на следующий момент. В условиях оперативного мониторинга паводков зачастую случается так, что при картировании паводков оператор-дешифровщик не всегда владеет информацией обо всех объектах, попавших в зону паводка. Поэтому в данной технологии процесс фильтрации на предварительном этапе не производится, за исключением процедур, в которых она необходима, например при текстурном анализе. Фильтрация применяется уже в качестве постклассификационной процедуры для укрупнения классов, например, с помощью процедуры Majority/Minority Analysis, а также удалением пикселей определенного размера.

Выводы

ГИС-технологии космического мониторинга паводков используются органами ЧС Казахстана для оценки ситуации со сходом снежного покрова и прохождения паводковых вод уже почти 15 лет. За это время они продемонстрировали свою работоспособность, востребованность и способность развиваться.

В 2015 г. усилению возможностей ГИС-технологии космического мониторинга прохождения паводковых вод и наводнений на территории Казахстана способствовали два момента. Первый из них связан с появлением в свободном доступе радарных данных Sentinel-1A в режиме IWS (пространственное разрешение 25 м, радиометрическое 8 бит) с двойной поляризацией (VV/VH) в комплексном формате (с фазой и амплитудой). Ранее в свободном доступе были только однополяризационные радарные данные. Период повторной съемки составляет для них 12 дней, а после запуска спутника Sentinel-1B сократится до 6 дней.

Второй момент связан с использованием при обработке двухполяризационных данных методов радарной поляриметрии, что повышает информационные возможности мониторинга.

Список литературы

[1] Spivak L., Arkhipkin O., Pankratov V., Vitkovskaya I., Sagatdinova G. Space monitoring of floods in Kazakhstan. *Mathematics and Computers in Simulation*, 2004, 67, 365–370.

[2] Arkhipkin O.P., Sagatdinova G.N. Functioning of Fires and Flood Space Monitoring System in Kazakhstan. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Beijing, 2008, XXXVII (B8), 435-439.

[3] Arkhipkin O.P., Spivak L.F., Sagatdinova G.N. Development of Flood Space Monitoring in Kazakhstan. *Geoscience and Remote Sensing New Achievements*, Croatia: In Teach, 2010, 419-436.

[4] Besnard M. Instant Tasking – Get Ready to Face the Unexpected, *3rd International GIS Forum “Geospatial Solutions – the Future of Information Technologies”*, 2015; ftp://ftp.sovzond.ru/forum/2015/16.04_pdf/Besnard.pdf

[5] Архипкин О.П., Спивак Л.Ф., Сагатдинова Г.Н. Районирование по степени риска паводков и пожаров территории некоторых областей Казахстана по многолетним рядам ДДЗ. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, М., 2009, 6 (2), 487-496 [Arkhipkin O.P., Spivak L.F., Sagatdinova G.N. Zoning on the degree of floods and fires risk of some areas of Kazakhstan based on multi-year series remote sensing data, *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, Moscow, 2009, 6 (2), 487-496 (in Russian)]

[6] Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н. Использование оптических и радарных ДДЗ в космическом мониторинге паводков в Казахстане. *Материалы II Междунар. науч. конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли»*, Красноярск (RPERS 2015), 2015, 235-238 [Arkhipkin O.P., Sagatdinova G.N. The use of optical and radar remote sensing data in space monitoring of flood in Kazakhstan, *proceedings of RPERS 2015*, Krasnoyarsk, 2015, 235-238 (in Russian)]

[7] Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н., Бралинова Ж.А. Оценка потенциального развития паводков на основе анализа многолетних временных рядов ДДЗ. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. М: ИКИ РАН, 2014, 11 (4), 127-136 [Arkhipkin O.P., Sagatdinova G.N., Bralinova Zh.A. Estimation of potential growth of high waters from the analysis of

long-term temporal rows of remote sensing data. *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, Moscow, 2014, 11 (4), 127-136 (in Russian)]

[8] Архипкин О.П., Сагатдинова Г.Н. Основные результаты и направления развития космического мониторинга ЧС в Казахстане. *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. М: ИКИ РАН, 2013, 10 (1), 292-302 [Arkhipkin O.P., Sagatdinova G.N. The main results and the directions of development of space monitoring of an emergency in Kazakhstan, *Current problems in remote sensing of the Earth from space*, Moscow, 2013, 10 (1), 292-302 (in Russian)]

[9] Guo H. Spaceborne and Airborne SAR for Target Detection and Flood Monitoring. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 2000, 66 (5), 611-617.

[10] Henry, J., Chastanet, P., Feelah, K. & Desnos, Y. Envisat multipolarized ASAR data for flood mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 2006, 27 (10), 1921-1929.

[11] Martinis S., Twele A. & Voight S. Towards operational near real-time flood detection using a split - based automatic thresholding procedure on high resolution TerraSAR-X data. *Natural Hazards and Earth System Science*, 2009, 9, 303-314.

[12] Herrera Cruz V., Muller M., Weise C. Flood Extent Mapping Based on TerraSAR-X Data. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, 2010, 6, 475-488.

[13] Brisco B., Schmitt A., Murnaghan K., Kaya S. and Roth A. SAR polarimetric change detection for flooded vegetation. *International Journal of Digital Earth*, 2013, 6 (2), 103-114.

[14] Lang M., Townsend P., and Kasischke E. Influence of incidence angle on detecting flooded forests using C-HH synthetic aperture radar data. *Remote Sens. Environ.*, 2008, 112, 3898-3907.

[15] Turkar V., Rao Y.S. Analysis of Multi-Frequency Polarimetric SAR Data using Different Classification Techniques. *International Journal of Computer Applications*, 2011, 14, 53-60.

[16] Manjusree P., Prasanna Kumar L., Bhatt C.M., Srinivasa Rao G., and Bhanumurthy V. Optimization of Threshold Ranges for Rapid Flood Inundation Mapping by Evaluating Backscatter Profiles of High Incidence Angle SAR Images. *Int. J. Disaster Risk Sci.*, 2012, 3 (2), 113-122.