

Оценка потенциального развития паводков на основе анализа многолетних временных рядов ДДЗ

О.П. Архипкин, Г.Н. Сагатдинова, Ж.А. Бралинова

*Национальный центр космических исследований и технологий, Алма-Ата, Казахстан
E-mails: oarkhipkin@rambler.ru, mkmikikz@mail.ru*

В статье приводится описание методики оценки потенциального развития динамики зон затопления при прохождении паводковых вод и наводнений на основе анализа многолетних данных космического мониторинга. Методика позволяет получить пространственно-временную динамику зон затопления на рассматриваемой территории при развитии паводков и наводнений. Эта динамика формируется путем построения из многолетних временных рядов данных единого ряда, данные которого располагаются в порядке возрастания площади зон затопления. Такой подход устраняет недостатки, обусловленные высокой облачностью, часто наблюдаемой в паводковый период конкретного сезона, и наличием большого промежутка времени между соседними съемками. Это позволяет гораздо более полно отследить последовательность затопления территории при развитии паводков и наводнений. При этом пространственно-временная динамика затопления территории представляет собой динамику реальных зон затопления. Точность определения таких зон определяется пространственным разрешением используемых ДДЗ. В качестве базовых используются данные MODIS. Так как имеется три типа многолетних временных рядов, формируется и три представления пространственно-временной динамики затопления территории при развитии паводков и наводнений: по ежедневным, декадным и сезонным данным. Для иллюстрации возможностей методики приведены выходные результаты для паводкоопасных районов бассейнов рек Сырдарья (район поселка Джусалы) и Иртыш (район г. Павлодар).

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космический мониторинг, чрезвычайные ситуации, паводки, зоны затопления, динамика развития паводков, ГИС-технологии.

Введение

В Казахстане постоянно то в одном, то в другом регионе возникают критические ситуации, связанные с прохождением паводковых вод, в том числе в результате активного снеготаяния и ливневых осадков. При этом такие ЧС происходят как на больших, так и малых реках. Для снижения экономического ущерба большое значение имеет как оперативное получение информации о текущем состоянии зон затопления и динамике их развития, так и прогнозные оценки потенциального развития паводков.

Оперативное получение информации о текущем состоянии зон затопления и динамике их развития наиболее эффективно обеспечивается при использовании систем космического мониторинга. Подобная оперативная система космического мониторинга паводков и наводнений в Казахстане развивается с 2001 г., а уже с 2002 г. началось практическое использование этой системы в интересах органов ЧС различного уровня (Arkhipkin, Sagatdinova, 2008; Arkhipkin, Spivak, Sagatdinova, 2010).

Для оперативного отслеживания ситуации при прохождении паводковых вод и наводнений используется технология мониторинга на основе дневных снимков EOS-AM TERRA MODIS (разрешение 250 м). Главной целью решения этой задачи является картирование зон затопления во время прохождения паводковых вод и наводнений. Зоны затоп-

пления определяются как разница водных поверхностей в нормальных условиях и во время паводка. При тематической обработке космических изображений выделяется пять классов объектов: территории, покрытые снежным и ледяным покровом, территории свободные от снега, территории покрытые водой с выделением зон затопления, территории закрытые облачным покровом.

Для оценки потенциальной угрозы наводнений и паводков используется ГИС территории, которая содержит информацию о населенных пунктах, дорожной и железнодорожной сети, линиях электросети, нефте- и газопроводах, лесных массивах, особо важных объектах и т.д. Накладывая на эти слои зоны затопления, в том числе в динамике их развития, можно определить каким объектам угрожает реальная опасность.

Космический мониторинг схода снежного покрова и прохождения паводковых вод проводится в три уровня. На первом проводится ежедневный анализ по данным низкого разрешения MODIS (пространственное разрешение 250 м). Ценность данных MODIS, несмотря на низкое разрешение, состоит в том, что они получаются ежедневно. На втором уровне привлекаются по мере их получения данные среднего разрешения например типа Landsat, а также радарные данные. На третьем уровне при необходимости анализа ситуации в особо критических случаях используются оптические и радарные ДДЗ высокого и сверхвысокого разрешения.

На основе ежедневных данных формируются обзорные декадные карты зон затопления, которые фиксируют суммарные площади, затоплявшиеся на исследуемой территории за декаду. Далее на основе декадных в ГИС-среде формируются обзорные месячные карты, а на базе последних - сезонные карты зон затопления. Сезонная карта характеризует все суммарные зоны затопления, которые фиксировались по данным космического мониторинга в течение сезона.

По мере накопления многолетних данных космического мониторинга паводков и наводнений на основе пространственного анализа всего многолетнего ряда ДДЗ о зонах затопления проводится районирование зон риска затопления, оценивается потенциальная динамика развития паводков, сравнительный анализ развития паводков и др. При этом риск возникновения ЧС оценивается частотой повторения затопления на какой-либо конкретной территории за весь исследуемый период времени (Архипкин, Спивак, Сагатдинова, 2009). Этот же ряд можно использовать и для оценки потенциального развития паводков.

ГИС-технология оценки потенциального развития паводков на основе многолетней временной серии данных космического мониторинга

Прогнозные оценки потенциального развития паводков можно проводить несколькими способами. Такую оценку может дать математическое моделирование, которое для правильного отражения процесса требует достаточно большого количества наземных данных с геодезическими и гидрологическими характеристиками исследуемой территории. Возможен и другой подход, базирующийся на анализе многолетних рядов данных космического мониторинга пожаров.

Главная задача такого анализа состоит в получении пространственно-временной характеристики потенциальной динамики зон затопления на рассматриваемой территории. Для ее решения анализируется весь многолетний временной ряд данных, полученный по результатам космического мониторинга схода снежного покрова и прохождения паводковых вод. Из него выбираются данные, содержащие зоны затопления исследуемой территории. Располагая эти данные в порядке возрастания площади зон затопления, и получаем пространственно-временную динамику прохождения паводков и наводнений.

Необходимость рассматривания всего многолетнего временного ряда зон затопления обусловлена прежде всего тем, что очень часто прохождение паводковых вод сопровождается высокой облачностью. Кроме того, космосъемка проводится один раз в дневное время и промежуток суток между съемками выпадает из поля зрения. Все это приводит к тому, что невозможно достаточно полно отследить пространственно-временную динамику прохождения паводков в один даже самый многоводный сезон. Анализ всего многолетнего временного ряда нивелирует эти недостатки и позволяет гораздо более полно отследить последовательность затопления территории при развитии паводков и наводнений.

Заметим, что в отличие от математического моделирования получаемая по данной методике пространственно-временная динамика затопления территории при развитии паводков и наводнений представляет собой реальные зоны затопления, а не гипотетические. Точность определения таких зон определяется пространственным разрешением используемых ДДЗ. В качестве базовых используются данные MODIS.

В связи с тем, что имеется три типа многолетних временных рядов, формируется и три представления пространственно-временной динамики затопления территории при развитии паводков и наводнений соответственно по ежедневным, декадным и сезонным данным. Эти динамики дают пространственно-временные последовательности затопления территории при развитии паводков и наводнений. Особо отметим сезонные данные, которые характеризуют всю территорию, подвергшуюся затоплению в конкретный сезон. По сезонным данным кроме межсезонной динамики развития паводков можно также полу-

чить оценку частоты затопления территории (зоны риска) и провести сравнительный анализ развития паводков для различных временных периодов.

ГИС технология оценки потенциальной угрозы паводков на основе многолетней временной серии данных космического мониторинга прохождения паводковых вод включает несколько этапов. Вначале проводится районирование исследуемой территории с целью разбития её на такие составляющие районы, для которых возможно проводить оценку потенциальной угрозы паводков по многолетним временным рядам ДДЗ. Для ежедневных и декадных данных такие районы образуют территории, для которых паводковый период начинается и заканчивается примерно в одно и то же время. Для сезонных же данных эти районы могут включать как всю территорию в целом, так и любые её части. В том числе эти данные позволяют проводить оценку для всего речного бассейна в целом.

Затем для выделенных зон формируются многолетние ряды данных о зонах затопления, полученные по результатам космического мониторинга. Из анализа этих рядов получаем потенциальную и межсезонную динамики развития паводков и наводнений. На последнем этапе с помощью ГИС-инструментария проводим визуализацию полученных результирующих данных.

Оценка потенциального развития паводков на основе анализа временных рядов ежедневных ДДЗ

Для отработки методики оценки потенциального развития паводков на основе анализа временных рядов ДДЗ были выбраны паводкоопасные районы бассейнов рек Сырдарья (район поселка Джусалы) и Иртыш (районы г. Павлодар, поселков Акку и Актогай). Для районов реки Иртыш собраны данные космического мониторинга за 2011-2014 гг., а для района поселка Джусалы на реке Сырдарья – за 2007-2014 годы. Кроме того, получены сезонные данные для казахстанской части бассейна реки Сырдарья, включающей Южно-Казахстанскую и Кызыл-Ординскую области – за 2004-2014 гг.

Районы в Павлодарской области вдоль реки Иртыш выбраны потому, что из четырехлетнего периода наблюдения три года фиксировался достаточно интенсивный паводок, что позволяет получить хорошую выборку. Казахстанская часть бассейна реки Сырдарья исследована в связи с тем, что с зимне-весеннего сезона 2003/2004 годов наблюдается существенный паводок в зимний период, вызванный сбросом воды с Токтогульской плотины в Киргизии и дальнейшим пропуском ее на Кайракумской плотине в Таджикистане. В этом регионе наибольший интерес вызывает район поселка Джусалы, в котором паводок представляет наибольшую потенциальную угрозу.

По каждому из выбранных районов анализируется временной ряд данных космического мониторинга за каждый конкретный паводковый сезон. В результате формируется временной ряд, содержащий безоблачные и малооблачные данные вдоль долины реки, на которых зафиксированы зоны затопления. Этот ряд во временном интервале располагается от начала прохождения паводковых вод до его завершения и дает динамику развития паводка за рассматриваемый сезон. Более точно отследить динамику прохождения паводка по конкретному сезону мешает высокая облачность, которая полностью или существенно закрывает район исследования.

Однако тот момент, что свободные от облачности данные в разные сезоны приходились на разные фазы прохождения паводка, позволяет построить достаточно представительный пространственно-временной ряд динамики его развития. При этом ряд содержит данные из разных сезонов и располагается от минимума зон затопления к максимуму (рис. 1).

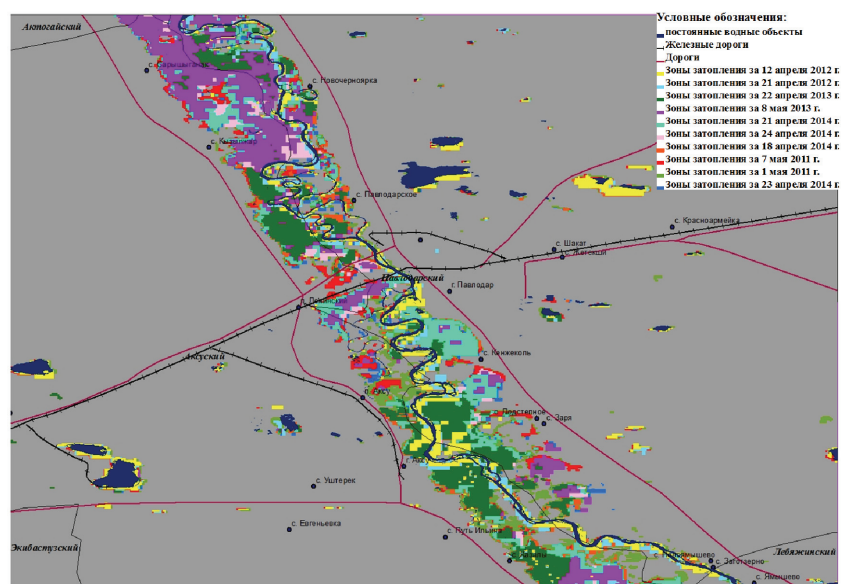


Рис. 1. Динамика развития паводка на р. Иртыш в районе г. Павлодар по ДДЗ за весенний период 2011-2014 гг.

Тем самым получается пространственно-временная динамика потенциального затопления исследуемой территории при прохождении паводка. При этом каждая фаза этой последовательности определяет реально зафиксированные границы зон затопления, полученные практически в один и тот же момент времени. Точность определения этих границ определяется пространственным разрешением используемых ДДЗ.

Межсезонная динамика развития паводков на основе анализа временных рядов сезонных данных космического мониторинга

Несмотря на то, что при получении динамики потенциального развития паводков на основе ежедневных данных используется многолетний ряд данных, часто не удается охватить все подвергшиеся затоплению за этот период территории. Это обусловлено тем, что при формировании такой динамики используются только безоблачные и малооблачные снимки района исследования, чтобы одновременно зафиксировать границы зон затопления. На облачных же снимках, которые не входят в этот ряд, часто фиксируются зоны затопления на открытой от облачности части исследуемой территории, которые не учитываются в динамическом ряду.

Для того, чтобы учесть такие зоны рассматриваем также многолетние ряды декадных и сезонных данных космического мониторинга паводков и наводнений. В этом случае учитываются все участки на исследуемой территории, на которых в указанный период (10 дней или весь сезон) хотя бы раз были зафиксированы по ДДЗ зоны затопления. При таком подходе границы зон затопления фиксируются не в один и тот же момент времени, а за весь период наблюдения, но при этом фиксируются все обнаруженные по ДДЗ площади, подвергнутые затоплению. Особенно полезны сезонные карты, которые содержат информацию о всех затопленных за паводкоопасный сезон территориях.

Используя ряд многолетних сезонных данных космического мониторинга паводков и наводнений получаем карты межсезонной динамики развития паводка, которая также характеризует динамику потенциального развития паводков в зависимости от их интенсивности (рис. 2, 3).

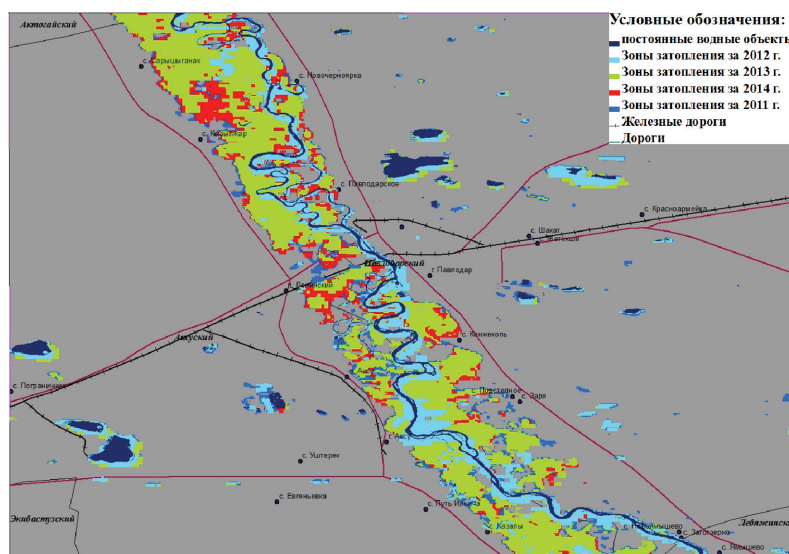


Рис. 2. Межсезонная динамика развития паводка на р. Иртыш в районе г. Павлодар по ДДЗ за весенний период 2011-2014 гг.

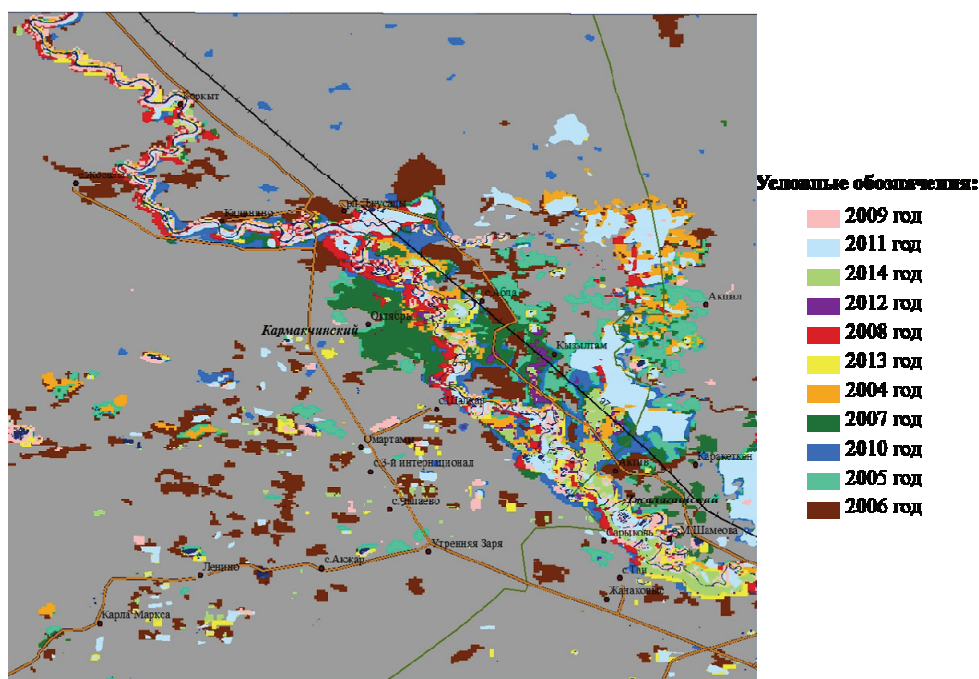


Рис. 3. Межсезонная динамика развития паводка на р. Сырдарья в районе посёлка Джусалы в Кзыл-Ординской области по ДДЗ за зимне-весенний период 2004-2014 гг.

Величина зон затопления определяется с одной стороны уровнем поднятия воды в реке, а с другой - особенностями рельефа местности в окрестностях русла реки. Из рис. 1 и 2 видим, что значительная часть берегов в долине реки Иртыш в Павлодарской области как на правой, так и на левой сторонах реки имеет достаточно большую высоту над уровнем реки и не затапливалась в течение наблюдаемого периода. С другой стороны видим, что населенные пункты и дороги за этот же период также практически не затапливались, то есть они на рассматриваемой территории расположены с учетом рельефа и угрозы возможного затопления. Это обусловлено тем, что паводок здесь наблюдается довольно часто и имеет достаточно регулярный характер.

Несколько иная ситуация в казахстанской части бассейна реки Сырдарья. Здесь нередко фиксируются новые зоны затоплений в тех местах, в которых никогда раньше они не наблюдались. Это частично обусловлено метеорологическими явлениями, когда выпадают дожди, затем следуют заморозки, проводящие к образованию ледяных корок на поверхности земли, по которым при вновь выпавших дождевых осадках вода устремляется в низины как по желобам, иногда разрушая находящиеся в них населенные пункты. Другой причиной образования таких зон являются прорывы насыпных или естественных дамб. Рассмотренные случаи носят в основном разовый характер и в следующем сезоне обычно не повторяются. Часто они и не фиксируются в полном объеме из-за высокой облачности, сопровождающей их.

Как уже отмечалось выше, другой особенностью паводков и наводнений в этом регионе является фиксирование достаточно сильных наводнений в зимний период, вызванных сбросом воды с Токтогульской плотины в Киргизии. В этом случае на величину зон затопления главное влияние также оказывают рельеф и расход воды в реке, но определенное воздействие оказывает и состояние ледовой обстановки на реке. При этом даже в морозную погоду, когда на реке лед, а вокруг снежный покров зоны затопления при зимних наводнениях достаточно хорошо фиксируются на этапах возрастания этих зон.

Для казахстанской части бассейна реки Сырдарья межсезонный анализ развития паводков показал снижение интенсивности паводков в 2011-2014 гг. по сравнению с предыдущим периодом. Поэтому был проведен сравнительный анализ развития паводков за 2004-2010 и 2011-2014 гг., результаты которого представлены на *рис. 4*. Здесь зоны затопления зафиксированные в обоих этих периодах обозначены желтым цветом (объединены с постоянными водными объектами), только в 2011-2014 гг. - зеленым, а только в 2004-2010 гг. - красным. Заметим, что красный цвет в районе Аральского моря показывает недавно высохшую его водную поверхность.

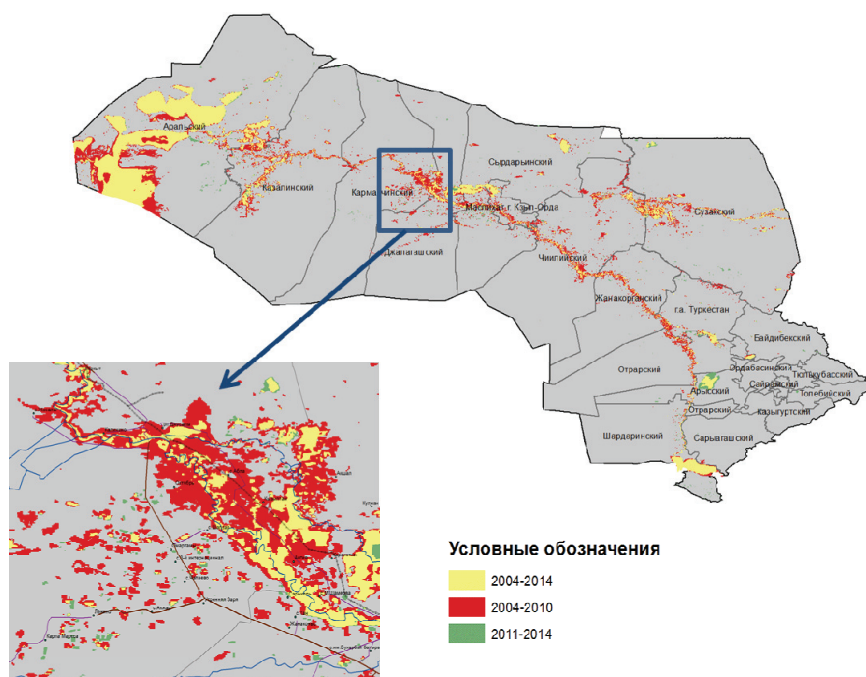


Рис. 4. Разница суммарных зон водной поверхности по ДДЗ на территории Кзыл-Ординской и Южно-Казахстанской областей за 2004-2010 и 2011-2014 гг.

Таким образом красный цвет, обозначающий зоны затопления которые не наблюдались в 2011-2014 гг., показывает существенное уменьшение зон затопления в эти годы по сравнению с предшествующим периодом. Особенно это характерно для долины реки

Сырдарья выше Кзыл-Орды, что демонстрирует фрагмент карты разницы суммарных зон водной поверхности за 2004-2010 и 2011-2013 гг. для района поселка Джусалы Кзыл-Ординской области (рис. 4, вставка). В этом районе фиксируется в последние годы значительное снижение величины затопляемых территорий.

Возможно отмеченный эффект обусловлен вводом в действие Гидрокомплекса «Коксарайский противопаводковый контррегулятор – Чардаринское водохранилище». В пользу этого говорит тот факт, что до Коксарая вдоль долины реки превалирует желтый цвет, а после - красный. Более точный ответ на этот вопрос дадут результаты последующих наблюдений.

Выводы

Анализ многолетних временных рядов данных космического мониторинга позволяет получить ряд полезных для последующего анализа выходных картографических данных на исследуемой территории: пространственно-временную динамику последовательности зон затопления при развитии паводков и наводнений, межсезонный анализ динамики развития паводков, суммарные зоны затопления за рассматриваемый многолетний период, частоту затопления и др. Эти результаты могут быть полезны как для оценки паводкоопасности территории, так и для разработки предупредительных мер, снижающих потенциальный ущерб от паводков и наводнений.

Работа выполнена в рамках проекта «Разработка технологий и алгоритмов ситуационного управления на основе многолетних рядов данных дистанционного зондирования Земли» Республиканской бюджетной программы 002 «Прикладные научные исследования в области космической деятельности».

Литература

1. *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. 2009. Выпуск 6. Т. 2. С. 487-496.
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. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing. 2008. P. 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. Edited by Pasquale Imperatore & Daniele Riccio. Vukovar, Croatia: In Tech. 2010. P. 419-436.

Estimation of potential growth of high waters from the analysis of long-term temporal rows of remote sensing data

O.P. Arkhipkin, G.N. Sagatdinova, Z.A. Bralinova

National Center of Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan
E-mail: oarkhipkin@rambler.ru, mkmikikz@mail.ru

This paper presents description of techniques for assessment of potential development dynamics of flood during the passage of high waters and floods based on the analysis of long-term space monitoring data. The technique allows to obtain spatial and temporal dynamics of flood zones in the study area during the growth of high water and floods. This dynamic is formed by constructing a single row from multi-time data series, where data are arranged in ascending order of the area of flood zones. Such approach eliminates the defects caused by high overcast, which is often observed during the flood period of a particular season, and large interval of time between the adjacent surveys. It allows to trace much more fully the sequence of flooding of the territory at the growth of high waters and floods. This spatial-temporal dynamics of flooding of the territory represents dynamics of real zones of flooding. Accuracy of definition of such zones is defined by spatial resolution of remote sensing data used. For basic data MODIS scenes are used. Since there are three types of long-term time series, three representations of spatio-temporal dynamics of flooding of the territory during the development of high waters and floods are formed: according to daily, ten-day and seasonal data. As an illustration of the capabilities of the methodology, the results for flood-prone areas of river basins of the Syr-Darya (the district of the settlement of Dzhusala) and Irtysh (district of the city of Pavlodar) are given.

Keywords: remote sensing, space monitoring, emergency situations, high waters, zones of flooding, dynamics of growth of floods, GIS-technology.

References

1. Arkhipkin O.P., Spivak L.F., Sagatdinova G.N., Raionirovanie po stepeni riska pavodkov i pozharov territorii nekotorykh oblastei Kazakhstana po mnogoletnim ryadam DDZ (Zoning by the degree of floods and fires risk of some areas of Kazakhstan based on multi-year series remote sensing data), *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2009, Issue 8, Vol. 2, pp. 487-496.
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*, Vol. XXXVII, Part B8, Beijing, 2008, pp. 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*, Edited by Pasquale Imperatore & Daniele Riccio, Vukovar, Croatia: In Tech, 2010, pp. 419-436.