

Спутниковый мониторинг паводка на реке Томь

С.В. Сидоренко¹, А.Д. Романцов²

Ключевые слова: река Томь, половодье, ледоход, спутниковый мониторинг, ледовая обстановка, моделирование возможных затоплений, геосервис «Космоснимки – Половодье»

Key words: Tom River, flash flood, satellite monitoring, ice situation, flood simulation, “Kosmosnimki – Flood” geoservice

По условиям весеннего ледохода р. Томь и её притоки занимают особое место среди рек Западной Сибири. По всей длине рек ледоход проходит очень бурно и сопровождается большими заторами льда. В результате образования заторов поднимается уровень воды, вызывая наводнения. 2010 год занял особую позицию в этих статистических наблюдениях.

Особенности половодья на р. Томь в 2010 г.

Зимний сезон 2009–2010 гг. сопровождался рядом природных событий, сочетание которых крайне редко в истории наблюдений:

- ледоход в ноябре, вызванный дождями в верховьях Томи, привёл к образованию протяжённых затороженных участков льда в рукавах реки. Такие осенние ледоходы на-

блюдались и ранее (в частности в октябре и ноябре 1940 г. был тройной ледоход) и всегда сопровождались катастрофическими весенними наводнениями;

- экстремально холодная зима с длительными температурами до минус 30–40 °С., привела к промерзанию на значительную глубину торосовых полей и льда на реках;
- холодная весна (март–апрель) вызвала задержку начала ледохода (15–20 дней от нормы), что при потеплении грозило резким началом ледохода, образованием ледовых плотин и в итоге — значительными превышениями уровня паводка;
- задерживался (на 10–20 дней от нормы) паводок малых рек (Ушайки, Киргизки, Басандайки, Чёрной речки и др.). При совпадении паводочных волн на малых реках и р. Томь были возможны «подпор-

¹ Председатель комитета геоинформационного обеспечения, Департамент архитектуры и градостроительства администрации г. Томска, 634050, г. Томск, пр. Ленина, д. 73, e-mail: svvs@admin.tomsk.ru

² Начальник отдела геодезии и картографии, Департамент архитектуры и градостроительства администрации г. Томска, e-mail: romancov@admin.tomsk.ru

ные» затопления территорий по руслам малых рек, в том числе в центральной части г. Томска.

По состоянию на 29 апреля 2010 г. наблюдалось совпадение по времени трёх паводковых событий (которые в обычные годы происходят последовательно, с интервалом в 1–2 недели):

- интенсивный паводок на малых реках (Ушайке, Киргизке, Басандайке);
- мощный ледоход с образованием заторов и плотин на р. Томь в районе г. Томска;
- быстрый рост уровня воды из-за жаркой погоды в бассейне р. Томь.

Моделирование возможных затоплений территорий г. Томска

В связи с наличием риска мощного весеннего паводка начиная с января 2010 г. в Томске и Томском районе начали проводить комплекс противопаводковых мероприятий, в том числе по мониторингу. Выполнялся комплекс исследований ледовой обстановки на р. Томь и её притоках. На основе цифровых моделей и расчётов были выявлены возможные затопляемые территории.

Территории возможных затоплений выявлялись по топографическим картам и планам, цифровым моделям рельефа с учётом статистических и

гидрологических наблюдений за многие годы. Прогнозные отметки уровня реки обосновывались с учётом снеговых запасов в бассейне р. Томи. Кроме того, учитывались превышения уровня, вызываемые заторами (табл. 1).

Последний раз «1%» наводнение наблюдалось в 1947 г. Также значительный уровень воды был зафиксирован в 1969 г.

В 2010 г. моделирование производилось по нескольким возможным паводковым сценариям: «максимальному», «среднему», «минимальному (вероятному)».

Задачей таких расчётов было выявление не только затопляемых паводком территорий, но и тех участков, на которых возможны подтопления различного характера (талыми водами, техногенными стоками), а также там, где невозможна нормальная хозяйственная деятельность в период хода половодья.

Даже при тщательном моделировании полученные границы зон подтопления оказались достаточно приближительными, что обусловлено весьма выровненным характером рельефа, недостаточной топографической и гидрологической изученностью территории.

Одним из итогов моделирования явилось предложение о включении в план

мероприятий документальной фиксации паводка с помощью данных дистанционного зондирования Земли (космосъёмки), которое позволило бы значительно уточнить модели затопления и использовать их в долговременной градостроительной политике.

Радиолокационные и оптические спутниковые снимки будут востребованы для разработки перспективных проектов планировок поймы рек, позволят учесть на стадии проектирования документально зафиксированные гидрологические, пространственные и другие аспекты сильных разливов реки. В свою очередь, это позволит избежать ошибок при дальнейшем строительстве и обслуживании объектов. Проектные, строительные, инженерные решения базируются на плановых и картографических материалах. Ошибки в проектировании дамбы, дорог, коммуникаций, размещение в опасном месте любого дорогостоящего объекта влекут финансовые потери для инвесторов в десятки и сотни миллионов рублей. От полноты и точности исходных данных напрямую зависит, насколько взвешенными и комплексными будут проектные решения. Таким образом, документальные данные о ходе половодья нужны прежде всего для защиты будущих инвестиций, а также для мероприятий

Табл. 1. Отметки максимальных уровней воды в р. Томь, м. Система высот Балтийская

Водомерные посты	Отметка нуля, м	Обеспеченность, %						Максимальное превышение, вызываемое затором (к уровню воды, заданной обеспеченности)
		1	3	5	10	25	50	
г. Томск, Гидроствор	69,99	79,51	78,98	78,78	78,27	77,56	76,77	+2,3
г. Томск, Пристань	69,48	78,22	77,67	77,47	76,97	76,31	75,64	11,7

* Обеспеченность, % — статистическая вероятность события, то есть 1 раз в 100 лет, 3 раза в 100 лет, 5 раз в 100 лет и т.д.

по инженерной защите существующей инфраструктуры, жилых домов.

По заказу администрации Томска в апреле–мае 2010 г. ИТЦ «СКАНЭКС» (г. Москва) провёл спутниковую съёмку территории города для информационного обеспечения мониторинга и контроля хода половодья на реке Томь.

Для минимизации негативных последствий ледохода в службы администрации г. Томска в оперативном режиме с помощью геосервиса «Космоснимки — Половодье» передавались радиолокационные и оптические спутниковые снимки высокого и среднего пространственного разрешения: RADARSAT-1, ENVISAT-1, EROS A/B. Приём спутниковых данных проводился с помощью аппаратно-программного комплекса «Уни-Скан» в г. Мегион (ХМАО), обработка материалов съёмки — в Московском центре дистанционного зондирования Земли ИТЦ «СКАНЭКС», анализ — в Департаменте архитектуры и градостроительства администрации г. Томска.

Традиционные (наземные геодезические) способы картографирования и мониторинга таких событий, как весеннее половодье, затратны и крайне неоперативны. Невозможно пройти с GPS/ГЛОНАСС приёмниками и геодезическими инструментами вдоль всех подтопленных территорий (протяжённость их границ составляет десятки и сотни километров). Точное картографирование «со слов» также невозможно и фрагментарно. Облёт территории и воздушная фотофиксация может обойтись в миллионы рублей, и без дорогостоящего оборудования аэровоздушной съёмки не даст требуемого качества и точности. Спутниковая съёмка является альтернативой по качеству получаемых материалов при минимальной стоимости услуг.

Спутниковый мониторинг паводка

Мониторинг ледовой обстановки

Наиболее опасным фактором в 2010 г. была признана крайне сложная ледовая обстановка, вызванная наличием промёрзших на значительную глубину торосовых полей и большой толщиной льда на остальных участках реки. На снимках, представленных в геосервисе «Космоснимки — Половодье» участки с опасными ледовыми явлениями хорошо различимы, особенно на радарных спутниковых снимках. Как отметил д.ф.м.н., заведующий лабораторией спутниковой океанологии Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН А.М. Митник «реки зимой обладают высоким РЛ-контрастом. Глубина проникновения РЛ-сигналов в пресноводный лёд много больше, чем в морской, и РЛ-сигналы рассеиваются на неоднородностях внутренней структуры. Торосистый лёд добавляет компонент, связанный с ростом рассеяния назад (на сенсоры спутника). Так что в зонах заторов контрасты должны возрастать. На величину РЛ-контрастов сильное влияние оказывает температура. При таянии льда контрасты снижаются. Это хорошо видно на серии из разновременных изображений».

Другими словами, такие объекты, как скатные крыши зданий, вздыбленный лёд на радарных снимках представлены светлыми цветами. Остальные объекты отражают сигнал с разной степенью поглощения, что позволяет на снимках дешифровать те или иные типы объектов и поверхностей. Наиболее тёмными выглядят вода, мокрый снег и обводнённый лёд.

По результатам дешифрирования радарных снимков за март и апрель 2010 г. были выделены заторошенные и опасные участки реки (рис. 1). Результаты такого дешифрирования

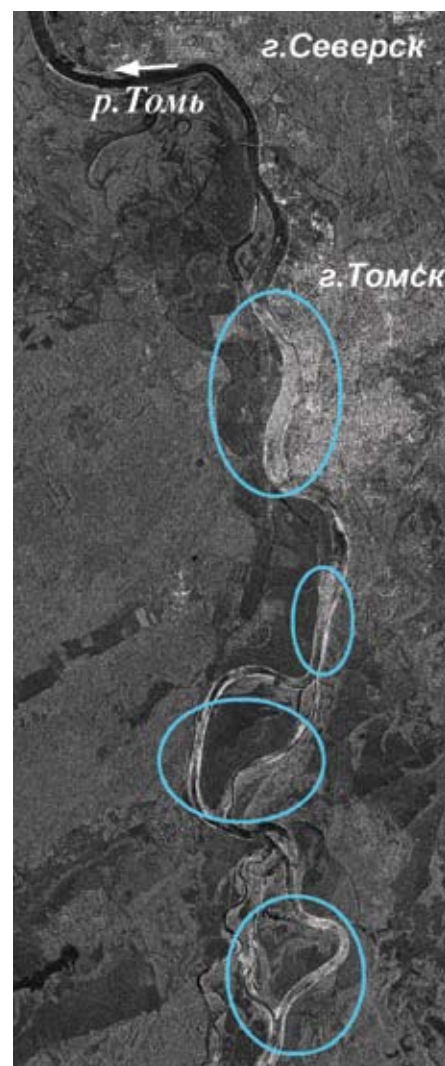


Рис. 1. Участки с опасными ледовыми явлениями. Снимок RADARSAT-1, дата съёмки 11 апреля 2010 г., режим съёмки F3F (© CSA, MDA, SCANEX, 2010)

соответствовали наземным методам исследований (по протяжённости и характеру ледовой опасности), что говорит о высокой степени достоверности спутникового метода.

Участок р. Томь от устья (от р. Обь) до нового моста в г. Томске практически был без торосов. На радарном снимке, полученном в марте, хорошо различима протока от ручья выше г. Северска (рис. 2). Данная ситуация значительно облегчила прохождение ледохода в черте г. Томска и свела к минимуму последствия паводка для



Рис. 2. Р. Томь ниже г. Томска. Снимок RADARSAT-1, дата съёмки 26 марта 2010 г., режим съёмки Н4 (© CSA, MDA, SCANEX, 2010)

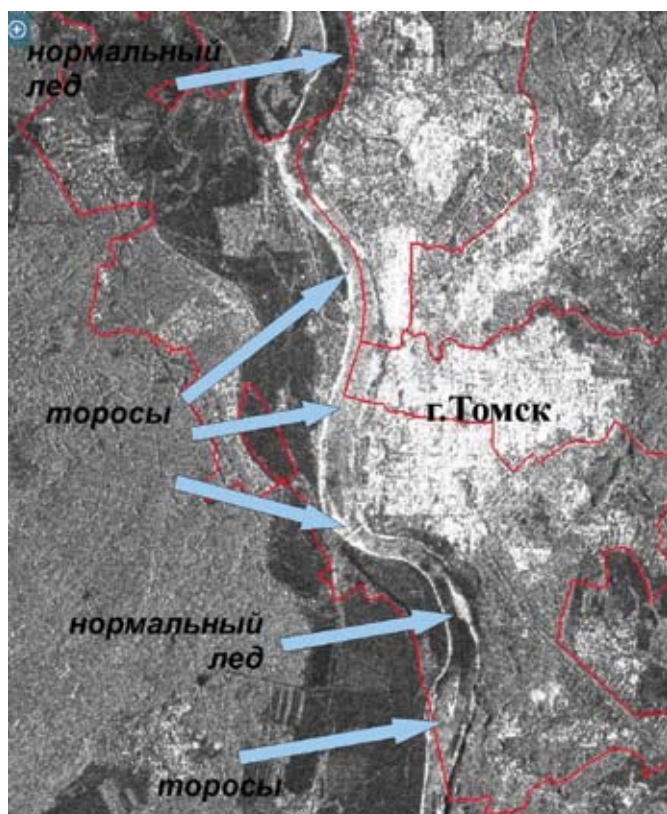


Рис. 3. Р. Томь, г. Томск. Заторошенные участки. Снимок RADARSAT-1, дата съёмки 26 марта 2010 г., режим съёмки Н4 (© CSA, MDA, SCANEX, 2010)

д. Эушта, п. Нижний Склад и г. Томска. К началу ледохода участок реки от г. Томска ниже по течению практически очистился ото льда, что также является статистическим исключением хода паводка в 2010 г.

По радарным данным, в конце марта в районе г. Томска наблюдались значительные заторошенные поля (рис. 3). Их мощность, по данным наземных исследований (ОАО «Томскгеомониторинг»), составляла от 2 до 5 м. Эти ледовые скопления впоследствии вызвали затор в районе коммунального моста и привели к катастрофическому затоплению д. Чёрная речка (выше г. Томска по течению реки).

Мероприятия, проводимые управлением МЧС по Томской области, такие, как взрывы, распилы льда, существенно ускорили вскрытие реки на проблемных участках (рис. 4 и 5).

Изученные по космосъёмке места подвижек льда перед началом ледохода могут уточнить критически важные, «напряжённые» ледовые узлы для проведения взрывных работ (рис. 6).

Анализ спутниковых снимков до момента вскрытия реки и начала ледохода визуально прояснил некоторые важные аспекты проведения противопаводковых мероприятий, не явные при наземных способах мониторинга, что в будущем позволит сконцентрировать усилия на конкретных участках и угрозах. Кроме того, графически и документально точно были определены характерные опасные ледовые узлы и временные метки развития ледовых процессов, что в дальнейшем обеспечит систему принятия решений дополнительными сведениями.

Мониторинг ледохода и паводка

При использовании геосервиса «Космоснимки — Половодье» преследовались следующие цели:



Рис. 4. Места распилов льда (возле г. Северска). Снимок EROS B, дата съёмки 25 апреля 2010 г. (© ImageSat, SCANEX, 2010)



Рис. 5. Р. Томь возле г. Северска (тот же участок, что и на рис. 4). Снимок EROS B, дата съёмки 29 апреля 2010 г. (© ImageSat, SCANEX, 2010)

- обеспечение оперативных служб документальными сведениями о чрезвычайных ситуациях, вызванных паводком (для проведения эвакуационных и других мероприятий по ликвидации или предотвращению ЧС);
- уточнение моделей паводковой угрозы для учёта паводковых рисков

в долговременной градостроительной политике.

Темой этой статьи не являлось освещение подробностей развития паводка, его последствий для города. Можно лишь подчеркнуть, что на одном из водомерных постов был зафиксирован исторический максимум уровня воды, вызванный затором льда у коммуналь-

ного моста. Уровни воды данного поста «Гидроствор» (Лагерный сад) представлены на графике (рис. 7).

Затор возле коммунального моста вызвал резкий рост уровня воды выше г. Томска (водомерный пост «Гидроствор») начиная с 15:00 до 20:00 ч. 29 апреля 2010 г. Фактический уровень воды на водомерном посту «Гидроствор» 29 апреля в 19:18 ч. составил 1057 см от нуля, что является рекордом за всю историю наблюдений. Общее превышение уровня воды, вызванное затором (оценка по приведённому на рис. 7 графику), составило около 300 см (при принятых для поста пороговых расчётных значениях в 230 см). Значительно пострадали населённые пункты выше Томска, а также территории, расположенные в черте города. Ущерб был причинён многим объектам инфраструктуры.

На снимке, представленном на рис. 8, хорошо «читаются» источники паводковой угрозы поймы левого берега р. Томь. Вода светлого серого оттенка — это мутная вода р. Томь. Вода тёмного оттенка — свидетельство хода половодья на малых реках и накопления талых вод. Такую целостную картину невозможно получить только наземными обследованиями. Эти источники паводковой угрозы, выявленные по результатам спутникового мониторинга, позволят выработать концепцию инженерной защиты существующих, строящихся и проектируемых на пойме объектов.

Пойма Томи испещрена озёрами, старицами и протоками. Рельеф характеризуется незначительными перепадами высот. Одной из причин подтопления поймы Томи является ход половодья на р. Кисловка (протока Бурундук), а также поступление талых вод с речной террасы, где расположен п. Тимирязевское, которое усиливается подпором воды со стороны р. Томь. Строящаяся в Томске левобережная



Рис. 6. Общая ситуация на р. Томь перед началом ледохода 29 апреля. Снимок EROS B, дата съёмки 29 апреля 2010 г., 4:56 UTS (© ImageSat, SCANEX, 2010)

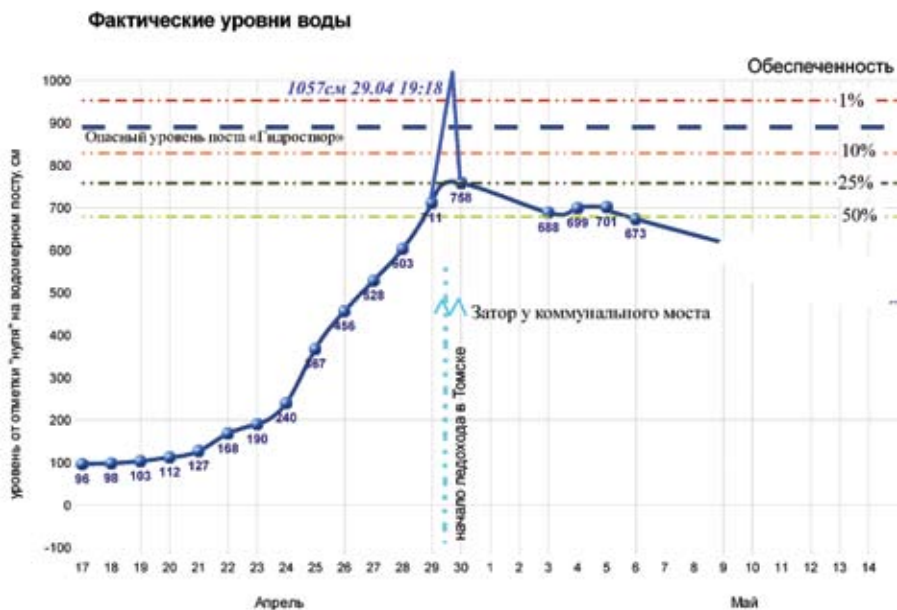


Рис. 7. Фактические уровни воды на водомерном посту «Гидроствор», г. Томск. По данным ГУ «Томский ЦГМС»

дорога, пересекающая всю пойму и хорошо различимая на снимках (рис. 9), в целом значительно не изменит ситуацию (из-за наличия 6 проходов для водотоков в виде мостовых сооружений и труб).

Новая ледозащитная дамба (рис. 10) в районе д. Эушта (построена в 2010 г.) фактически спасла дома жителей от наползающих ледяных торосов. Однако дальнейшее её строительство в направлении Семейкиного острова (согласно предварительным оценкам состояния водных потоков) нуждается в тщательном гидрологическом анализе и экспертизе, так как такая дамба фактически заузит русло реки. Это может вызвать значительный подъём уровня воды выше по течению Томи при прохождении паводковых вод. При развитии рекреационной зоны на Семейкином острове нужно рассматривать возможность строительства мостовых переходов.

Территории затопления и подтопления в бассейне Томи весной 2010 г. выявлялись при анализе следующих данных (рис. 11–12):

- затопления и их следы, выявленные на радарных и оптических снимках (в период с 28 апреля по 5 мая получено 7 спутниковых снимков);
- координаты пиковых урезов воды, определённые геодезическими методами (около ста пикетов);
- результаты визуальных наблюдений и фотофиксация.

Выводы

Во время прохождения паводка на р. Томь в г. Томск с помощью различных данных, прежде всего материалов дистанционного зондирования (геосервис «Космоснимки — Половодье»), были выявлены все значительно затопляемые и подтапливаемые территории города. Общая площадь подтапливаемых территорий (на которых невозможна хозяйственная деятельность

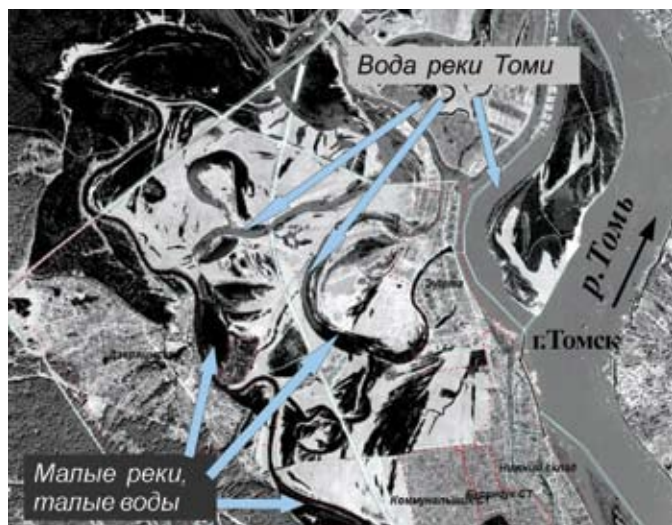


Рис. 8. Анализ источников паводковых вод. Тёмные водотоки — озёра, ручьи и река Кисловка (Бурундук). Светлые водотоки — вода р. Томь. Снимок EROS A, дата съёмки 4 мая 2010 г. (© ImageSat, SCANEX, 2010)

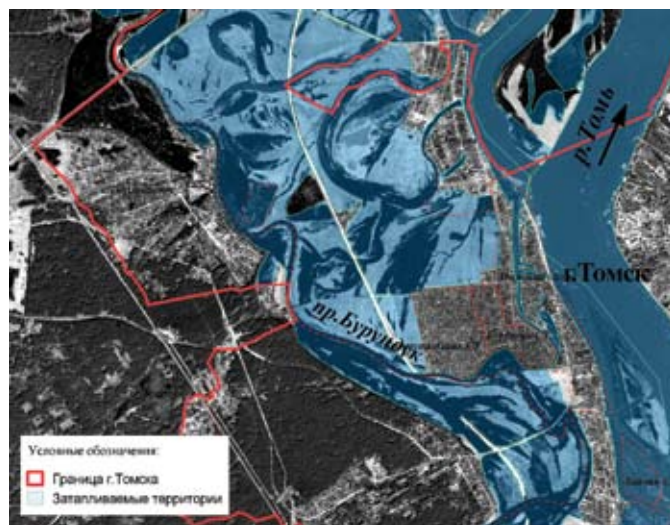


Рис. 9. Полностью или значительно затопленные (с невозможностью хозяйственной деятельности) территории поймы левого берега р. Томь. Снимок EROS A, дата съёмки 4 мая 2010 г. (© ImageSat, SCANEX, 2010)



Рис. 10. Ледозащитная дамба в д. Эушта. Снимок EROS A, дата съёмки 4 мая 2010 г. (© ImageSat, SCANEX, 2010)



Рис. 11. Разлив р. Ушайки от пр. Комсомольский до ул. Балтийская, г. Томск. Дамба в п. Восточный. Снимок EROS B, дата съёмки 29 апреля 2010 г. (© ImageSat, SCANEX, 2010)

ность в период паводка) составляет не менее 40 кв. км (при 5% обеспеченности, то есть 1 раз в 20 лет), что в процентном отношении к площади города составляет не менее 13%. Для справки: площадь водной поверхности в летний меженный период составляет около 12 кв. км.

В рамках мониторинга хода паводка на р. Томь весной 2010 г. территории, где была выявлена сложная обстановка, координатно заносились в Инфор-

мационную систему обеспечения градостроительной деятельности (слой «Зоны подтопления»). Данный слой в дальнейшем может служить в качестве регламентно-информационного при решении различных градостроительных задач и землеустройстве.

Полученные при подключении к геосервису «Космоснимки — Половодье» спутниковые данные могут служить дополнительным источником информации при проектировании

и строительстве, создании проектов планировки, уточнении генерального плана города, редакции водоохранных зон и решение подобных задач. Также были значительно уточнены модели затоплений города паводковыми водами, что позволит более качественно планировать мероприятия Комиссии по чрезвычайным ситуациям (КЧС) на десятилетия вперёд.

Кроме того, мотивирована необходимость создания Регионального цен-



Рис. 12. Защита дамбой п. Восточный, р. Ушайка, фотофиксация 29 апреля 2010 г. (© Администрация г. Томска)

тра приёма и обработки спутниковых изображений (с участием регионального и местного бюджетов, внешних инвесторов) для организации геопорталов кадастрового, навигационного, градостроительного, экологического и оперативного назначения.

В ходе мониторинга развития паводка на р. Томь весной 2010 г. отмечена недостаточная оперативность съёмки (своевременно не получен ряд снимков). Это вызвано главным образом крайне ограниченным бюджетом заказчика (стоимость месячной работы с сервисом «Космоснимки — Половодье» по ледовому спутниковому мониторингу с предоставлением десятков снимков была ниже рыночной стоимости одного высокодетального радарного снимка). Одним из способов удешевления съёмки является планирование (заказ за трое суток). Однако такие быстротечные процессы (4–6 часов) сложно спрогнозировать. Также существуют «пробелы» в сегодняшней группировке спутников, одновременно не «закрывающей» по своим орбитам все территории Земли. Зачастую нет физической возможности съёмки конкретной территории в «час

икс». Получение нужной спутниковой съёмки значительно ограничивают погодные условия и время суток, нередко исключая возможность использования оптических данных.

Мировые операторы спутниковой съёмки нацелены на решение этих проблем в ближайшем будущем. К запуску готовятся «кластеры» спутников, способных производить съёмку любой территории в режиме реального времени. Постоянно снижается стоимость услуг операторов и усиливается конкуренция на этом рынке. Данные тенденции уже позволяют сделать региональные или ведомственные (частные) центры приёма и обработки спутниковых изображений более рентабельными и функциональными.

Несмотря на добросовестность поставщика спутниковых данных и реализацию им работы сервиса «Космоснимки — Половодье» (в ИТЦ «СКАНЭКС» было организовано круглосуточное дежурство, оперативный приём и обработка снимков), существует некоторая задержка при доведении материалов съёмки до потребителя. Сами процессы предварительной цифровой обработки снимков занимают значи-

тельное время. Поскольку поставщик обязан предоставлять только гарантированные качественные снимки, производилась экспертиза и фильтрация принимаемых со спутников изображений, их кодирование, геопривязка, что также вызывало временные задержки. В то же время ряд оперативных задач мониторинга может решаться и без такой обработки, но технически это возможно только в случае самостоятельного приёма изображений со спутников.

Satellite Monitoring of the Tom River Flash Flood. By S.V. Sidorenko and A.D. Romantsov

Spring ice drifting the Tom river and its tributaries take special place among the rivers of West Siberia. Ice drifts very violently along the rivers. The process is accompanied by serious ice blocks. As a result of ice blocks, water levels rise and provoke floods. In 2010 during the Tom river flash flood all flooded territories of Tomsk were detected with the help of various data, satellite imagery first of all.