

185 ЛЕТ

гидрометеорологической
службе России

ISSN 0130-2906

МЕТЕОРОЛОГИЯ и ГИДРОЛОГИЯ

2019 № 11

**Опасные и экстремальные
явления в России:
мониторинг
и прогноз**



Экстремальное наводнение в среднем течении р. Ия — затопление г. Тулун
(Иркутская область, 2 июля 2019 г., снимок со спутника "Канопус-В" № 3,
зона затопления обозначена темно-синим цветом)



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГИДРОЛОГИЯ

2019 № 11
ноябрь

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ

Издается с 1891 г.,
с сентября 1935 г. —
под настоящим
названием

Космический мониторинг опасных природных явлений на территории России

В. В. Асмус*, Г. М. Иоффе*, Л. С. Крамарева*,
В. А. Кровотынцев*, О. Е. Милехин*,
И. А. Соловьева*

Представлены методы и примеры использования спутниковой информационной продукции Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии "Планета" для мониторинга опасных природных явлений на территории России: наводнений, пожарной обстановки, тропических циклонов, загрязнения природной среды, вулканической активности и других.

Ключевые слова: опасные природные явления, спутниковые данные, космический мониторинг.

Введение

К наиболее эффективным средствам мониторинга опасных природных явлений относятся спутниковые наблюдения. Они имеют исключительно важное значение для России, принимая во внимание ее обширные, труднодоступные и малонаселенные территории с плохо развитой инфраструктурой. Нередко спутниковые данные являются единственным источником информации об опасных природных явлениях (особенно в северных и восточных регионах с редкой сетью наземных гидрометеорологических наблюдений).

Космический мониторинг опасных природных явлений на территории России является одной из приоритетных задач, решаемых государственной территориально-распределенной системой космического мониторинга Росгидромета, в состав которой входят Европейский, Сибирский и Дальневосточный центры Научно-исследовательского центра космической гидрометеорологии "Планета" (НИЦ "Планета") [2]. В рамках решения этой задачи в спутниковых центрах НИЦ "Планета" создаются и развиваются технологии приема данных с российских и зарубежных спутников, их обработки и архивации, а также способы оперативного доведения спутниковой информационной продукции до потребителей.

На территории России отмечается более 30 видов опасных природных явлений в последние годы их повторяемость и интенсивность увеличива-

сьезную опасность представляют опасные метеорологические явления (грозы, ливни, град), тропические циклоны, вулканическая активность, оползни, загрязнение суши и водной среды.

Космический мониторинг опасных явлений

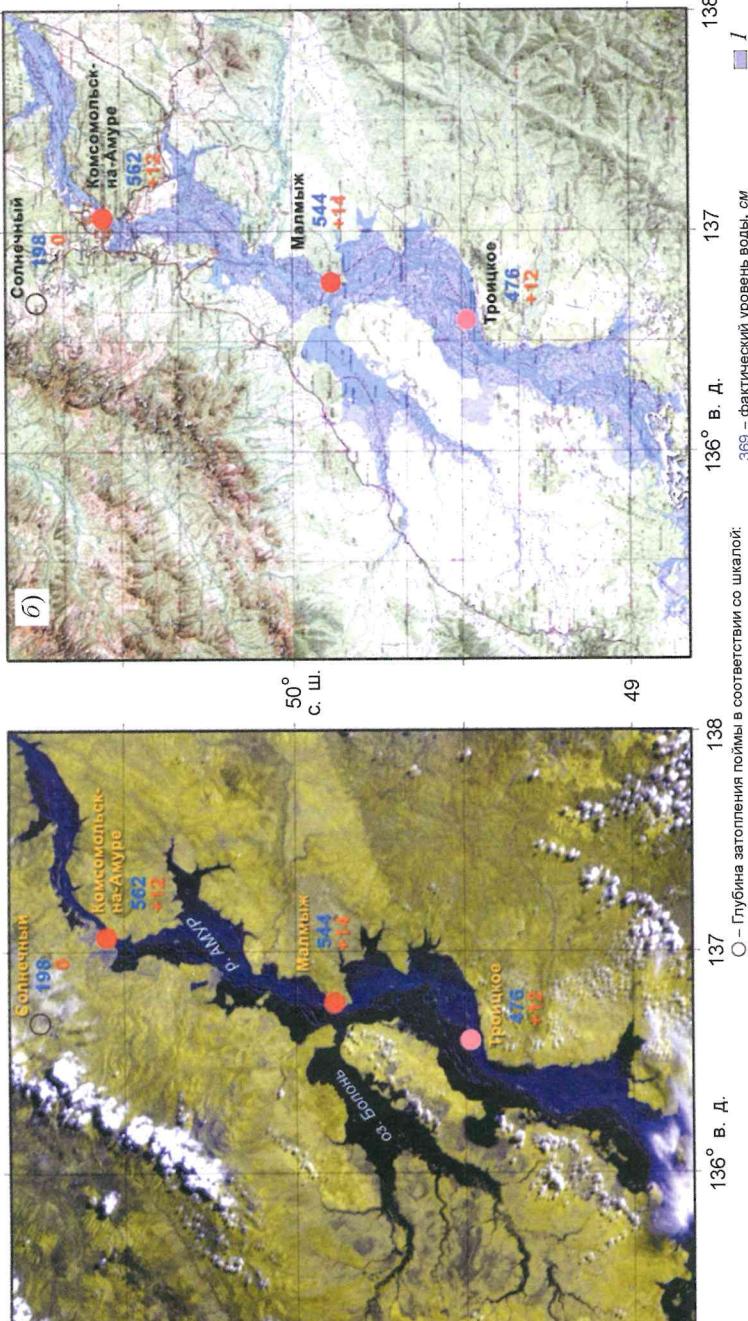
Мониторинг наводнений. Угроза наводнений в Российской Федерации существует более чем для 40 городов и нескольких тысяч других населенных пунктов. Периодическому затоплению подвержена территория площадью около 500 тыс. га. Ежегодный ущерб от наводнений в России составляет приблизительно 3,25 млрд. долларов.

Экстремальное наводнение на р. Амур в июле — октябре 2013 г. имело катастрофический характер и по своим масштабам и последствиям пре- восходило все ранее происходившие наводнения за 115 лет наблюдений. Наводнение охватило весь бассейн р. Амур. Наивысшие уровни воды на участке реки более 1000 км (от с. Нагибово в Еврейской автономной области до с. Тахта в Хабаровском крае) превысили исторические максимумы на 0,40—2,11 м. При этом продолжительность стояния высоких уровней (с превышением опасных отметок) составила в районе городов Хабаровск и Комсомольск-на-Амуре около месяца и более, а продолжительность затопления поймы на глубину 2—4 м в отдельных ее местах — более двух месяцев [11]. Как показала практика, использование спутниковой информации для контроля ситуации было наиболее эффективным.

В период наводнения в Дальневосточном и Европейском центрах НИЦ "Планета" осуществлялся оперативный спутниковый мониторинг бассейна р. Амур, ежесуточно подготавливались спутниковая информационная продукция на основе данных среднего и высокого пространственного разрешения, принимаемых с космических аппаратов "Метеор-М", "Канопус-В" (Россия), "Terra", "Aqua" (США), в следующем виде:

- карт затопленных территорий на разных участках р. Амур и его притоках;
- обобщенных карт-схем гидрологической обстановки в бассейне р. Амур, составленных по спутниковой информации и данным измерений на гидрологических постах (рис. 1);
- набора спутниковых изображений высокого пространственного разрешения, демонстрирующего динамику затоплений городских территорий (рис. 2).

Эта продукция оперативно передавалась для информирования должностных лиц и принятия управлений решений, в том числе руководству Росгидромета, в ситуационный центр Росгидромета, министру Минприроды России, руководителю Росводоресурсов, полномочному представителю Президента Российской Федерации в Дальневосточном федеральном округе, в правительственные органы Хабаровского края, Еврейской автономной области и Амурской области, в Дальневосточный региональный центр МЧС России, начальнику Дальневосточного УГМС и др.



космического мониторинга гидрологической обстановки на участке бассейна р. Амур в Хабаровском крае за 21 августа 2013 г.: а) спутниково-Гега™/MODIS, совмещенное с данными измерений на гидрологических постах; б) карта результатов совмещения затопленных площадей, вы ником изображении, с топографической картой масштаба 1 : 500000. Карту затопления поймы в соответствии с цветовой шкалой, под назначением населенного пункта приведены фактическое значение уровня воды (см) и изменение (см); на рисунке б: 1 — затопленные участки пойм рек; 2 — облачность.

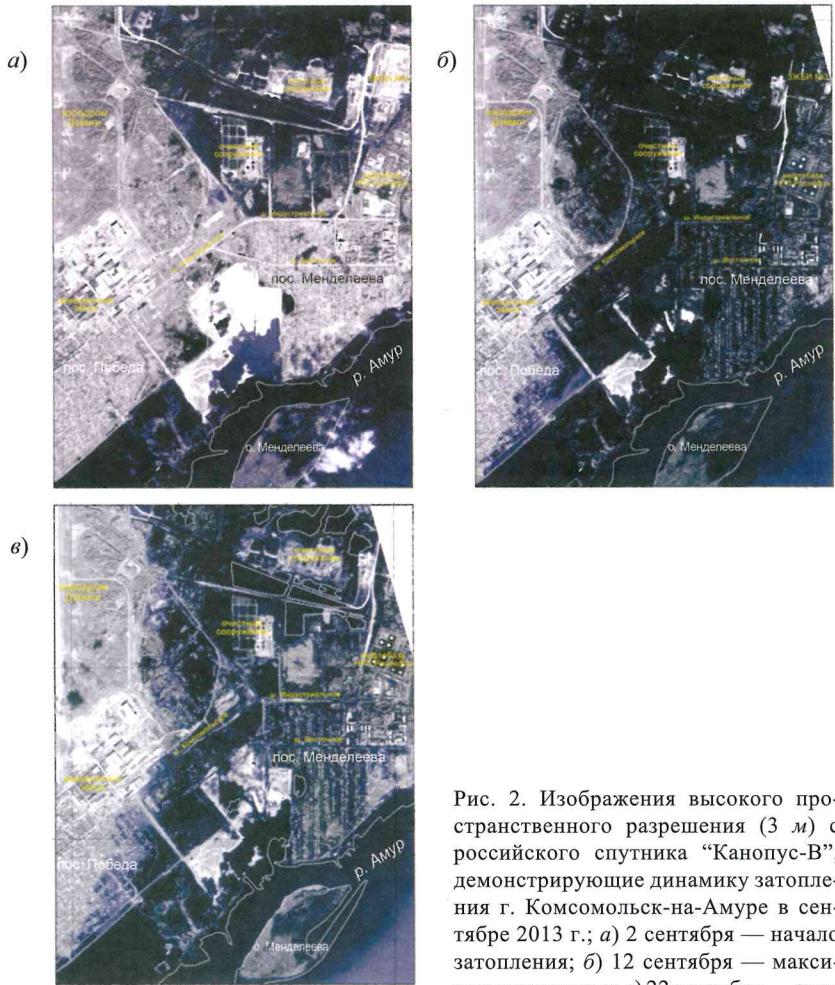


Рис. 2. Изображения высокого про странственного разрешения (3 м) с российского спутника “Канопус-В”, демонстрирующие динамику затопле ния г. Комсомольск-на-Амуре в сентябре 2013 г.: а) 2 сентября — начало затопления; б) 12 сентября — макси мум затопления; в) 22 сентября — спад затопления.

наводнений в бассейне р. Амур и раннего оповещения о них (“ГИС Амур”). Система основана на использовании информации гидрологических постов и метеорологических станций, данных расчетов и прогнозов гидрологической обстановки, спутниковых данных и продукции среднего и высокого пространственного разрешения. “ГИС Амур” является терри ториально-распределенной геоинформационной системой. Ее основные расчетные компоненты находятся в Гидрометцентре России, спутниковые данные в виде готовых веб-сервисов поставляют Европейский, Сибирский

В частности, на второй стороне обложки журнала представлено изображение высокого пространственного разрешения со спутника “Канопус-В” за 2 июля 2019 г., на котором отображена паводковая обстановка в среднем течении р. Ия в период экстремального наводнения в Иркутской области, приведшего к затоплению и частичному разрушению г. Тулун.

В технологиях обработки спутниковых данных, включающих выделение границ затопления, преимущественно используется российское программное обеспечение, в том числе [1, 8]. Спутниковая информационная продукция в виде карт затопленных территорий, а также в виде наборов геопривязанных спутниковых изображений среднего и высокого пространственного разрешения оперативно передается ФОИВ и ОИВ субъектов Российской Федерации, Минобороны России, МПР России, МЧС России и др.

Мониторинг пожарной обстановки. По данным Рослесхоза, ежегодно в России регистрируется 10—40 тысяч лесных пожаров, охватывающих площадь 0,5—2,5 млн. га. Только на тушение лесных пожаров в аномально жарком 2010 г. было затрачено 12 млрд. руб.

В НИЦ “Планета” на протяжении более 15 лет действует территориально-распределенная информационная система оперативного спутникового мониторинга лесных пожаров территории России, являющаяся составной частью “Информационной системы дистанционного мониторинга (ИСДМ) Рослесхоза” (совместная разработка НИЦ “Планета” и Института космических исследований РАН).

Система реализована на основе действующей в Росгидромете Государственной территориально-распределенной системы космического мониторинга в составе Европейского, Сибирского и Дальневосточного спутниковых центров НИЦ “Планета”, которые на регулярной основе осуществляют прием спутниковых данных, их обработку, оперативную подготовку карт пожарной обстановки по всей территории России, а также по ее отдельным регионам и особо охраняемым природным территориям.

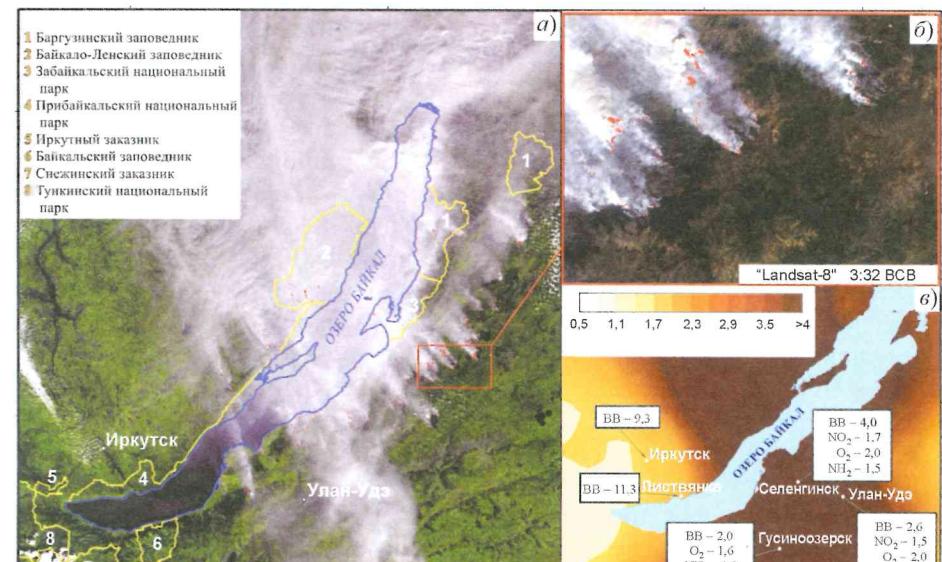
В настоящее время система использует информацию со спутников “Метеор-М”, “NOAA”, “Terra”, “Aqua” и “Suomi NPP”, что обеспечивает обновление данных о пожарной обстановке более 10 раз в сутки по любой территории России. Для уточнения площадей, пройденных огнем, используется информация высокого пространственного разрешения с зарубежных спутников “Landsat-8”, “Sentinel-2a” и “Sentinel-2b”, а также данные с российских космических аппаратов серий “Канопус-В”, “Ресурс-П”.

На основе спутниковой информации система мониторинга пожарной обстановки позволяет на регулярной основе получать ежедневные отчеты о действующих лесных пожарах, о ходе ликвидации крупных лесных пожаров, карточки возникших, действующих и ликвидированных крупных пожаров. Также формируются карты горимости лесов: очаги крупных лесных пожаров, число действующих лесных пожаров, число возникших лесных пожаров и прирост пройденной огнем площади за каждые сутки. Кро-

Спутниковая информационная продукция, получаемая в ходе мониторинга, в том числе данные о пожарах на особо охраняемых природных территориях, оперативно передается в Минприроды России (включая Ситуационный центр), Росгидромет (включая Ситуационный центр), Гидрометцентр России и региональные подразделения Росгидромета, Минобороны России, МЧС России, включая региональные подразделения субъектов Российской Федерации и др.

Ежегодно масштабные лесные пожары происходят в Сибирском и Дальневосточном регионах России. В частности, в летний период 2015 г. сильнейшие пожары охватили Байкальскую природную территорию (рис. 3). Они происходили на площади около 1,4 млн. га и нанесли непоправимый урон Баргузинскому, Байкало-Ленскому заповедникам, Прибайкальскому и Забайкальскому национальным паркам. Так, всего лишь за одни сутки (24 августа 2015 г.) по данным спутникового мониторинга в Иркутской области был зафиксирован 31 пожар, в Республике Бурятия — 61 пожар. В этот период подготовленная в Сибирском центре НИЦ “Планета” спутниковая информационная продукция (в виде оперативных донесений, координат очагов возгорания, направлений распространения пожаров, расстояний до ближайших населенных пунктов и др.) 4 раза в сутки оперативно направлялась в Сибирский региональный центр МЧС России для принятия мер по тушению пожаров [5].

Масштабные и продолжительные лесные пожары на Байкальской природной территории стали причиной загрязнения атмосферы продуктами горения. Отслеживание и картографирование полей аэрозолей, распространяющихся на тысячи километров, возможно только спутниковыми ме-



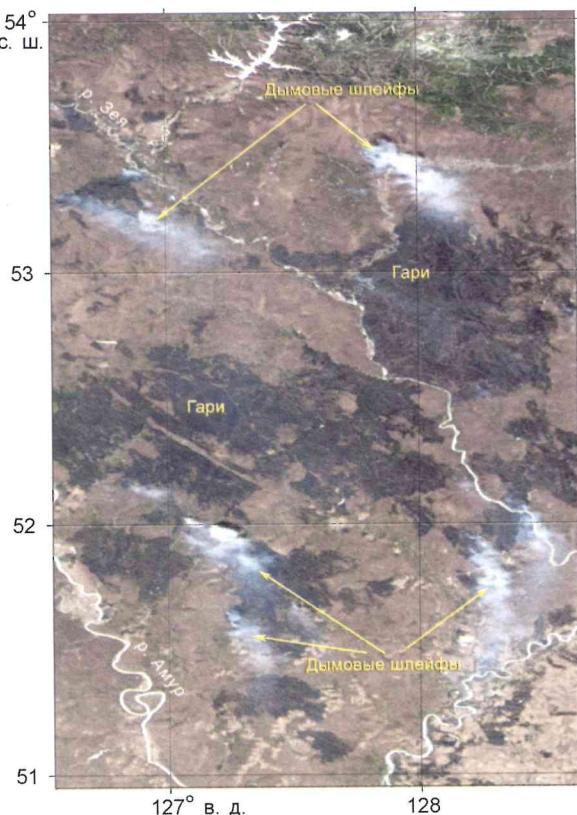


Рис. 4. Крупная гарь от лесных пожаров на территории Амурской области на спутниковом изображении “Terra”/MODIS за 14 апреля 2018 г.

шлейфами во время мониторинга пожарной обстановки по спутниковым данным высокого пространственного разрешения выявляются гары от лесных пожаров (рис. 4) и производится оценка их площади.

Мониторинг засух. Огромная территория России — около 100 млн. га в пределах 35 субъектов Российской Федерации — подвержена засухам. Прямой ущерб от засухи в 2010 г. составил 42 млрд. руб.

К основным видам спутниковой информационной продукции, используемой в НИЦ “Планета” для мониторинга засух, относятся данные спектрорадиометров AVHRR ИСЗ “NOAA-18”, “NOAA-19” и прибора VIIRS ИСЗ “Suomi NPP” и “NOAA-20”. При этом, с целью исключения или сведения к минимуму влияния облачности используются ежедекадные композитные изображения и цифровые массивы пяти спектральных каналов этих спектрорадиометров с нанесением масок сельскохозяйственных зе-

тодами. Аэрозольный индекс атмосферы определяется по спектральным контрастам в ультрафиолетовом диапазоне спектра. Благодаря повышенному пространственному разрешению (12 км) в надире, инструмент OMPS спутника “Suomi NPP” обеспечивает возможность обнаружения концентраций аэрозолей и наблюдения за их перемещением в атмосфере [13]. Сопоставление карт пожарной обстановки и карт распределения аэрозольного индекса атмосферы Байкальской природной территории, подготовленных по спутниковой информации, с данными наземных точечных измерений газовых составляющих атмосферного воздуха за 23 августа 2015 г. представлено на рис. 3.

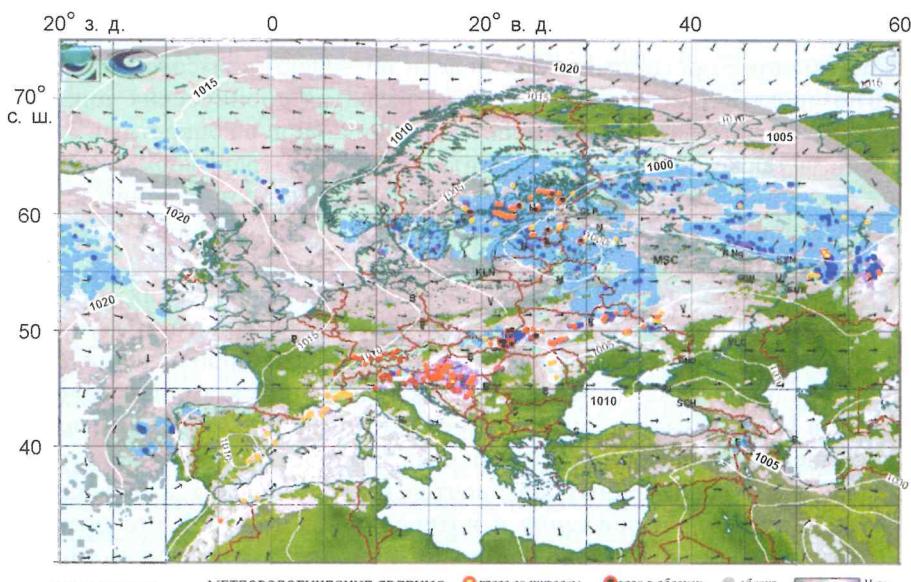
Наряду с очагами возгорания и дымовыми

значения используется для оценки не только засух, но и состояния сельскохозяйственных посевов [6].

Кроме того, для оценки засух в качестве дополнительной спутниковой информационной продукции, выпускаемой в НИЦ “Планета”, используются карты температуры поверхности суши, подготавливаемые на основе данных геостационарных спутников, а также карты относительной влажности почв, получаемые по данным скаттерометра ASCAT спутников серии “МЕТОР”.

Мониторинг метеорологических явлений. Карты метеорологических явлений (включая опасные явления) производятся в НИЦ “Планета” в реальном времени с периодичностью 15 мин по данным геостационарных спутников серии “Meteosat” с использованием результатов численного прогноза полей температуры и влажности атмосферы. Карты содержат информацию о метеорологических явлениях: грозах, шквалах, граде в облачах, осадках, возможной фазе осадков, облачности, вероятности гололеда, максимальной скорости приземного ветра при порывах, радиационной температуре на верхней границе облачности или подстилающей поверхности [3]. Пример карты метеорологических явлений для европейской части России приведен на рис. 5. Карты предоставляются в Московский центр автоматизированного управления воздушным движением для обеспечения безопасности полетов авиации, а также используются для уточнения прогноза опасных явлений погоды [7].

Мониторинг тропических циклонов. Среди опасных гидрометеорологических явлений в Мировом океане к наиболее значимым относятся тропические циклоны. Они обладают огромной энергией и при выходе на бе-



МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ФЕНОМЕНЫ. Гроза со шквалом. Град в облачках. Облачка. Насо

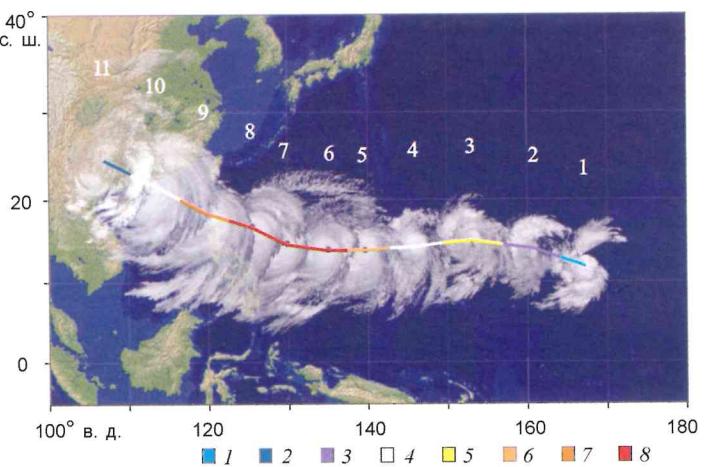


Рис. 6. Монтаж фрагментов изображений тропического циклона Мангхут на всех стадиях развития в период 7—9 сентября 2018 г. (снимки 1—11 с геостационарного спутника “Himawari-8”).

Стадии развития циклона: 1 — тропическое возмущение; 2 — тропическая депрессия; 3 — тропический шторм; 4—8 — ураган от I до V категории соответственно.

рег способны вызывать катастрофические разрушения. В последнее время отмечается усиление активности тропического циклогенеза во всех районах Северного полушария: по данным Гидрометцентра России, в 2018 г. здесь образовалось 73 циклона, т. е. на 28% больше средних многолетних значений (57,2).

Современные прогностические модели позволяют с высокой точностью спрогнозировать траекторию и стадию развития тропических циклонов, однако рассчитать параметры тропических циклонов в конкретный момент времени, а также детально проследить процесс их трансформации в циклоны внетропических широт, которые чаще оказывают влияние на Приморье, Сахалин и острова Курильской гряды, без материалов спутниковой съемки затруднительно.

С целью отслеживания траекторий движения тропических циклонов, проведения оценок их параметров, а также своевременного предупреждения органов исполнительной власти и населения о приближении тропических циклонов к важным инфраструктурным объектам и населенным пунктам в НИЦ “Планета” на регулярной основе с 2007 г. осуществляется их космический мониторинг. Для мощных тропических циклонов строятся монтажи из разновременных фрагментов их космических изображений с указанием траектории движения и интенсивности (рис. 6), что позволяет ежесуточно прослеживать эволюцию циклонов. По результатам монито-

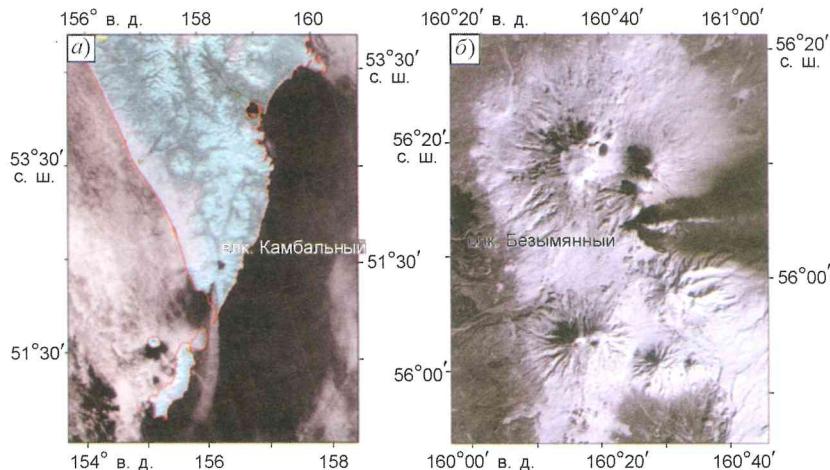


Рис. 7. Результаты космического мониторинга вулканической активности Камчатки: а) спутниковое изображение “Terra”/MODIS за 27 марта 2017 г. во время извержения вулкана Камбальный; б) спутниковое изображение “Ресурс-П”/КШМСА-ВР за 16 марта 2019 г. во время извержения вулкана Безымянnyй.

ческим пеплом и газами, поднимающимися до высоты 10 км над уровнем моря и более, относятся к опасным явлениям природы. На сегодняшний день наиболее активны вулканы Шивелуч, сохраняющий “высокий тонус” уже около 20 лет, Карымский, непрерывно извергающийся с 1996 г., Ключевской с периодом активности 3—5 лет.

Последние годы были относительно спокойными в плане активности вулканов, хотя некоторые извержения были впечатляющими: например, извержение вулкана Камбальный 25—27 марта 2017 г., когда высота выброса пепла составила до 8 км над уровнем моря (рис. 7а). До этого Камбальный “спал” более 200 лет: по данным Камчатского научного центра ДВО РАН, последнее известное извержение отмечено в 1769 г. 16 марта 2019 г. произошло взрывное извержение вулкана Безымянnyй — самого непредсказуемого вулкана Камчатки. Столб пепла поднялся на высоту до 15 км над уровнем моря, а шлейф, протянувшись на восток в сторону Камчатского залива, достиг Командорских о-вов (рис. 7б).

По данным спутниковой съемки, осуществляемой в НИЦ “Планета”, определяются тепловые аномалии в районе кратеров вулканов и положение шлейфов от пепловых выбросов и парогазовой деятельности, а по спутниковым данным высокого пространственного разрешения оцениваются изменения в структуре кратеров вулканов после извержений. Также в последнее время в НИЦ “Планета” активно развиваются технологии, позволяющие получать по спутниковым данным массовые и микрофизические параметры вулканического пепла: концентрацию, оптическую толщину и эффективный радиус частиц, оказывающие значительное влияние на

Анализ спутниковых данных района чрезвычайной ситуации, проведенный в НИЦ “Планета”, позволил оценить ландшафтные изменения территории, покрытой оползнем, в том числе лесного покрова, отслеживать водные пространства р. Бурея до и после схода оползня, а также уточнить дату и время схода скальных пород.

В связи с неуклонным ростом перепада уровня воды до и после завала, а также из-за угрозы затопления населенных пунктов выше по течению реки было принято решение о частичной расчистке насыпи и о формировании в ней прорана. Проведенные взрывные работы позволили частично освободить русло Буреи и возобновить приток воды в водохранилище. В период устройства прорана выпускались карты комплексного анализа спутниковых данных высокого пространственного разрешения, проводились наблюдения за устройством прорана и оценка его линейных размеров (рис. 8).

В настоящее время основное тело оползня (более 98% его объема) продолжает оставаться в русле реки, что, безусловно, требует постоянного мониторинга не только за зоной схода оползня, но и участков реки выше по течению.

Космический мониторинг загрязнения водной среды

Загрязнение водной среды — серьезная экологическая проблема, требующая регулярных спутниковых наблюдений. Особого внимания требуют водоемы, расположенные вблизи крупных населенных пунктов и промышленных объектов, в связи с оказываемой на них высокой антропогенной нагрузкой. Примером таких водоемов служат оз. Умыкий и мелкие озера вблизи него (Забайкальский край). На побережье оз. Умыкий расположено Приаргунское производственное горно-химическое объединение (ППГХО), осуществляющее сброс сточных и дренажных вод. Независимый радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения ППГХО выявил существенное радиоактивное загрязнение объектов природной среды и питьевой воды. Еще одним источником загрязнения являются сбросы бытовых и промышленных стоков г. Краснокаменск [12].

Мониторинг экологической ситуации на оз. Умыкий по спутниковым снимкам среднего пространственного разрешения (“Landsat-8”/OLI) указывает на высокую пространственную неоднородность водной среды. В частности, на спутниковом снимке за 17 октября 2013 г. выявлена протяженная неоднородная структура в водоеме (рис. 9а). Для качественного анализа был рассчитан нормализованный водный индекс NDWI и составлена карта относительного загрязнения с дискретной цветовой шкалой: значения выше нуля соответствуют условно чистой воде, ниже нуля — разной степени мутности (рис. 9б). О техногенном происхождении обнаруженной неоднородности говорит карта распределения температуры поверхности воды (рис. 9в), полученная по данным ИК-диапазона. На карте отчетливо видна температурная аномалия характерной формы и место попадания стоков в озеро на северо-восточном берегу.



Рис. 8. Результаты космического мониторинга зоны схода оползня в р. Бурея: а) спутниковое изображение ИСЗ “Sentinel-2а” за 13 мая 2019 г.; б) результаты обработки спутниковых данных участка русла р. Бурея до и после обрушения в нее оползня.

1 — русло реки за 20 октября 2018 г.; 2, 3 — границы насыпи на 3 и 11 мая 2019 г. соответственно; 4 — появившаяся часть русла реки после 20 октября 2018 г.; 5 — вода со взвесями; 6 — дрейфующий лед.

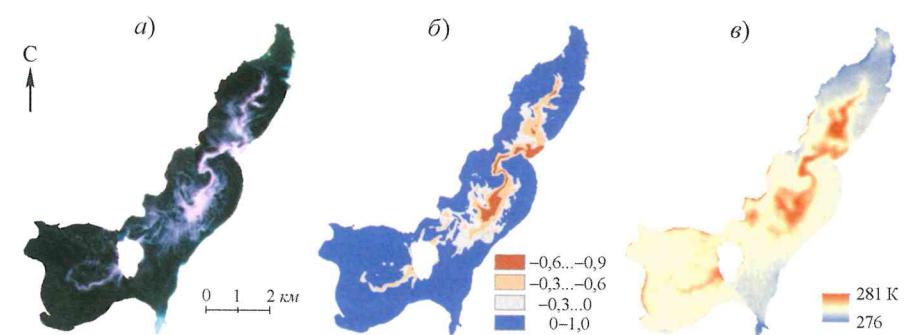


Рис. 9. Результаты космического мониторинга оз. Умыкий в Забайкальском крае: а) спутниковое изображение водной среды озера со спутника “Landsat-8”/OLI за 17 октября 2013 г.; б) карта нормализованного водного индекса (NDWI); в) карта температуры водной поверхности.

Заключение

Для решения задач космического мониторинга опасных природных явлений на территории России в НИЦ “Планета” созданы и развиваются технологии приема и обработки данных российских и зарубежных космических аппаратов, а также картографирование по спутниковым данным затоплений речных пойм, пожарной обстановки, метеорологических и агро-

Литература

1. Антонов В. Н., Новгородцева О. Г. Мониторинг и картографирование паводковой ситуации в Сибирском федеральном округе. — Образовательные ресурсы и технологии, 2014, № 8, с. 81—86.
2. Асмус В. В., Загребаев В. А., Кровотынцев В. А., Милехин О. Е., Соловьев В. И., Успенский А. Б. Подсистема спутниковых наблюдений Росгидромета. /В сб.: Труды VI Всероссийского метеорологического съезда (г. Санкт-Петербург, 14—16 октября 2009 г.). — СПб., 2011, с. 49—64.
3. Бухаров М. В., Кухарский А. В., Мисник Л. А. Автоматизированное рабочее место “Планета-метеообзор” для мониторинга опасных атмосферных явлений, связанных с конвективной облачностью. — Метеорология и гидрология, 2008, № 2, с. 64—69.
4. Верягин В. Ю., Иоффе Г. М., Воронин А. А. Космический мониторинг тропических циклонов. — Гидрометеорологические исследования и прогнозы, 2018, № 3 (369), с. 23—32.
5. Завьялова Д. Ю. Оперативный мониторинг пожароопасной обстановки в СФО. /В сб.: Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Сборник трудов Всероссийской конференции (24—28 августа 2015 г., с. Усть-Сема, Республика Алтай). — Новосибирск, ИВТ СО РАН, 2015, с. 209—213.
6. Клещенко А. Д., Вирченко О. В., Кровотынцев В. А., Василенко Е. В. Мониторинг состояния сельскохозяйственных посевов и условий их развития с использованием спутниковых данных. /В сб.: Тезисы докладов на Всероссийской конференции с международным участием “Применение космических технологий для развития арктических регионов”, г. Архангельск, 17—19 сентября 2013 г., с. 52—54.
7. Применение спутниковой информации для решения задач в области гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды. /Под ред. В. В. Асмуза. — М., НИЦ “Планета”, 2017, 47 с.; <https://planet.iitp.ru>.
8. Рылов С. А., Новгородцева О. Г., Песцов И. А., Дубровская О. А., Синявский Ю. Н. Технология обработки данных с космических аппаратов “Канопус-В”, “Ресурс-П” и “Метеор-М” для мониторинга картографирования паводковой ситуации. /В сб.: Материалы II Международной научно-конференции “Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли”. — Красноярск, СФУ, 2015, с. 207—212.
9. Филей А. А., Рублев А. Н., Киселев Ю. В. Определение параметров вулканического пепла по спутниковым данным. /В сб.: Информационные технологии и высокопроизводительные вычисления: материалы III Всероссийской научно-практической конференции, Хабаровск, 30 июня — 4 июля 2015 г., с. 182—184.
10. Фролов А. В., Асмус В. В., Борщ С. В., Вильфанд Р. М., Жабина И. И., Затягальва В. В., Кровотынцев В. А., Кудрявцева О. И., Леонтьева Е. А., Симонов Ю. А., Степанов Ю. А. “ТИС Амур”: система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях. — Метеорология и гидрология, 2016, № 3, с. 5—21.
11. Фролов А. В., Георгиевский Ю. В. Экстремальный паводок 2013 года в бассейне реки Амур. /В сб.: Экстремальные паводки в бассейне р. Амур: причины, прогнозы, рекомендации. — М., Росгидромет, 2014, с. 5—39.
12. Шандала Н. К., Титов А. В., Киселев С. М., Серегин В. А., Исаев Д. В., Семенова М. П. Радиационно-гигиенический мониторинг в районе расположения Приаргунского производственного горно-химического объединения. — Саратовский научно-медицинский журнал, 2013, т. 9, № 4, с. 824—827.
13. Ahmad S. P., Torres O., Bhartia P. K., Leptoukh G., and Kempler S. Aerosol Index from TOMS and OMI Measurements. — Greenbelt, MD Greenbel, MD 20771, USA, NASA Goddard Spase Flight Center, <https://pdfs.semanticscholar.org>.