

## О роли космической составляющей системы мониторинга чрезвычайных ситуаций

*Акимов В. А., д.т.н., ЦСИ ГЗ МЧС России,  
Резников В. М., к.т.н., ВНИИ ГОЧС*

В начале обсуждения определимся с понятиями, используемыми в дальнейшем.

В задачи мониторинга входят: прогноз, обнаружение, контроль ситуации и прогноз ее развития, оценка масштабов ее последствий.

Под эффективностью будем понимать вероятность получения космической информации (КИ), требуемой для решения перечисленных задач качества по оперативности и достоверности. Такое качество, как объективность изначально присуще КИ и не обсуждается. Требования по оперативности определяют необходимый минимальный период обновления информации. Требования по достоверности определяют необходимые значения пространственного разрешения. Для космических аппаратов эти требования находятся в противоречии, их соотношение целиком определяет эффективность мониторинга. Остальные характеристики информации, такие как спектральное разрешение, возможность измерения рентгеновского, электромагнитного излучения и пр. зависят от характеристик аппаратуры оснащения космических аппаратов (КА), т.е. от достигнутого уровня техники. Эта аппаратура постоянно совершенствуется, повышая качество космической информации, но надежда на смягчение указанного противоречия в обозримом будущем не имеет основания.

Имеется только две принципиальных возможности получения информации высокого и детального разрешения с обновлением менее часа: наращивание группировки однотипных, специализированных малых космических аппаратов до нескольких десятков или разработка съемочной аппаратуры, обеспечивающей высокое пространственное разрешение при установке на геостационарном спутнике. Поскольку научно-технических предпосылок к реализации второго пути нет, а наращивание группировки не имеет принципиальных ограничений – было бы финансирование, то сравнение с системой космического мониторинга МЧС России с характеристиками, соответствующими программе ее развития до 2010 года и обеспечивающими прием информации от ряда зарубежных КА, с гипотетической системой мониторинга, получающей информацию от 30 – 40 отечественных КА в 2025-30 годах. Такое сравнение может показать целесообразность наращивания группировки без резкого повышения качества аппаратуры наблюдения.

Оценку эффективности системы космического мониторинга будем проводить в такой последовательности:

- определение типов и масштабов ЧС, мониторинг которых целесообразно вести с помощью космических средств. Причиной космического мониторинга может служить отсутствие других возможностей или явное преимущество дистанционного зондирования перед другими способами для конкретной задачи и конкретного типа ЧС;
- определение задачи, решение которой целесообразно проводить с помощью космической информации;
- определение требований к пространственному разрешению в соответствии с типом ЧС;
- определение требований к темпу обновления информации в соответствии с динамикой развития ЧС;
- определение вероятности достижения заданных требований до 2010 года;
- определение зависимости вероятности достижения заданного уровня от величины группировки.

Два типа ЧС нуждаются в космическом мониторинге:

- ЧС, масштаб которых соответствует дальности наблюдения;
- ЧС, непредсказуемость появления которых, исключает применение наземных средств.

Рассмотрим задачи, решение которых целесообразно проводить с использованием космической информации.

Наиболее эффективной мерой, с точки зрения снижения рисков ЧС, является их прогноз - долгосрочный, среднесрочный и краткосрочный. Долгосрочный прогноз делается «на кончике пера».

Среднесрочный прогноз некоторых типов природных ЧС (весенние паводки, вероятность лесных пожаров, район готовящегося землетрясения, состояние пульсирующего ледника) возможен средствами дистанционного зондирования. Кроме МЧС России такие прогнозы проводятся службами Гидромета, в том числе по космической информации. Целесообразность собственного прогноза по КИ, получаемой системой космического мониторинга МЧС (СКМ ЧС) может быть оправдана повышением оперативности за счет снижения качества.

Более оправданным, из-за высокой оперативности, является краткосрочный прогноз движения тайфунов, цунами, развития паводковой и пожарной обстановки. Краткосрочный прогноз землетрясений по данным космического мониторинга обладает наивысшей эффективностью, однако система такого мониторинга находится в стадии набора статистики и поиска структуры, которая могла бы обеспечить необходимую оперативность. По данным космического мониторинга возможен прогноз природно-техногенных ЧС, т.е. техногенных катастроф, причиной которых может явиться природная ЧС - авария на потенциально опасных объектах. Прогноз техногенных ЧС бессмысленен в своей постановке и обсуждению не подлежит.

Обнаружение любых ЧС по космической информации оправдано при условии обеспечения требуемой оперативности, т.е. при условии невозможности своевременного обнаружения наземными средствами и при соответствии периода обновления информации динамике развития ситуации.

Оценка масштабов последствий ЧС по космическим данным вполне оправдана как по оперативности, так и по объективности. Такая оценка реально проводится по данным СКМ ЧС.

К пространственному и временному разрешению КИ предъявляются аналогичные требования для решения задач обнаружения, контроля состояния и прогноза развития ситуации. Решение именно этих задач по космической информации представляется наиболее перспективным и, следовательно, подлежащим анализу. К таким задачам относятся:

- мониторинг природных пожаров, их обнаружение, контроль, прогноз развития и оценка масштабов;
- оценка ледовой обстановки, выявление ледовых заторов и контроль состояния пульсирующих ледников;
- обнаружение транспортных аварий, в том числе на продуктопроводах;
- контроль и прогноз развития паводков;
- краткосрочный прогноз землетрясений.

Все перечисленные задачи могут решаться средствами космического мониторинга. Однако для них, хотя и в разной степени, одновременно требуется высокое пространственное и временное разрешение.

В настоящей статье игнорируется фактическое отсутствие отечественных космических аппаратов ДЗЗ (планируется один «Ресурс-П» и в разработке два аппарата «Канопус-В») как и необходимость приобретения зарубежных лицензий на съемку с предварительным заказом за несколько недель. Стоимость лицензий и каждого снимка исчисляется в тысячах долларов (евро). Рассматривается только принципиальный во-

прос – для решения, каких из перечисленных задач достаточно периода обновления информации, и какое наращивание группировки КА необходимо для решения всех.

Для сохранения общности методологии задачу будем решать с помощью теории массового обслуживания, рассматривая два потока источников космической информации. Общий поток, прореженный станцией приема и обработки и поток источников (КА) над районом предполагаемой или имеющей место ЧС.

При решении обеих задач будет находиться верхняя оценка вероятности.

Для начала необходимо оценить теоретическую (максимальную) зону видимости КА, высота орбит которых находится в пределах 600 – 700 км при средних углах закрытия  $\alpha = 10^0$ . Поскольку все спутники ДЗЗ имеют приполярные орбиты, целесообразно описывать зону видимости КА в координатах долготы  $\gamma$  и широты  $\beta$ . Очевидно, что размер зоны в этих координатах зависит от места расположения станции приема  $\beta_0$ . Связь отклонений по широте  $\delta_\beta$  и долготе  $\delta_\gamma$ , от точки стояния станции, определяющая границы зоны, описывается формулой:

$$\delta_\gamma = \arctan \left[ (\sin(\beta_0 - \delta_\beta) \frac{\sqrt{\sin^2(c) - \sin^2(\delta_\beta)}}{\cos(c)} \right], \quad (1)$$

где  $c$  – максимальное угловое расстояние до границы зоны, для орбит с высотой 600 – 700 км это расстояние может быть принято  $17^0$ .

Используя приведенное соотношение можно определить среднюю длину пути прохождения КА зоны вдоль меридиана, т.е. среднее время его нахождения в зоне видимости станции. Для КА с орбитальным периодом 100 мин среднее время нахождения в зоне составляет 7,3 мин, т.е. около 0,12 часа. Приведенные расчеты потребовались для оценки вероятности пропуска КА при загруженности станции работой с предыдущим аппаратом. Для оценки вероятности пропуска применим аппарат теории массового обслуживания.

Рассмотрим аппаратно-приемный комплекс приема и обработки космической информации как одноканальную СМО с отказами и средним временем обслуживания  $1/\mu = 0,12$  часа.

Определим плотность входного потока. В настоящее время станции УниСкан, которыми оборудуются пункты приема КИ системы космического мониторинга чрезвычайных ситуаций МЧС России, способны принимать информацию высокого разрешения от десятка КА: отечественные Метеор-3М, Монитор (оба пока не работают) и зарубежных EOS, IRS-1C/1D, IRS-P6, EROS, SPOT, RADARSAT. В основном, период обновления информации – раз в 5 суток для средних широт. Исключение составляют КА EOS с обновлением до 3-х раз в сутки и IRS – до 25 суток. Однако большое число этих спутников на орбитах с лихвой компенсируют низкую «оборачиваемость» каждого, что позволяет включить их в расчет «на общих основаниях». КА Terra и Aqua (серии EOS) не дают информации высокого разрешения, но загружают станцию и должны быть исключены из выходного потока, в соответствии с долей вклада в величину потока.

При прохождении через зону приема 6 КА в сутки (половину этого количества составляют КА EOS) плотность входного потока составляет  $\lambda = 0,25/\text{час}$

Выходной поток  $\nu$  определяется для одноканальной СМО как:

$$\nu = \mu\lambda/(\mu + \lambda) = 0,195, \quad (2)$$

т.е. при столь малой плотности входного потока время обслуживания практически не влияет на вероятность пропуска (плотность потока снижается всего на 2,5%) и может не учитываться при оценке вероятности получения необходимой информации высокого разрешения.

Принимая во внимание нерегулярность поступления информации от КА принадлежащих различным государствам можно считать их поток пуассоновским. Тогда

оценка вероятности получения информации за время  $t$ , меньшее требуемого определится формулой:

$$P = 1 - \exp(-t \lambda) . \quad (3)$$

Для задач, не требующих высокой оперативности, время целесообразно считать в сутках. Тогда формула вероятности будет выглядеть:

$$P = 1 - \exp(-2t) . \quad (4)$$

Для ЧС связанных с возможностью людских потерь и требующих высокой оперативности время исчисляется в часах и вероятность принимает вид:

$$P = 1 - \exp(-0,08t) . \quad (5)$$

Вероятность получения информации не реже 2-х раз в сутки может быть оценена как  $p = 0,63$ . Вероятность получения информации не позже 1 часа как  $p = 0,08$ , что вряд ли приемлемо.

Таким образом, можно сделать следующий вывод о влиянии информации, получаемой СКМ ЧС, на эффективность снижения рисков чрезвычайных ситуаций:

- космическая информация высокого разрешения может быть использована при оценке последствий природных чрезвычайных ситуаций и контроле медленно развивающихся процессов;

- использование этой информации контроля динамичных процессов и ликвидации ЧС, связанных с индивидуальным риском, даже без учета практического отсутствия отечественных КА и необходимости предварительного заказа снимков высокого разрешения (что делает бессмысленной саму постановку задачи мониторинга) не может способствовать повышению эффективности проведения аварийно-спасательных работ.

Космический мониторинг динамичных природных, техногенных и природно-техногенных ЧС может иметь место при увеличении на порядки числа КА, находящихся на орбитах, и при соответствующих международных соглашениях, открывающих возможность получения информации без записи, непосредственно в процессе съемки.

При этом экономическая целесообразность такого пути по сравнению с имеющимися альтернативами должна быть оценена отдельно.