

## Методологические аспекты создания сервисов многоцелевой аэрокосмической системы прогнозного мониторинга чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

**О. А. Алексеев**, *д. т. н., профессор, centr31@spacecorp.ru*

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**В. Б. Серебряков**, *centr31@spacecorp.ru*

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**П. А. Тищенко**, *centr31@spacecorp.ru*

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**Н. В. Разумова**, *к. г. н., доцент, centr31@spacecorp.ru*

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**А. Д. Линьков**, *centr31@spacecorp.ru*

*АО «Российские космические системы», Москва, Российская Федерация*

**Аннотация.** Рассмотрены научно-методические и научно-технические аспекты создания основных элементов Многоцелевой аэрокосмической системы прогнозного мониторинга (МАКСМ) чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера на территории России и стран СНГ в виде ее информационных сервисов мониторинга и прогнозирования ЧС. Рассмотрено проводимое в МАКСМ многоэтапное информационное преобразование мониторинговых сигналов в прогнозы ЧС. Предложен состав векторов прогнозов ЧС, формируемых в сервисах МАКСМ. Определены условия, обеспечивающие своевременность и качество прогнозов. Предложена обобщенная функциональная структура МАКСМ, реализующая решение целевых задач мониторинга и прогнозирования сильных землетрясений, наводнений, природных пожаров и техногенных катастроф, а также решение задач управления элементами системы и обеспечения их функционирования. Предложена техническая структура МАКСМ, отражающая взаимодействие целевых аппаратно-программных комплексов сервисов с остальными элементами системы. Показано место сервисов в системе и взаимодействие их с другими элементами. Определена роль сервисов МАКСМ в проводимых в системе преобразованиях мониторинговой информации. Сформулированы основные целевые задачи сервисов МАКСМ. Рассмотрен состав информационного ресурса, используемого сервисами МАКСМ для решения задач по назначению, перечислены возможные источники мониторинговых данных. Определен функционал сервисов, обеспечивающий интеграцию в них доступных информационных ресурсов при взаимодействии с источниками мониторинговых данных и потребителями прогнозной информации, при решении задач тематической обработки мониторинговой информации, при решении управляющих и обеспечивающих задач. Обозначен состав средств сервисов МАКСМ, необходимых для реализации универсального и гибкого функционала формирования запросов к данным из внешних источников, структурирования и систематизации получаемых пространственных данных, их загрузки и наглядного отображения.

**Ключевые слова:** Многоцелевая аэрокосмическая система мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, сервис МАКСМ, интеграционный функционал

## Methodological Aspects of Creating the Services of the Multipurpose Aerospace Forecasting System for Natural and Anthropogenic Emergencies

**O. A. Alekseev**, *Dr. Sci. (Engineering), Prof., centr31@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**V. B. Serebryakov**, *centr31@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**P. A. Tishchenko**, *centr31@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**N. V. Razumova**, *Cand. Sci. (Geography), associate Prof., centr31@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**A. D. Lin'kov**, *centr31@spacecorp.ru*  
*Joint Stock Company "Russian Space Systems", Moscow, Russian Federation*

**Abstract.** The article considers the scientific, methodological and engineering aspects of creating the basic elements of the Multipurpose Aerospace Forecast Monitoring System (MAFMS) for natural and anthropogenic emergencies in Russia and the CIS countries in the form of its information services for emergency monitoring and forecasting. The multi-stage information conversion of monitoring signals into emergency forecasts conducted at the MAFMS is considered. The composition of emergency forecast vectors generated by the MAFMS services is proposed. The conditions ensuring the timeliness and quality of forecasts are determined. The generalized functional structure of the MAFMS is proposed, which implements the solution of the objectives of monitoring and forecasting strong earthquakes, floods, natural fires and technological disasters, as well as solving the problems of controlling the elements of the system and ensuring their functioning. Proposed is the MAFMS technical structure, which reflects the interaction of target hardware and software systems of services with other elements of the system. The place of services in the system and their interaction with other elements is shown. The role of MAFMS services in the monitoring of the information transformation carried out in the system is determined. The main goals of the MAFMS services are formulated. The composition of the information resource used by the MAFMS services for solving objectives for the intended purpose is considered, possible sources of monitoring data are listed. Determined are the functional capabilities of the services, which ensure the integration of accessible information resources in them when interacting with sources of monitoring data and consumers of predictive information, when solving problems of thematic processing of monitoring information, when solving managing and supporting tasks. The composition of the MAFMS services necessary for the implementation of a universal and flexible functionality for generating queries to data from external sources, structuring and systematization of the spatial data received, their loading and visual display is indicated.

**Keywords:** Multi-purpose aerospace emergency monitoring and forecasting system, MAFMS service, integration functionality

## Введение

Работы по созданию в России системы МАКСМ ведутся с начала XXI века. Первоначальное видение МАКСМ как международной (в широком смысле этого слова) системы [1–3] в силу ряда причин, в том числе и международного характера, трансформировалось, изменился и первоначальный состав решаемых системой задач. В настоящее время МАКСМ рассматривается как Многоцелевая аэрокосмическая система прогнозного мониторинга чрезвычайных ситуаций (ЧС) природного и техногенного характера на территории России и стран СНГ. В первую очередь МАКСМ нацелена на мониторинг и прогнозирование наиболее опасных и распространенных на территории России и стран СНГ природных ЧС: сильных (с магнитудой  $M \geq 6$ ) землетрясений, наводнений, природных пожаров, а также техногенных катастроф в виде смещений и разрушений сложных инженерных сооружений. Помимо России в создании элементов МАКСМ принимают участие Беларусь, Армения и Казахстан.

Обоснован космический сегмент МАКСМ (привлекаемые системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), радионавигационные системы, системы информационного обмена и связи), играющий, в силу глобального и оперативного характера действия космических средств, ведущую роль в мониторинге предвестников ЧС и обмене мониторинговой информацией [2, 4].

Основными объектами рассмотрения на современном этапе создания МАКСМ становятся информационные сервисы мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера [5]. Сервисы осуществляют обработку мониторинговой информации и формирование прогнозов ЧС. Проблематика построения сервисов обусловлена разнообразием подходов к их разработке, большой разнообразностью используемых ими мониторинговых данных, неполным учетом в существующих сервисах требований потребителей мониторинговой и прогнозной информации к информационным продуктам в условиях цифровой ориентации развития экономики России и стран СНГ.

В статье рассматриваются научно-методические и научно-технические аспекты построения

сервисов мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера с учетом их места и роли в составе МАКСМ.

## Основные информационные преобразования в МАКСМ

Для определения места и роли информационных сервисов в составе МАКСМ рассмотрим основные этапы преобразования исходной мониторинговой информации о предвестниках ЧС в прогнозы ЧС.

Результаты функционирования МАКСМ отобразим вектором прогнозов ЧС  $\Pi(t + \tau_\Phi)$ :

$$\begin{aligned} \Pi^T(t + \tau_\Phi) &= \\ &= (\tilde{G}^T(t_\Pi, r_\Pi, t + \tau_\Phi), T_\Pi(t + \tau_\Phi), R_\Pi^T(t + \tau_\Phi), \dots, \\ &\quad \dots, p_l(t + \tau_\Phi) \dots), \end{aligned}$$

где  $t$  — время, принадлежащее временному интервалу наблюдений предвестников ЧС;

$\tau_\Phi$  — интервал времени от начала наблюдений до момента формирования прогноза ЧС;

$\tilde{G}(t_\Pi, r_\Pi, t + \tau_\Phi) = G(t_G, \tau_G) + \varepsilon(t + \tau_\Phi)$  — вектор параметров прогнозируемой ЧС (например, один из параметров — магнитуда сильного землетрясения), являющихся функциями времени  $t_\Pi$ , принадлежащего прогнозируемому временному интервалу ЧС  $T_\Pi(t + \tau_\Phi)$ ,  $t_\Pi \in T_\Pi = \overline{t_{\text{НП}}, t_{\text{КП}}}$ ;  $t_{\text{НП}}$ ,  $t_{\text{КП}}$  — соответственно прогнозируемые моменты времени начала и окончания ЧС и вектора координат  $r_\Pi^T = (x_\Pi, y_\Pi, z_\Pi)$ , принадлежащего прогнозируемой пространственной области ЧС  $R_\Pi(t + \tau_\Pi)$ ,  $r_\Pi \in R_\Pi^T = (R_{X\Pi}, R_{Y\Pi}, R_{Z\Pi})$ ,  $R_{X\Pi} = \overline{x_{\text{min}\Pi}, x_{\text{max}\Pi}}$ ,  $R_{Y\Pi} = \overline{y_{\text{min}\Pi}, y_{\text{max}\Pi}}$ ,  $R_{Z\Pi} = \overline{z_{\text{min}\Pi}, z_{\text{max}\Pi}}$ ;

$G(t_G, \tau_G)$  — вектор истинных, но неизвестных значений параметров ЧС, являющихся функциями времени  $t_G$ , принадлежащего временному интервалу ЧС  $T_G$ :  $t_G \in T_G = \overline{t_{\text{HG}}, t_{\text{KG}}}$ ,  $t_{\text{HG}}$ ,  $t_{\text{KG}}$  — соответственно истинные, но неизвестные моменты времени начала и окончания ЧС и вектора координат  $r_G^T = (x_G, y_G, z_G)$ , принадлежащего пространственной области  $R_G$  с истинными, но неизвестными значениями параметров  $r_G \in R_G^T = (R_{XG}, R_{YG}, R_{ZG})$ ;

$R_{XG} = \overline{x_{\min G}, x_{\max G}}$ ,  $R_{YG} = \overline{y_{\min G}, y_{\max G}}$ ,  $R_{ZG} = \overline{z_{\min G}, z_{\max G}}$ . Значения параметров природных и техногенных процессов  $G(t_G, r_G)$  для моментов времени  $t_G$  и вектора координат  $r_G$  приобретают такие критические значения, что делают ситуацию чрезвычайной;

$\varepsilon_G(t + \tau_\Phi)$  — вектор погрешностей параметров прогнозируемой ЧС;

$p_l(t + \tau_\Phi)$  —  $l$ -й параметр оценки качества прогноза,  $l \in m_p$ , где  $m_p$  — число используемых параметров, примерами которых являются оценки вероятностей оправдываемости прогноза по параметрам ЧС, по составляющим временного интервала и пространственной области проявления ЧС;

$T$  — индекс операции транспонирования.

Сформированные в МАКСМ прогнозы ЧС служат основой для принятия решений  $U(t + \tau_U)$  органами исполнительной власти федерального, регионального и местного уровней по предупреждению населения о ЧС и проведению необходимых мероприятий:

$$\Pi(t + \tau_\Phi) \rightarrow U(t + \tau_U), \quad (1)$$

где  $\tau_U$  — интервал времени от начала наблюдений предвестников ЧС до момента завершения мероприятий по предотвращению возможных негативных последствий ЧС.

Своевременность прогнозирования и проведения мероприятий по предотвращению негативных последствий ЧС достигается при условии

$$t + \tau_\Phi < t + \tau_U < t_{HG}. \quad (2)$$

Высокое качество прогноза определяется следующими условиями:

$$\left\| \tilde{G}(t_\Pi, r_\Pi, t + \tau_\Phi) - G(t_G, r_G) \right\| \leq \varepsilon_{\Pi Д}(t + \tau_\Phi), \quad (3)$$

$$T_\Pi \supset T_G, \quad R_\Pi \supset R_G.$$

Здесь  $\varepsilon_{\Pi Д}(t + \tau_\Phi)$  — допустимое значение обобщенной погрешности сформированных при прогнозе оценок параметров ЧС;

$\| \cdot \|$  — выбранная норма разности вектора оценок параметров  $\tilde{G}(t_\Pi, r_\Pi, t + \tau_\Phi)$  прогнозируемой ЧС и вектора истинных значений параметров  $G(t_G, r_G)$  ЧС.

Исходная информация для формирования прогнозов ЧС содержится в параметрах мониторинговых

сигналов, излучаемых, отражаемых, пропускаемых или формируемых объектами мониторинга природного (участки поверхности Земли, области ее тропосферы, ионосферы, магнитосферы) и техногенного (сложные инженерные сооружения и др.) характера. Таким образом, для поддержки принятия решений (1) в системе МАКСМ реализуется многоэтапное обобщенное информационное преобразование:

$$\begin{array}{ccc} S(t, r_S) & & N(t, r_Q) \\ \downarrow & & \downarrow \\ Q(G(t_G, r_G), t, r_Q) & \rightarrow & \tilde{S}_{\text{ПРМ}}(\Lambda, t, r_Q) \rightarrow \\ \rightarrow & \tilde{\Lambda}(Q, t + \tau_\Lambda, r_Q) \rightarrow & \tilde{Q}(G, t + \tau_Q, r_Q) \rightarrow \Pi(t + \tau_\Phi), \end{array} \quad (4)$$

где  $Q(G(t_G, r_G), t, r_Q)$  — вектор наблюдаемых параметров предвестников ЧС, зависящих от вектора параметров  $G(t_G, r_G)$  готовящейся ЧС; времени  $t$ , принадлежащего временному интервалу наблюдения предвестников ЧС  $T_Q$ ,  $t \in T_Q = [t_{HQ}, t_{KQ}]$ ,  $t_{HQ}$ ,  $t_{KQ}$  — соответственно моменты времени начала и окончания наблюдения предвестников ЧС; вектора координат  $r_Q^T = (x_Q, y_Q, z_Q)$ , принадлежащего пространственной области  $R_Q$  наблюдения предвестников ЧС,  $r_Q \in R_Q^T = (R_{XQ}, R_{YQ}, R_{ZQ})$ ,  $R_{XQ} = \overline{x_{\min Q}, x_{\max Q}}$ ,  $R_{YQ} = \overline{y_{\min Q}, y_{\max Q}}$ ,  $R_{ZQ} = \overline{z_{\min Q}, z_{\max Q}}$ , при этом  $R_Q \supset R_G$  (пространственная область  $R_Q$  наблюдения предвестников ЧС должна включать в себя пространственную область  $R_G$  готовящейся ЧС);

$S(t, r_S)$  — вектор сигналов естественного или/и искусственного происхождения, воздействующих на объекты наблюдения (измерения) (излучение Солнца, зондирующие сигналы активных космических средств ДЗЗ (радиолокационные средства, радиовысотомеры), сигналы спутниковых радионавигационных систем и другие), принадлежащий пространственной области  $R_S$ , включающей пространственную область  $R_Q$ ,  $R_S \supset R_Q$ ;

$\tilde{S}_{\text{ПРМ}}(\Lambda, t, r_Q)$  — вектор оценок, принятых в условиях помех (вектор  $N(t, r_Q)$ ) мониторинговых сигналов (представлен без учета значений времени распространения сигналов по трассам КА-объект, объект-КА и другим трассам, которые существенно меньше значений временных интервалов последующих этапов обработки);



Рисунок. Техническая структура МАКСМ

$\tilde{\Lambda}(Q, t + \tau_{\Lambda}, r_Q)$  — вектор оценок параметров сигналов, связанных с параметрами наблюдаемых предвестников ЧС;

$\tau_{\Lambda}$  — интервал времени от начала наблюдений предвестников ЧС до момента получения оценок параметров сигналов;

$\tilde{Q}(G, t + \tau_Q, r_Q)$  — вектор оценок параметров наблюдаемых предвестников ЧС;

$\tau_Q$  — интервал времени от начала наблюдений предвестников ЧС до момента получения оценок их параметров.

Преобразование (4) должно осуществляться в соответствии с требованиями (2) и (3).

Условие (2) обеспечения своевременности формирования прогнозов с учетом преобразования (4) примет вид

$$t + \tau_{\Lambda} < t + \tau_Q < t + \tau_{\Phi} < t + \tau_U < t_{HG}. \quad (5)$$

## Научно-методические аспекты построения сервисов МАКСМ

Реализация основных преобразований исходной мониторинговой информации, отображаемых последовательностью (5), определяется выбором

структуры МАКСМ. С функциональной точки зрения целевая часть МАКСМ предназначена для решения основной задачи — своевременного формирования качественных прогнозов ЧС. С учетом наиболее опасных и распространенных ЧС на территории России и стран СНГ в ее состав на первом этапе создания МАКСМ должны входить целевые средства мониторинга и краткосрочного прогнозирования сильных землетрясений, мониторинга и прогнозирования наводнений, природных пожаров, а также техногенных катастроф. Это не препятствует последующему включению в состав МАКСМ средств мониторинга и прогнозирования других ЧС природного характера.

Как и в любой информационной системе, в состав МАКСМ должны входить средства управления ее элементами и обеспечения их функционирования.

Техническая реализация МАКСМ определяется ее технической структурой, приведенной на рисунке. Для качественного решения задач мониторинга и прогнозирования ЧС природного и техногенного характера целесообразно использовать доступный информационный ресурс имеющихся отечественных и зарубежных средств наземного и аэрокосмического мониторинга ЧС природного и техно-

генного характера и их предвестников, средств мониторинга иного назначения, средств сбора, предварительной обработки мониторинговой информации и хранения результатов ее обработки. Различная ведомственная принадлежность перечисленных средств не препятствует их рассмотрению как средств, функционально привлекаемых для решения задач МАКСМ. В связи с этим к составу целевых средств подсистем МАКСМ будем относить:

- бортовые целевые средства космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ), а также летательных аппаратов (ЛА); КА глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS; КА связи и информационного обмена;

- наземные целевые средства измерений и наблюдений предвестников ЧС в составе станций (постов);

- аппаратно-программные комплексы (АПК) пунктов приема информации с КА и ЛА;

- АПК станций (постов) сейсмического, гидрометеорологического наблюдения, наблюдения за природными пожарами и состоянием техногенных объектов;

- АПК центров сбора и предварительной обработки мониторинговой информации.

Собственно средствами целевых подсистем МАКСМ следует считать АПК информационных сервисов, решающих задачи сбора и тематической обработки данных мониторинга предвестников ЧС, формирования прогнозов ЧС, представления потребителям результатов прогнозов ЧС.

Хранение данных мониторинга ЧС и их предвестников, результатов прогнозов ЧС целесообразно осуществлять в распределенном хранилище данных МАКСМ, техническую основу которого создают его АПК.

Управление функционированием элементов МАКСМ реализуют бортовые и наземные средства ее управляющей подсистемы (средства бортовых комплексов управления КА (ЛА), наземных комплексов управления (НКУ) КА (ЛА), комплексы средств автоматизации управления средствами пунктов, станций и центров, управляющие средства в составе сервисов).

Информационное взаимодействие элементов МАКСМ и другие виды их ресурсного обеспече-

ния реализуют бортовые и наземные средства ее обеспечивающей подсистемы (бортовые и наземные средства информационного обмена, бортовые обеспечивающие комплексы КА (ЛА), обеспечивающие комплексы НКУ, пунктов и центров системы, обеспечивающие средства в составе сервисов). Среди средств информационного обмена элементов МАКСМ все большую роль приобретают средства сети Интернет.

В представленной технической структуре МАКСМ ее аэрокосмический целевой сегмент, средства в составе наземного целевого сегмента (исключая АПК сервисов) в основном реализуют следующую часть информационного преобразования (4):

$$\begin{array}{ccc} S(t, r_S) & & N(t, r_Q) \\ \downarrow & & \downarrow \\ Q(G(t_G, r_G), t, r_Q) & \rightarrow & \tilde{S}_{\text{ПРМ}}(\Lambda, t, r_Q) \\ \rightarrow \tilde{\Lambda}(Q, t + \tau_\Lambda, r_Q) & \rightarrow & \tilde{Q}(G, t + \tau_Q, r_Q), \end{array} \quad (6)$$

затрачивая на его реализацию время  $\tau_Q$ .

С учетом преобразования (4) в МАКСМ и преобразования (6) в ее предшествующих сервисах элементах запишем основное информационное преобразование, осуществляемое в информационных сервисах МАКСМ:

$$\tilde{Q}(G, t + \tau_Q, r_Q) \rightarrow \Pi(t + \tau_\Phi). \quad (7)$$

Преобразование (7) является успешным при выполнении условия (3) и условия обеспечения своевременности прогноза

$$t + \tau_Q < t + \tau_\Phi < t + \tau_U < t_{\text{НГ}}. \quad (8)$$

Преобразование (7) предполагает наблюдение вариаций составляющих вектора  $\tilde{Q}(G, t + \tau_Q, r_Q)$  на временном интервале  $\tau_Q - \tau_\Phi$ , анализа полученных вариаций, определение прогнозируемых параметров ЧС по параметрам предвестников.

Если время  $\tau_{qj} - \tau_{\lambda j}$ , затраченное предшествующими сервисам элементами на решение задачи оценивания параметра предвестника  $\tilde{q}_j(G, t + \tau_{qj}, r_{qj})$ , связанного с прогнозируемым  $j$ -м параметром ЧС, не обеспечивает условие своевременности прогноза (8), целевые средства сервисов должны быть способны решить эту задачу с меньшим

временем, реализуя информационное преобразование

$$\begin{aligned} \tilde{\lambda}_j(q_j, t + \tau_{\lambda_j}, r_{qj}) \rightarrow \\ \rightarrow \tilde{q}_j(G, t + \tau_{qj}, r_{qj}) \rightarrow n_j(t + \tau_{\Phi_j}), \quad (9) \end{aligned}$$

где  $\tilde{\lambda}_j(q_j, t + \tau_{\lambda_j}, r_{qj})$  и  $\tilde{q}_j(G, t + \tau_{qj}, r_{qj})$  — соответственно оценки параметра сигнала и параметра наблюдаемого предвестника, связанных с  $j$ -м параметром ЧС  $n_j(t + \tau_{\Phi_j})$ ;

$\tau_{\lambda_j}, \tau_{qj}, \tau_{\Phi_j}$  — соответственно интервалы времени от начала наблюдений предвестников ЧС до момента получения оценок параметра сигнала и параметра предвестника, связанных с  $j$ -м параметром ЧС, а также до момента времени формирования оценки  $j$ -го параметра ЧС.

Примерами оценок параметров  $\tilde{\lambda}_j(q_j, t + \tau_{\lambda_j}, r_{qj})$ ,  $\tilde{q}_j(G, t + \tau_{qj}, r_{qj})$  и  $n_j(t + \tau_{\Phi_j})$  могут служить:

- оценка времени запаздывания радионавигационного сигнала, проходящего через ионосферу, полученная навигационной аппаратурой потребителя (НАП) информации систем ГЛОНАСС и GPS, располагающейся в зоне готовящегося землетрясения;

- оценка вертикального полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы над местом готовящегося землетрясения, полученная по результатам обработки в сервисе оценок времени запаздывания сигнала;

- оценка времени начала землетрясения, полученная на основе анализа вариаций оценок вертикального полного электронного содержания ионосферы над местом готовящегося землетрясения перед его началом.

Необходимость реализации в сервисе преобразования (9) по отдельным параметрам ЧС проиллюстрируем следующим примером. Одним из информативных предвестников сильного землетрясения является детерминированная изменчивость плотности электронного содержания (ПЭС) ионосферы над областью его подготовки, проявляющаяся в интервале от 5 до 1 суток до землетрясения [6]. Анализ проводимого в сервисе в рамках преобразования (7) обобщенного визуального образа (маски) ионосферного предвестника позволяет определить время начала сильного землетрясения. Вариации ПЭС

ионосферы можно построить по данным глобальных ионосферных карт ПЭС [7]. Вместе с тем данные этих карт доступны через сутки и более, что не обеспечивает своевременности прогноза времени начала землетрясения при появлении вариаций ПЭС ионосферы за сутки до землетрясения. Оперативно, с задержкой в несколько минут, можно получить информацию о времени запаздывания радионавигационного сигнала НАП в зоне готовящегося землетрясения по данным НАП [8–10]. Для прогнозирования времени начала землетрясения (преобразование (9)) в сервисе должен быть реализован алгоритм, например [11], преобразующий данные НАП в ПЭС ионосферы.

Своевременность решения задачи (9) прогнозирования  $j$ -го параметра ЧС сервисом обеспечивается при выполнении условия (5).

Таким образом, сервисы МАКСМ при формировании прогнозов ЧС должны обеспечивать своевременные (условия (8) и (5)) и качественные (условие (3)) информационные преобразования (7), (9).

Результаты анализа показывают, что для эффективного решения всего спектра задач мониторинга и прогнозирования ЧС в МАКСМ требуется ежедневно проводить более 100 сеансов приема данных с КА с обработкой в потоковом режиме (в темпе приема) около 15 Тбайт разнородной информации. Для результативного функционирования МАКСМ в целом основная доля работы по обработке этого объема информации на современном этапе развития должна приходиться на средства получения и предварительной обработки мониторинговой информации (преобразование (6)). По мере роста информационной производительности сервисов МАКСМ их доля работы по обработке мониторинговой информации может возрастать (переход от преобразования (7)) к преобразованию (9) для всех параметров ЧС и более глубоким преобразованиям).

## Научно-технические аспекты построения сервисов МАКСМ

В широком смысле под информационными сервисами МАКСМ будем понимать виды деятельности, направленные на удовлетворение потребностей органов власти и населения в информа-

ции об угрозах ЧС путем оказания услуг информационного характера, состоящих в предоставлении мониторинговой и прогнозной информации о ЧС. Эти услуги реализуются с использованием аппаратно-программных и сетевых средств сервисов, осуществляющих информационные преобразования (7), (9) и доведение мониторинговой и прогнозной информации о ЧС до потребителей. Аппаратно-программная реализация сервисов МАКСМ должна обеспечить в первую очередь решение следующих основных целевых задач:

- сбор и хранение данных мониторинга предвестников ЧС, сбор и хранение данных о произошедших ЧС, об их предвестниках и сформированных прогнозах ЧС;
- тематическая обработка информации о предвестниках ЧС и формирование их прогнозов;
- представление потребителям данных о прогнозах ЧС.

Качественное и оперативное преобразование мониторинговой информации в сервисах МАКСМ достигается при рациональном использовании в них доступных информационных ресурсов. К информационным ресурсам, используемым в сервисах МАКСМ при решении целевых задач, относятся:

- доступные данные мониторинга различного уровня обработки в виде оценок параметров предвестников ЧС и оценок параметров мониторинговых сигналов, связанных с параметрами предвестников ЧС; доступные данные о произошедших ЧС и сформированных прогнозах ЧС;
- доступные к применению алгоритмы, функциональные модули тематической обработки мониторинговых данных и формирования прогнозов ЧС.

Уровни обработки данных мониторинга при дистанционном зондировании Земли различаются от уровней  $L0-L4$  (растровые–векторные снимки) до уровней обработки в виде электронных карт. Все шире применяются операции, ориентированные на построение и работу с трехмерными представлениями наблюдаемых объектов и процессов.

Оперативная публикация данных, поступающих ежедневно с российских КА ДЗЗ «Ресурс-П», «Канопус-В» и «Метеор-М», осуществляется через геопортал Роскосмоса. Российский сервис «Геокаталог» компании «Совзонд» обеспечивает возможности получения информации об архивной и опера-

тивной съемке с наиболее популярных КА, оборудованных мультиспектральными высокоразрешающими сенсорами. Сервис «Космоснимки» ИТЦ «СКАНЭКС» предоставляет снимки, полученные с 14 КА ДЗЗ, путем автоматизированного поиска и выбора снимков по диапазону дат съемки, условиям облачности, углу съемки, разрешению в пикселях. Разработанный КБ «Панорама» онлайн-банк данных цифровых карт и данных ДЗЗ обеспечивает сбор, хранение, поиск, выдачу пространственных данных и отображение состояния банка данных в виде электронных карт. Научным центром оперативного мониторинга Земли в составе АО «Российские космические системы» формируются базовые продукты [12], включающие результаты тематической обработки зарубежных и отечественных данных ДЗЗ.

Примером сервиса предоставления данных, формируемых средствами мониторинга предвестников ЧС наземного базирования, является сервис «Лесной дозор», обеспечивающий доступ к распределенной дистанционно-управляемой системе видеонаблюдения на вышках.

Для обеспечения полноты и повышения достоверности информации о предвестниках ЧС по данным ДЗЗ из космоса целесообразно наряду с информацией, предоставляемой российскими сервисами, использовать информацию оперативного космического мониторинга, источниками которой являются такие зарубежные сервисы, как NASA, NASA Firms, MADAS, Weather Channel. Информацию ДЗЗ из космоса предоставляют также сервисы USGS, Google Earth Engine, Google Earth Engine, Land Viewer, Remote Pixel, вместе с тем она менее оперативна, чем информация первой группы зарубежных сервисов.

Рассмотренные сервисы относятся к сервисам открытого доступа. Вопрос о выборе того или иного сервиса представления данных мониторинга предвестников ЧС для его взаимодействия с сервисом МАКСМ решается с учетом специфики целевых задач прогнозирования ЧС, информативности, объема и формы представления данных, наличия в сервисе МАКСМ средств их сбора, тематической обработки и представления результатов прогнозирования ЧС.

Данные мониторинга предвестников ЧС носят выраженный геоинформационный характер, обус-

ловленный зависимостью параметров предвестников ЧС от географических координат и времени. Особенно сильно геоинформационная сущность проявляется в предвестниках ЧС природного характера. Вместе с тем разнообразие мониторинговых данных по содержанию и форме может служить сильным сдерживающим фактором их совместного использования в сервисах МАКСМ при решении целевых задач. В связи с этим функционал АПК сервисов МАКСМ должен осуществлять интеграцию разнообразных данных мониторинга предвестников ЧС, предоставляемых сервисам открытого доступа, путем решения следующих задач:

- обеспечение взаимодействия с внешними геоинформационными картографическими ресурсами и геосервисами открытого доступа, предоставляющими оперативную и архивную информацию о ЧС и их предвестниках;

- обеспечение взаимодействия по открытым стандартам с региональными и ведомственными информационными системами и сервисами, предоставляющими оперативную информацию о предвестниках ЧС;

- обеспечение возможности оперативного получения и отображения в геоинформационной среде видео-, фото- и аудиоинформации с мест возможной подготовки ЧС;

- предоставление операторам сервисов МАКСМ пространственной информации с помощью ГИС- и веб-технологий, сетевых клиент-серверных и геопортальных решений;

- создание, предварительная обработка, централизованное хранение данных мониторинга и результатов прогнозирования ЧС, а также предоставление авторизованного доступа к ним операторов сервисов МАКСМ.

Использование и интеграция информационного ресурса в виде доступных к применению алгоритмов и функциональных модулей тематической обработки мониторинговых данных и формирования прогнозов ЧС требует от функционала АПК сервисов МАКСМ решения следующих задач:

- формирование геоинформационного пространства оператора сервиса с необходимым и достаточным набором атрибутов для решения задач обработки мониторинговых данных с целью получения прогнозов ЧС;

- создание и динамическое подключение доступных онлайн-сервисов тематической обработки мониторинговых данных;

- создание и динамическое подключение функциональных модулей статистической, аналитической и математической обработки мониторинговых данных;

- обеспечение возможности привлечения доступных пользовательских функций для оперативного анализа геоинформационной обстановки, включая измерение расстояния между объектами, измерение длины, площади, периметра объекта.

Для поддержки целевых подсистем сервисов МАКСМ, при представлении ими потребителям данных о прогнозах ЧС функционал АПК сервисов должен решать следующие задачи:

- обеспечение операторов сервисов инструментальными возможностями для доведения целевой информации до различных групп потребителей;

- предоставление потребителям возможности создания и ведения собственных тематических геоинформационных проектов.

Функционал АПК сервисов МАКСМ, поддерживающий управляющие и обеспечивающие подсистемы сервисов, должен в целях интеграции используемых в сервисах информационных ресурсов решать следующие задачи:

- обеспечение формирования рабочего геоинформационного пространства оператора сервиса путем анализа исходных мониторинговых данных, управления ими при решении тематических задач, управления процессом применения специализированных модулей анализа и обработки данных;

- публикация данных на основе собственного встроенного сервера публикаций, а также при использовании популярных серверов публикации пространственных данных, например Geoserver, MapServer, ArcGIS Server;

- контроль и управление регламентами решения тематических задач по формированию прогнозов ЧС;

- поддержка создания отчетной документации по результатам прогноза параметров ЧС и архивных материалов для их каталогизации в тематической базе данных прогнозов ЧС.

В зависимости от объема использования интеграционного функционала будем рассматривать

три вида сервисов МАКСМ: исследовательские, операционные и потребительские. В исследовательских сервисах интеграционный функционал задействуется в полном объеме для решения задач их развития. В операционных сервисах применяется отработанный в исследовательских сервисах функционал, позволяющий решать текущие задачи мониторинга и прогнозирования ЧС. В потребительских сервисах применяется ограниченный функционал, нацеленный на своевременное и качественное предоставление потребителям информации о результатах прогнозирования ЧС.

Реализация в сервисах МАКСМ перечисленного функционала, позволяющего проводить интеграцию используемых ими информационных ресурсов при решении целевых, управляющих и обеспечивающих задач, осуществима в условиях построения сервисов на единой геоинтеграционной платформе (ГИП).

Рассматривая в качестве ГИП разработанные в последние годы геоинформационные картографические сервисы, отметим, что они имеют определенный интеграционный функционал и вместе с тем не в полной мере обеспечивают гибкость при расширении доступа к новым источникам пространственных данных без участия разработчиков. Причина в том, что интеграционный функционал геоинформационных картографических сервисов, как правило, «жестко зашит» в их программных кодах. Это не позволяет подключать к ним новые ресурсы непосредственно их пользователями.

Анализ геоинформационных систем, обладающих функционалом интеграции информационных ресурсов, возможным для использования в сервисах МАКСМ, показывает, что наиболее близкой к реализации описанного интеграционного функционала является ГИП «Геотрон» [13]. В связи с этим построение сервисов МАКСМ разного вида и назначения целесообразно осуществлять на основе ГИП «Геотрон» (с учетом ее развития), что обеспечит информационное и функциональное единство сервисов.

## Заключение

Предложенные функциональная и техническая структуры МАКС обеспечивают решение комплекса целевых задач (мониторинга и краткосрочного про-

гнозирования сильных землетрясений, мониторинга и прогнозирования наводнений, природных пожаров, чрезвычайных ситуаций техногенного происхождения), задач управления элементами системы и снабжения их необходимыми ресурсами, определяют место сервисов в составе системы.

Сформирован функционал сервисов, обеспечивающий интеграцию в них доступных информационных ресурсов при взаимодействии с источниками мониторинговых данных и потребителями прогнозной информации при решении целевых, управляющих и обеспечивающих задач. Предложен состав средств сервисов МАКСМ, необходимых для реализации их интеграционного функционала.

Построение сервисов МАКСМ различного вида и назначения на единой геоинтеграционной платформе обеспечит их информационное, функциональное единство и эффективное функционирование МАКСМ.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с Соглашением о предоставлении субсидии № 075-11-2019-015 от 22 октября 2019 года. Уникальный идентификатор проекта RFMEFI58519X0008.*

## Список литературы

1. *Перминов А. Н.* О перспективах пилотной реализации в России Международной аэрокосмической системы глобального мониторинга (проект МАКСМ): организационные, технические и финансовые аспекты // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций. XII научно-практическая конференция. 17–18 октября 2012 г. Доклады и выступления. М.: ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2012. С. 53–66.
2. *Жодзишский А. И., Разумов В. В., Гузовский С. Л. и др.* Перспективы создания пилотной версии проекта «Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга» в России / Под ред. д. т. н., проф. О. А. Алексеева. М.: Тривант, 2014. 200 с.
3. *Меньшиков В. А., Перминов А. Н., Рембеза А. И., Урличич Ю. М.* Основы анализа и проектирования космических систем мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф. М.: Машиностроение, 2014. 736 с.
4. *Алексеев О. А., Разумова Н. В., Цадиковский Е. И., Линьков А. Д.* Рассмотрение методологии построения

- ния космической группировки мониторинга для прогнозирования чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2016, т. 13, № 5. С. 29–38.
5. *Разумов В. В., Алексеев О. А., Разумова Н. В., Линьков А. Д.* К проблеме создания сервисов аэрокосмической системы прогнозного мониторинга чрезвычайных ситуаций природного характера на трансграничных территориях России // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг, 2019, вып. 4. С. 64–68.
  6. *Давиденко Д. В., Пулинец С. А.* Детерминированная изменчивость ионосферы в преддверии сильных ( $M \geq 6$ ) землетрясений в регионах Греции и Италии по данным многолетних измерений // Геомагнетизм и аэрономия, 2019, т. 59, № 4. С. 529–544.
  7. Глобальные ионосферные карты (GIM — Global Ionospheric Maps) ПЭС в формате IONEX. <http://cddis.nasa.gov/gps/products/ionex/> (Дата обращения 06.04.2020).
  8. Данные приемников глобальных навигационных спутниковых систем (GPS/ГЛОНАСС) в формате RINEX. <ftp://garner.ucsd.edu/archive/garner/rinex/> (Дата обращения 27.05.2020).
  9. Данные приемников глобальных навигационных спутниковых систем (GPS/ГЛОНАСС) в формате RINEX. <ftp://data-out.unavco.org/pub/rinex/> (Дата обращения 27.05.2020).
  10. Файлы навигации. <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/data/daily/> (Дата обращения 27.05.2020).
  11. *Ciraolo L.* GNSS Derived TEC Data Calibration // Workshop on Science Applications of GNSS in Developing Countries. Trieste. April 23, 2012.
  12. Сервис «Банк базовых продуктов» НЦ ОМЗ АО «Российские космические системы». <http://bbp.ntsomz.ru/> (Дата обращения 27.05.2020).
  13. *Серебряков В. Б.* Геоинтеграционная платформа «Геотрон» // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019610273 / Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 09 января 2019 г.