

## **Спутниковый мониторинг окружающей среды сопредельных территорий Республики Беларусь и Российской Федерации: задачи, научно-технологические решения, первые результаты**

**Тасенко С.В.<sup>1</sup>, Алексеев В.Ю.<sup>2</sup>, Андреева З.В.<sup>3</sup>, Дерюгина В.В.<sup>3</sup>, Кровотынцев В.А.<sup>3\*</sup>**

*<sup>1</sup> Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды*

*<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр реализации бюджетной политики и обеспечения деятельности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды»*

*<sup>3</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»*

*<sup>\*</sup>[krv@planet.iitp.ru](mailto:krv@planet.iitp.ru)*

С 2017 года подразделения Белгидромета и Росгидромета приступили к реализации белорусско-российской программы в области гидрометеорологии «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства» на 2017 – 2021 годы. По одному из наиболее высокотехнологических мероприятий этой программы: «Совершенствование системы мониторинга окружающей среды Союзного государства с использованием гидрометеорологических средств дистанционных наблюдений» (мероприятие 4) ответственным исполнителем является Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета» (ФГБУ «НИЦ «Планета»). Мероприятие 4 белорусско-российской программы содержит два направления:

- совершенствование методов и технологий обработки спутниковых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для мониторинга окружающей среды сопредельных территорий Республики Беларусь и Российской Федерации;
- совершенствование методов интерпретации и обмена данными метеорологических радиолокационных наблюдений Республики Беларусь и Российской Федерации.

Первое направление закреплено за ФГБУ «НИЦ «Планета», второе – за ФГБУ «Центральная аэрологическая обсерватория» (ФГБУ «ЦАО»). В настоящей работе представлены результаты работ по развитию технологий спутникового мониторинга окружающей среды сопредельных территорий Республики Беларусь и Российской Федерации.

Целью проводимых ФГБУ «НИЦ «Планета» работ является создание аппаратно-программного комплекса тематической обработки данных среднего и высокого пространственного разрешения с российских и зарубежных космических аппаратов, предназначенного для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на сопредельных территориях Республики Беларусь и Российской Федерации по следующим направлениям:

- обнаружение и контроль затопленных участков рек в период половодий и паводков;
- определение границ зон затопления при наводнениях;
- создание специализированных карт районов затопления при наводнениях;
- обнаружение и контроль заторов и зажоров на реках;
- контроль выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, в том числе аварийных, связанных с изношенностью оборудования, использованием низкокачественного или некондиционного сырья и топлива, нарушением технологических режимов и др.;
- обнаружение и контроль дымовых шлейфов от лесных пожаров;
- картирование гарей от лесных пожаров;
- обнаружение и контроль антропогенных загрязнений (включая нефтяные пленки) водных объектов;
- обнаружение и контроль районов интенсивного «цветения вод», как индикатора экологического неблагополучия водного объекта;
- картирование состояния растительного покрова, в том числе сельскохозяйственных культур.

На первых этапах выполнения работ по данному проекту в Европейском, Сибирском и Дальневосточном спутниковых центрах ФГБУ «НИЦ «Планета» были отобраны разрозненные технологии обработки спутниковых данных по вышеперечисленным направлениям, которые были адаптированы к решению задач мониторинга окружающей среды сопредельных территорий Республики Беларусь и Российской Федерации. В результате было определено пять специализированных программных комплексов тематической обработки спутниковых данных, поддерживаемых следующим специализированным программным обеспечением (СПО):

- картирование наводнений, в том числе на малых реках;
- мониторинг выбросов в атмосферу загрязняющих веществ;
- мониторинг пожарной обстановки;
- картирование состояния водной среды;

- картирование состояния растительного покрова.

В качестве исходной спутниковой информации в работе используются спутниковые данные среднего и высокого пространственного разрешения, получаемые с российских и зарубежных космических аппаратов (КА) Метеор-М (КМСС), Канопус-В (ПСС, МСС), Ресурс-П (Сангур-1У, ШМСА-ВР), Landsat-8 (OLI), Terra/Aqua (MODIS).

Специализированное программное обеспечение картирования наводнений, в том числе на малых реках, предназначено для мониторинга наводнений и должно обеспечивать решение следующих задач: обнаружение и контроль затопленных участков рек в период половодий и паводков; определение границ зон затопления при наводнениях; оценка площадей затопления и анализ их динамики; обнаружение и контроль заторов и зажоров на реках; создание специализированных карт районов затопления при наводнениях [1].

Выделение границ зон затопления (затопленных участков поймы рек и районов переувлажненных почв) при наводнениях реализуется путем двухэтапного метода выделения водных объектов, основанного на использовании специального алгоритма кластеризации и дерева решений, построенного с использованием средних значений спектральных характеристик кластеров [2, 3, 4].

На первом этапе производится сегментация изображения по спектральным признакам с помощью алгоритма кластеризации. Данный алгоритм является непараметрическим и обеспечивает выделение кластеров различной формы и плотности. Алгоритм основан на сеточном подходе и характеризуется высоким быстродействием, что крайне важно при оперативном мониторинге. При кластеризации в качестве информативных признаков используются красный и ближний инфракрасный каналы, а также вегетационный индекс NDVI. Экспериментальные исследования показали, что данная комбинация признаков является наиболее эффективной при выделении водных объектов. В частности, использование NDVI позволяет разделять водные и теневые области. В результате водные объекты выделяются в один или несколько кластеров.

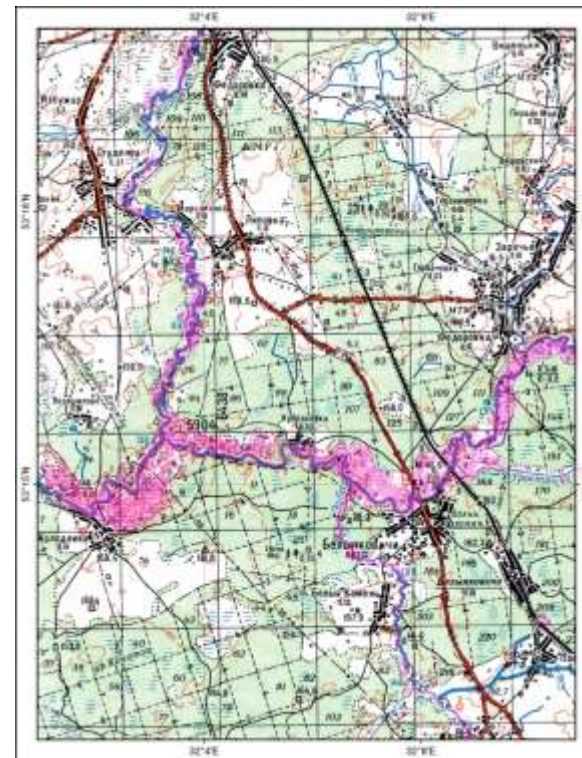
На втором этапе осуществляется классификация полученных кластеров на «водные» и «неводные». Для этого используется дерево решений. Для каждого кластера вычисляются средние значения пяти спектральных характеристик: водного NDWI и вегетационного NDVI индексов, а также нормированных на диапазон от 0 до 255 значений в красном и ближнем инфракрасном каналах, а также вегетационного индекса NDVI. Использование средних значений характеристик кластеров обеспечивает повышение

качества разделения при использовании порогового метода. В результате множество всех кластеров разделяется на следующие классы: вода, «зеленая вода» и «неводные» классы.

Пример карты-схемы пойменных разливов реки Беседь и ее притоков на территории Могилевской области Республики Беларусь приведен на рисунке 1.



а)



б)

а) – цветосинтезированное изображение реки Беседь и ее притоков (красный, ближний инфракрасный и зеленый каналы);

б) – совмещение затопленных и переувлажненных участков пойм рек, выделенных на спутниковом изображении, с топографической картой М 1:100 000 (выделены пурпурным цветом)

Рисунок 1 – Карта-схема пойменных разливов рек в Могилевской области Республики Беларусь по данным

КА Канопус-В (ПСС, МСС), 9 апреля 2018 09:15 UTC

Специализированное программное обеспечение мониторинга выбросов в атмосферу загрязняющих веществ предназначено для обеспечения контроля загрязнения воздуха и решает следующие задачи: обнаружение дымовых шлейфов, возникающих, в том числе в результате выбросов тепловых электростанций, а также крупных промышленных предприятий; создание аннотированных спутниковых изображений районов выбросов в атмосферу загрязняющих веществ.

Обнаружение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ осуществляется путем выявления дымовых шлейфов на основе визуального анализа исходных спутниковых изображений, получаемых в панхроматическом, многоспектральном и комплексированном режимах (совмещение панхроматического и многоспектрального снимков). При этом дымовые шлейфы в результате выбросов в атмосферу загрязняющих веществ можно отличить от дымовых шлейфов от пожаров путем обнаружения источника загрязнения [1, 5].

Построение аннотированных цветосинтезированных изображений выбросов в атмосферу загрязняющих веществ осуществляется в программном комплексе ESRI ArcGIS for Desktop Standard (ArcEditor) – настольной геоинформационной системы для тематической обработки, анализа данных и оформления выходной тематической продукции.

Пример аннотированного цветосинтезированного изображения выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в Могилевском районе Республики Беларусь приведен на рисунке 2.



На снимке приведен дымовой шлейф в результате выброса загрязняющих веществ Белорусским цементным заводом

Рисунок 2 – Аннотированное цветосинтезированное изображение выбросов в атмосферу загрязняющих веществ в Могилевском районе Республики Беларусь по данным КА Канопус-В № 1 (ПСС, МСС), 9 апреля 2018 09:15 UTC

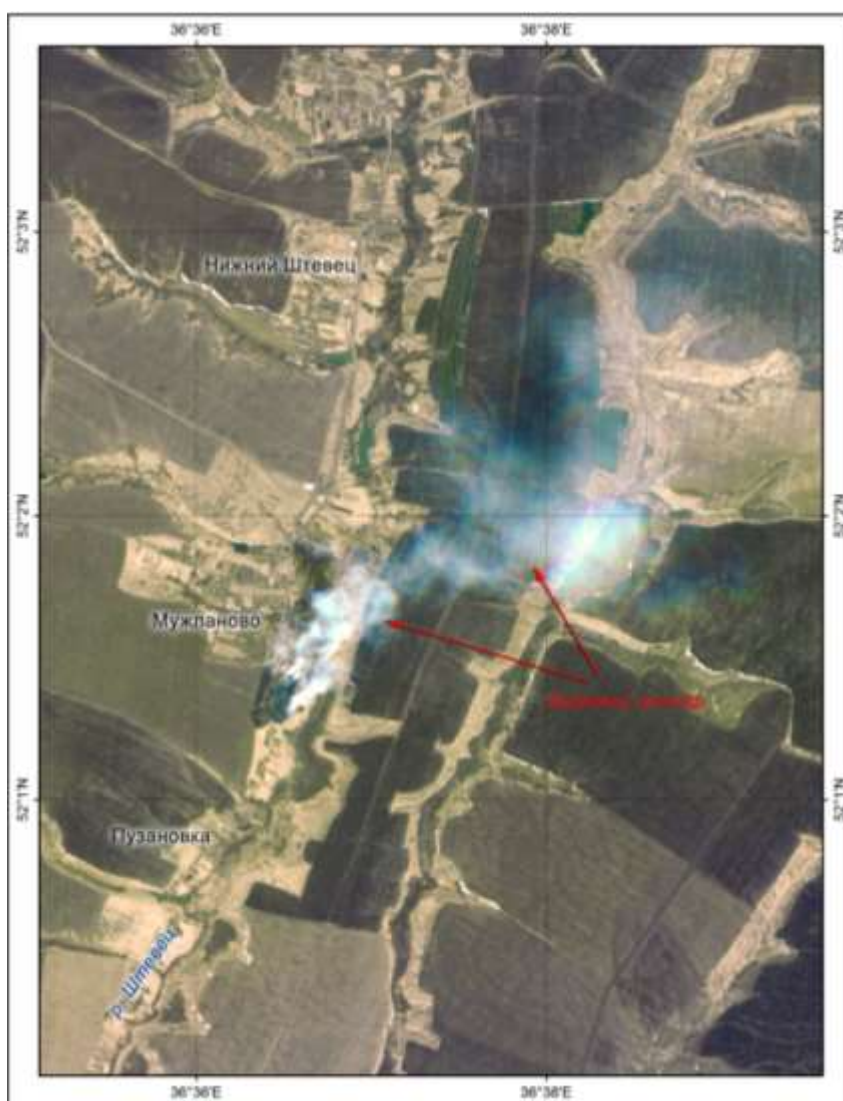
Специализированное программное обеспечение мониторинга пожарной обстановки предназначено для картирования дымовых шлейфов и гарей от лесных пожаров и решает следующие задачи: обнаружение дымовых шлейфов и гарей от лесных пожаров; оценка площадей гарей и анализ их динамики; создание аннотированных цветосинтезированных изображений районов дымовых шлейфов и гарей от пожаров [1, 6].

Обнаружение дымовых шлейфов и гарей в результате пожаров осуществляется на основе визуального анализа исходных спутниковых изображений, получаемых в панхроматическом, многоспектральном (различные комбинации каналов) и

комплексированном режиме (совмещение панхроматического и многоспектрального снимков).

Построение карт-схем пожарной обстановки осуществляется в программном комплексе ESRI ArcGIS for Desktop Standard (AcrEditor) – настольной геоинформационной системы для тематической обработки, анализа данных и оформления выходной тематической продукции.

Пример аннотированного цветосинтезированного изображения пожарной обстановки на территории Курской области приведен на рисунке 3.



На снимке приведен дымовой шлейф от пожара в Курской области

Рисунок 3 – Аннотированное цветосинтезированное изображение пожарной обстановки в Золотухинском районе Курской области по данным КА Канопус-В-ИК (ПСС, МСС), 15 апреля 2018 08:21 UTC



Специализированное программное обеспечение картирования состояния водной среды предназначено для мониторинга водных объектов и решает следующие задачи: обнаружение и контроль антропогенных и природных загрязнений (включая нефтяные пленки, зоны интенсивного «цветения вод», речные выносы и др.); анализ динамики водной среды; построение обобщенных карт состояния и загрязнения водной среды.

Обнаружение антропогенных загрязнений (включая нефтяные пленки) и районов интенсивного «цветения вод», как индикатора экологического неблагополучия водных объектов, осуществляется путем интерактивного анализа и дешифрирования основных гидрологических характеристик и параметров загрязнения водной среды.

Построение карт-схем динамических структур на водной поверхности и обобщенных карт состояния и загрязнения водной среды осуществляется в программном комплексе «PlanetaMultisat» (разработка ФГБУ «НИЦ «Планета») с использованием библиотеки условных обозначений, а также набора инструментальных средств [7, 8].

Пример карты-схемы состояния и загрязнения водной среды Вазузского водохранилища приведен на рисунке 4.

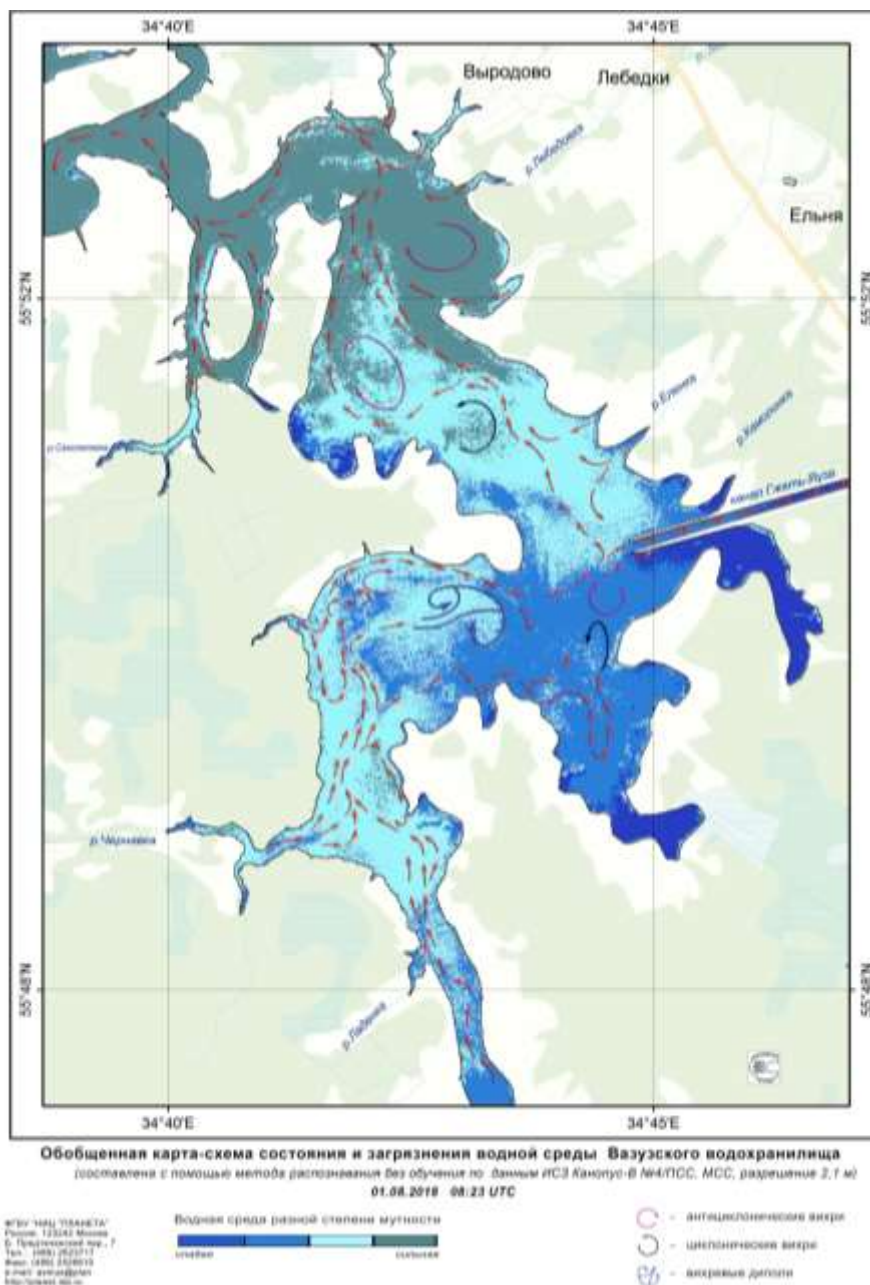


Рисунок 4 – Карта-схема состояния и загрязнения водной среды Вазузского вдхр. по данным КА Канокус-В № 4 (ПСС, МСС), 1 августа 2018 08:23 UTC

Специализированное программное обеспечение картирования состояния растительного покрова предназначено для мониторинга растительного покрова и должно обеспечивать решение следующих задач: построения карт классов растительности, категорий земель, в том числе сельскохозяйственного назначения, участков леса с различными преобладающими породами [1].

Выделение типов растительности осуществляется путем контролируемой классификации (классификации с обучением) многоспектральных спутниковых

изображений в программном комплексе «PlanetaMonitoring» (разработка ФГБУ «НИЦ «Планета») [9].

Пример карты-схемы состояния растительного покрова на территории Республики Беларусь приведен на рисунке 5.

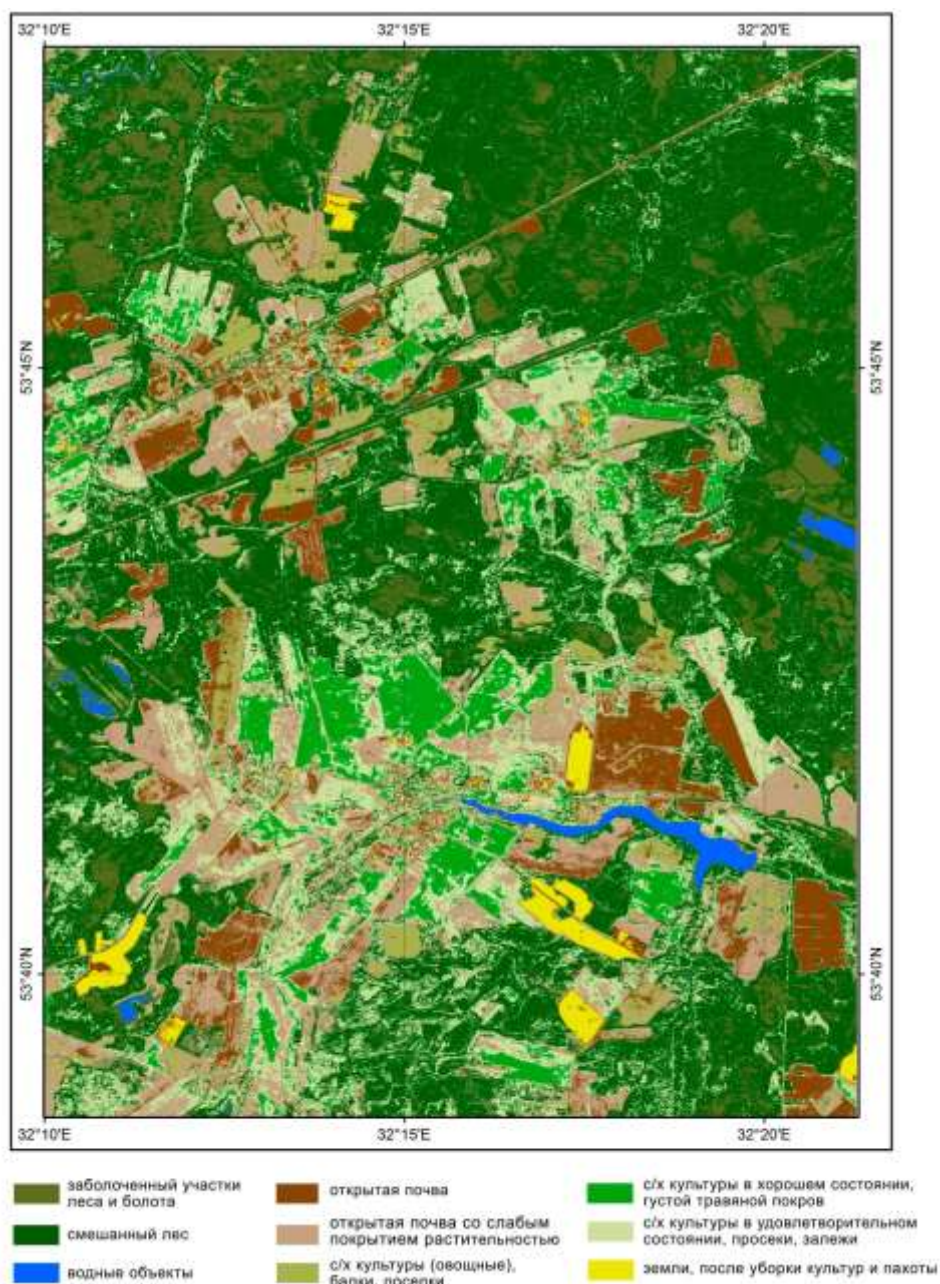


Рисунок 5 – Карта-схема состояния растительного покрова на территории Республики Беларусь по данным КА Канопус-В № 4 (ПСС, МСС), 27 августа 2018 09:11 UTC

Спутниковая информационная продукция, полученная в рамках настоящего проекта, будет находиться в оперативном доступе для специалистов национальных гидрометеорологических служб Республики Беларусь и Российской Федерации. На первых этапах работы обмен спутниковой информационной продукцией между подразделениями Белгидромета и Росгидромета планируется осуществлять с использованием FTP-соединения и/или с помощью электронной почты, а в дальнейшем будет создаваться система доступа к данным в режиме реального времени с использованием ГИС и веб-технологий. При этом доступ планируется осуществлять по сети Интернет с помощью авторизованного входа через обычный веб-браузер.

Для реализации вышеперечисленных технологий обработки спутниковых данных среднего и высокого пространственного разрешения, и осуществления обмена спутниковой продукцией между подразделениями Белгидромета и Росгидромета в единой геоинформационной среде, на наземном комплексе приема, обработки, архивации и распространения спутниковых данных ФГБУ «НИЦ «Планета» создается аппаратно-программный комплекс тематической обработки спутниковой информации, производимой в оперативном режиме. Помимо специализированного программного обеспечения, указанного выше, аппаратно-программный комплекс будет оснащен современными надежными высокопроизводительными вычислительными средствами и соответствующим программным обеспечением, обеспечивающими в автоматическом режиме сбор, обработку и распространение спутниковых данных и продукции в среде геоинформационной системы ArcGIS. Опыт создания подобных информационных систем в ФГБУ «НИЦ «Планета» имеется [10, 11]. В состав аппаратно-программного комплекса будут входить: пять автоматизированных рабочих мест (АРМ) тематической обработки спутниковых данных, ГИС сервер с базой данных, веб-сервер распространения данных.

Предусмотрено, что аппаратно-программный комплекс будет представлять территориально-распределенную систему, к которой со временем будет подключен аппаратно-программный комплекс тематической обработки спутниковых данных Республики Беларусь.

Функциональная схема аппаратно-программного комплекса тематической обработки спутниковых данных Российской Федерации и Республики Беларусь представлена на рисунке 6.

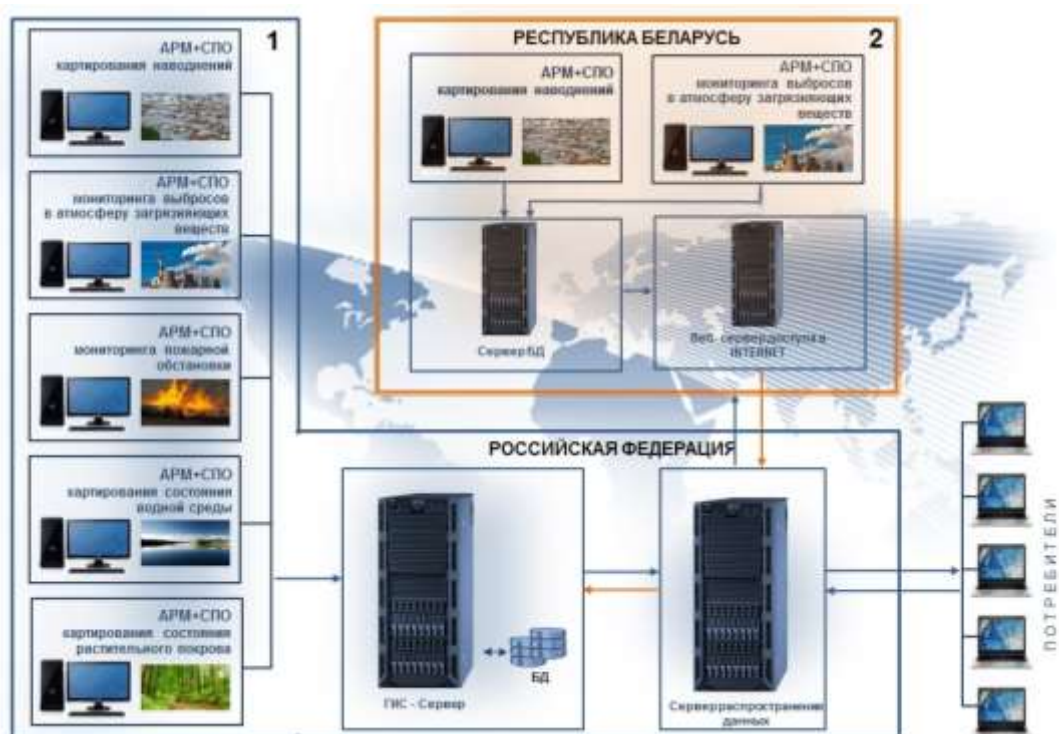


Рисунок 6 – Функциональная схема аппаратно-программного комплекса обработки спутниковых данных Российской Федерации (блок 1) и Республики Беларусь (блок 2)

Разрабатываемые в ходе реализации программы «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства» на 2017 – 2021 годы технологии спутникового мониторинга окружающей среды сопредельных территорий Республики Беларусь и Российской Федерации будут способствовать обеспечению оперативного контроля из космоса за воздействиями неблагоприятных гидрометеорологических явлений на окружающую среду и здоровье населения, а также принятию своевременных мер по адаптации к этим воздействиям, носящим трансграничный характер.

## Список литературы

1. Справочник потребителя спутниковой информации / под редакцией В.В. Асмуса, О.Е. Милехина. – СПб: Гидрометеиздат, 2005. – 114 с.
2. Андреева З.В., Иванова Н.П., Кровотынцев В.А., Новикова О.Г., Рылов С.А.. Спутниковый мониторинг наводнений и картографирование границ зон затоплений в ФГБУ «НИЦ «Планета» //Тезисы докладов совещания на тему «Вопросы рассмотрения и согласования проектов определения границ зон затопления», 28-29 марта 2018 г., Москва, ФГБУ «Центральное УГМС», с. 19-21.
3. Технология обработки данных с космических аппаратов «Канопус-В», «Ресурс-П» и «Метеор-М» для мониторинга и картографирования паводковой ситуации / С.А. Рылов, О.Г. Новгородцева, И.А. Пестунов, О.А. Дубровская // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы II Международной научной конференции. – Красноярск, 2015. – С. 207-212.
4. Ансамблевый алгоритм кластеризации больших массивов данных / И.А. Пестунов, В.Б. Бериков, Е.А. Куликова, С.А. Рылов // Автометрия. – 2011. – Т. 47. – № 3. – С. 49-58.
5. Космический комплекс оперативного мониторинга техногенных и природных чрезвычайных ситуаций «Канопус-В» с космическим аппаратом «Канопус-В» № 1 / под ред. д-ра физ.-мат. наук К.А. Боярчука, д-ра техн. наук С.Н. Волоква, канд. техн. наук А.В. Горбунова, д-ра техн. наук С.Г. Казанцева, д-ра техн. наук Л.А. Макриденко, канд. техн. наук Р.С. Салихова. – М.: ВНИИЭМ, 2011. – 109 с.
6. Развитие спутниковых методов обнаружения и мониторинга экстремальных гидрометеорологических явлений и климатических изменений / В.В. Асмус, Е.А. Лупян, В.А. Кровотынцев и др. // Сборник пленарных докладов Международной конференции по проблемам гидрометеорологической безопасности «Прогнозирование и адаптация общества к экстремальным климатическим изменениям». – М.: ГУ «Гидрометцентр России», 2007. – С. 26-38.
7. Компьютерные технологии формирования гидрометеорологических карт по спутниковым изображениям / А.А. Воронин, В.В. Еремеев, Г.М. Иоффе и др. // Исследование Земли из космоса. – 2009. – № 4. – С. 24-35.
8. Спутниковый мониторинг загрязнения российского сектора Черного и Азовского морей в 2003 – 2007 гг. / А.И. Бедрицкий, В.В. Асмус, В.А. Кровотынцев и др. // Метеорология и гидрология. – 2007. – № 11. – С. 5-13.

9. Технология мониторинга процессов опустынивания на основе спутниковых данных / О.Н. Григорьева, Н.В. Елисеев, Н.П. Иванова, В.А. Кровотынцев // Вопросы обработки и интерпретации данных дистанционного зондирования Земли. Труды НИЦ «Планета» № 1 (46) – СПб.: Гидрометеоздат, 2005. – С.173-186.
10. «ГИС Амур»: система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях / А.В. Фролов, В.В. Асмус, С.В. Борщ и др. // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 3. – С. 5-21.
11. Система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях «ГИС Амур» / С.В. Борщ, В.В. Затыгалова, В.А. Кровотынцев и др. // Автоматизация в промышленности. – 2016. – № 12. – С. 18-23.