

В. В. Дерюгина^{1}, Ю. А. Симонов², В. М. Колий², А. В. Кухарский¹*

Оперативный мониторинг гидрологической ситуации в бассейне р. Волга на основе спутниковых, наземных и прогностических данных

¹ Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета»,
г. Москва, Российская Федерация

² Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации,
г. Москва, Российская Федерация

* e-mail: z-victoria@yandex.ru

Аннотация. В Гидрометцентре России совместно с НИЦ «Планета» создана и эксплуатируется система оперативного мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о гидрологической ситуации в бассейне р. Волга («ГИС Волга»). В статье описывается опыт эксплуатации системы «ГИС Волга» в период прохождения половодья в 2023 г, когда на реках бассейна Волги наблюдались разливы местами, достигающие неблагоприятных и опасных отметок. Описаны причины, приведшие к высоким уровням воды в период половодья. Показано, что в процессе эксплуатации система была усовершенствована добавлением новых видов необходимой информационной продукции.

Ключевые слова: спутниковые веб-сервисы, оперативный мониторинг гидрологической ситуации в бассейне р. Волга, информационная система «ГИС Волга», спутниковые изображения, Веб- ГИС- технологии

V. V. Deryugina^{1}, Yu. A. Simonov², V. M. Koliy², A. V. Kuharsky¹*

Operational monitoring of the hydrological situation in the Volga river basin based on satellite, ground-based and predictive data

¹ Research Center for Space Hydrometeorology «Planeta», Moscow, Russian Federation

² Hydrometcenter of Russia, Moscow, Russian Federation

* e-mail: z-victoria@yandex.ru

Annotation. Hydrometeorological Center Russia in cooperation with SIC "Planet" has created and operates a system of operational monitoring, forecasting and early warning of the hydrological situation in the Volga River basin ("GIS Volga"). The article describes the experience of operation of the GIS Volga system during high water in 2023, when flooding was observed on the rivers of the Volga basin in places reaching unfavorable and dangerous levels. The causes of flooding that led to high water levels during high water are described. It is shown that during operation the system was improved by adding new types of necessary information products.

Keywords: satellite web services, operational monitoring of the hydrological situation of the Volga River basin, GIS Volga information system, satellite images, Web- GIS- technologies

Введение

В 2019 г. рамках проекта «Модернизация и техническое перевооружение учреждений и организаций Росгидромета» была разработана система мониторинга, прогнозирования и раннего оповещения о наводнениях «ГИС Волга» [1-

2]. Система создана на основе Веб- ГИС- технологий. Гидрометцентр России, как основной разработчик системы, подключил в систему веб-сервисы с наземными данными - гидрометеорологическими, синоптическими, агрометеорологическими, данными снегомерных маршрутов, а также гидрометеорологическими и метеорологическими расчетами прогнозов и другую справочную и дополнительную информацию по бассейну р. Волга.

Спутниковая подсистема была создана и подключена НИЦ «Планета». В веб-сервисах передаются спутниковые данные среднего и высокого пространственного разрешения, принимаемые на собственные приемные станции, и спутниковые информационные продукты. В веб-сервисах также передаются данные с зарубежных гидрометеорологических космических аппаратов (КА), информация с которых принимается в рамках международного обмена данными EARS (EUMETSAT Advanced Retransmission Service).

Топографические карты/мозаики/гибриды включены в систему «ГИС Волга» в качестве картографической основы с помощью открытых веб-сервисов Bing maps, Google maps, Yandex maps и др. Также подключена спутниковая информация с зарубежных КА «EOS», «SUOMI NPP», «NOAA-20», получаемая из каталогов ESA и NOAA, с помощью открытых веб-сервисов ArcGIS online.

В системе «ГИС Волга» данные из разных подразделений Росгидромета (Гидрометцентр России, НИЦ «Планета») и разных открытых источников объединяются в единую информационную территориально – распределенную систему. Пользователь с помощью специально созданного веб-интерфейса имеет оперативный доступ ко всему массиву наземной, спутниковой и прогностической информации. При этом для входа систему используется обычный веб-браузер, доступный с любого медианосителя (компьютера, смартфона, планшета и др.), имеющий выход в сеть Internet.

С 2020 г. система «ГИС Волга» введена в оперативную эксплуатацию. Данные передаются в Ситуационный центр Росгидромета, УГМСы Росгидромета, подразделения МЧС России и др. В процессе эксплуатации в системе постоянно наращивается потенциал, добавляются новые виды информационной продукции, запланировано поступление данных с запускаемых российских КА.

Оперативный мониторинг весеннего половодья 2023 г.

Половодье наблюдается каждый год примерно в один и тот же сезон с различной интенсивностью и продолжительностью. О том, какими будут максимальные уровни половодья и его характер в бассейне р. Волга, определяется с использованием данных за зиму. Важно учитывать такую информацию, как запас воды в снежном покрове, состояние почвенного покрова, глубину промерзания почвы и метеорологический прогноз на предполагаемое время вскрытия рек. Для этого в системе «ГИС Волга» был собран весь массив необходимой информации.

В системе в разделе характеристик снежного покрова приводятся измерения сети снегомерных маршрутов с пространственным шагом, который зависит от протяженности маршрута. Для каждого маршрута с момента, когда снег покрывает его половину, вычисляется среднее значение. Так, к началу формирования

половодья 2023 года на реках Кама, Белая, Саратовского и Волгоградского водохранилищ – это все бассейн Волги – запас воды в снежном покрове составлял от 46 до 84% нормы, как показано в системе «ГИС Волга». А на Верхней Волге, Унже, Костроме запасы воды в снежном покрове превысили норму от 10 до 20%, на остальных территориях бассейна Волги запасы воды оказались близкими к среднеемноголетним значениям (см. рис. 1).

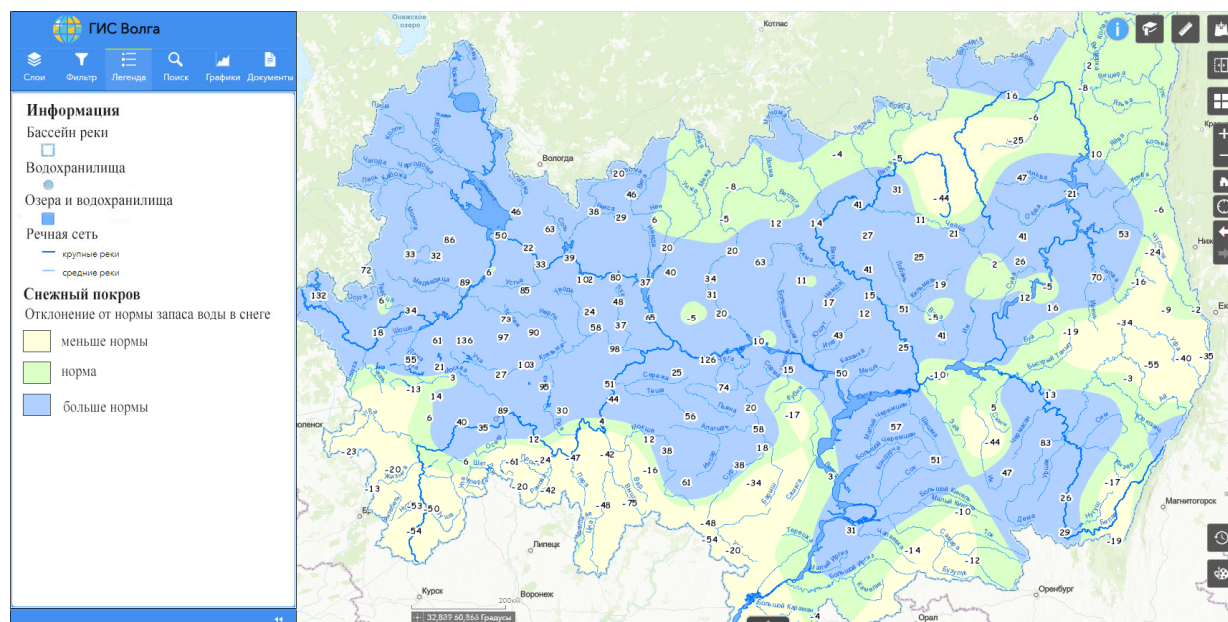


Рис. 1. Отклонение от нормы запаса воды в снеге по данным снегомерных маршрутов от 28.02.2023 г. в «ГИС Волга»

В разделе агрометеорологии системы «ГИС Волга» пополняются многолетние данные по глубине промерзания почвы, полученные по сети агрометеорологических станций. На экране электронной карты можно отметить, что в 2023 г., на территории бассейна Оки выше г. Муром средняя глубина промерзания к началу марта составила 31 см, а в бассейне Клязьмы всего 5-7 см. В бассейнах основных притоков Горьковского водохранилища глубина промерзания почвы составила преимущественно 5-40 см, в верхней части бассейна Ветлуги преимущественно 35-60 см. В среднем для бассейна Костромы глубина промерзания составила 29 см, в верхней части бассейна Ветлуги 44 см (см. рис. 2).

В системе также имеются данные высоты снежного покрова по измерениям снегомерного маршрута (см. рис. 3) и данные маски снежного покрова, созданные на основе измерений скаттерометра ASCAT KA серии «МЕТОР» (периодичность представления - 1 раз в сутки, разрешение 0.01°). Спутниковый информационный продукт маски снежного покрова показывает хорошее распределение снега только на безлесных территориях.

При анализе вышеперечисленных данных, совмещенных с метеопрогнозами, был сделан вывод, что половодье будет развиваться дружно, может привести к резким подъемам воды.

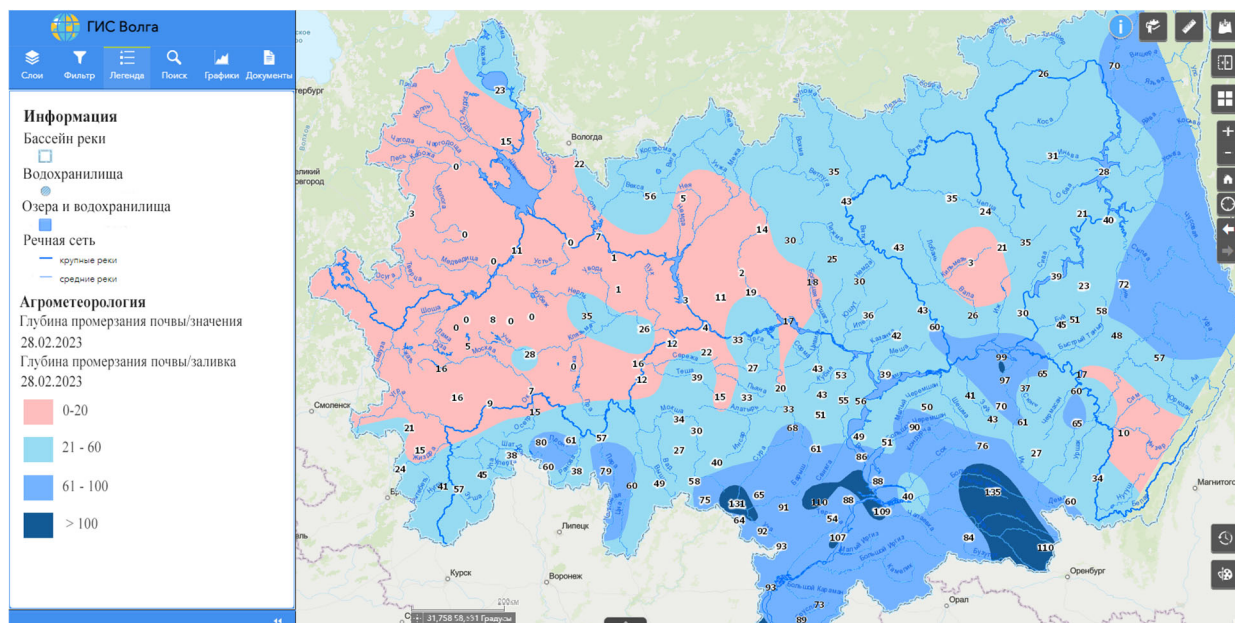


Рис. 2. Глубина промерзания почвы от 28.02.2023 г. в «ГИС Волга»

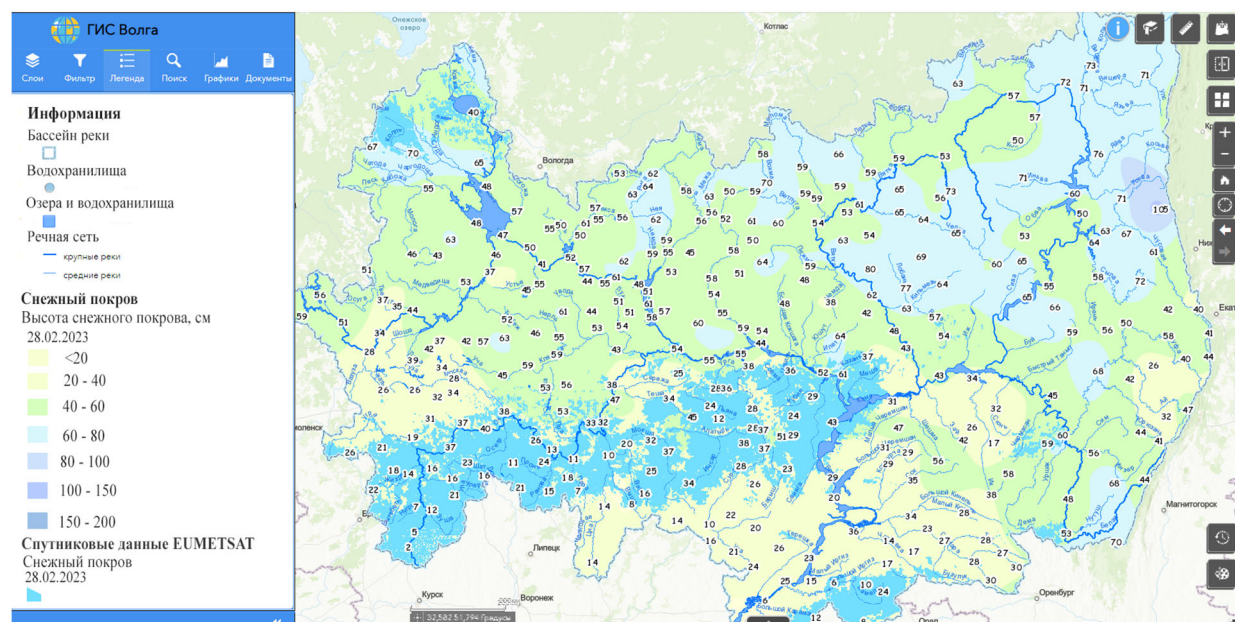


Рис. 3. Высота снежного покрова по данным снегомерных маршрутов и по данным КА серии «МЕТОР» (области голубого цвета) от 28.02.2023 г.

Действительно, во время прохождения половодья 2023 года на реках бассейна Волги наблюдались разливы, достигающие неблагоприятных и опасных отметок уровней воды. В начале второй декады марта активный рост уровня воды до 3,9 м за сутки отмечался на реках Пензенской, Саратовской, Ульяновской областей, Республики Мордовия. Например, к 11 марта уровень воды превысил неблагоприятную отметку на р. Уза у с. Чардым, к 13 марта на р. Атмис у с. Атмис, р. Сура у с. Чаадаевка, р. Инсар у г. Саранск, р. Сызранка у с. Репьевка, к 14 марта на р. Исса у с. Паево. К 16 марта уровень воды на р. Сура у

с. Чаадаевка в Пензенской области достиг опасную отметку и понизился только к 18 марта. Были затоплены придомовые территории, низководные мосты и участки дорог.

Пользователи системы «ГИС Волга» могли оперативно следить за ходом вскрытия рек в окне электронной карты. Удобный веб-интерфейс был создан таким образом, что при первом входе в систему отображаются последние актуальные данные. В окне электронной карты класс опасности половодья визуализируется символически кружками, цвет которых показывает следующее: зеленый – затоплений нет, желтый, оранжевый и красный – превышение отметки поймы, отметки неблагоприятного и опасного явления, соответственно. По контуру кружка наносятся значения уровня воды и его изменения, ежедневный расход воды, температура воды и др. Эти надписи пользователь активизирует в списке слоев карты. На карте также можно скомбинировать гидрологические данные со спутниковыми и результатами их обработки. Определение зон затоплений по спутниковым данным реализовано по технологии сегментации с применением операции контролируемой классификации в программном обеспечении ArcGIS PRO. Пример карты в «ГИС Волга» со сложной гидрологической обстановкой от 15 марта 2023 г. на р. Сура с. Чаадаевка и р. Волга представлен на рис. 4.

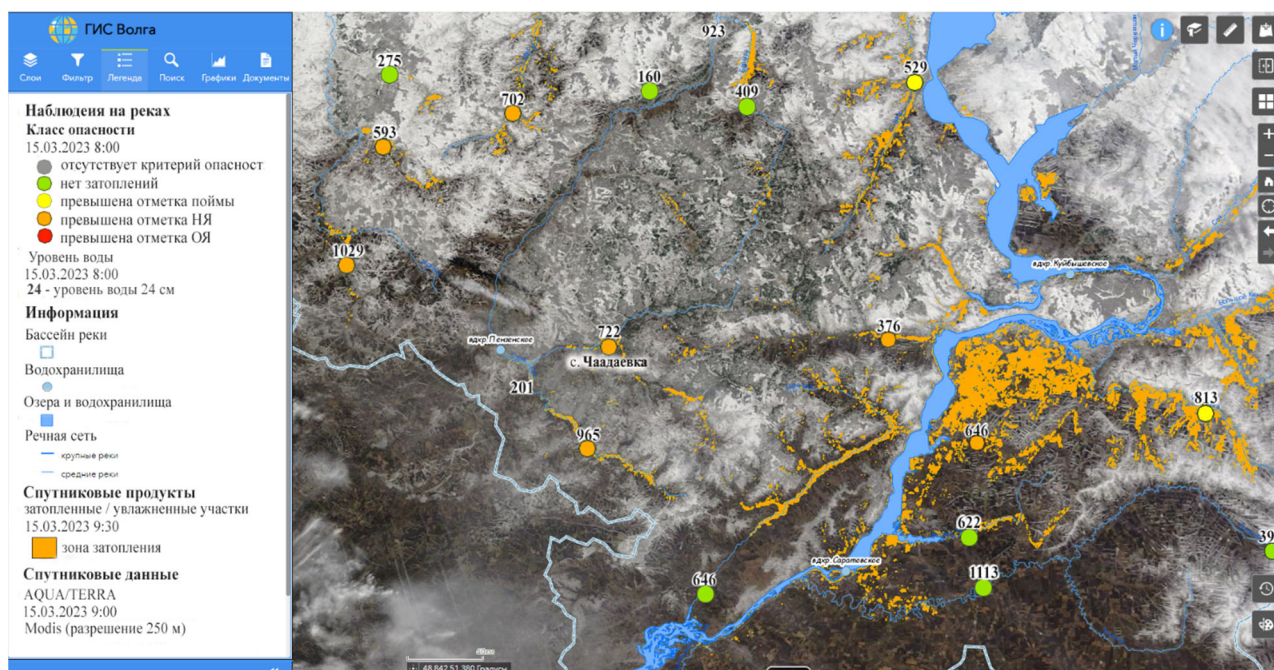


Рис. 4. Результаты интерпретации гидрологической ситуации по спутниковым данным «Sentinel-2» и «Terra» (зоны затоплений отмечены оранжевым цветом) совмещенные с измерениями уровня воды на гидропостах от 15.03.2023 г.

Сильные подъемы уровня воды и разливы рек, связанные с дружным половодьем, отмечались на реках запада Московской области. Так, например, с 25 по 30 марта высокий уровень воды отмечался на р. Протва у г. Верея, были затоплены поймы рек, некапитальные сооружения в поймах, участки дорог. Также в

период с 25 по 29 марта уровень воды кратковременно превышал опасную отметку на реках Озерна, Искона на западе Московской области, р. Протва у с. Спас-Загорье в Калужской области. Затем фронт вскрытия рек передвигался севернее по европейской территории России. С 31 марта по 16 апреля была превышена опасная отметка на р. Молога у на посту д. Фабрика в Тверской области (см. рис. 5-6), затапливалась пойма реки, участки дорог.

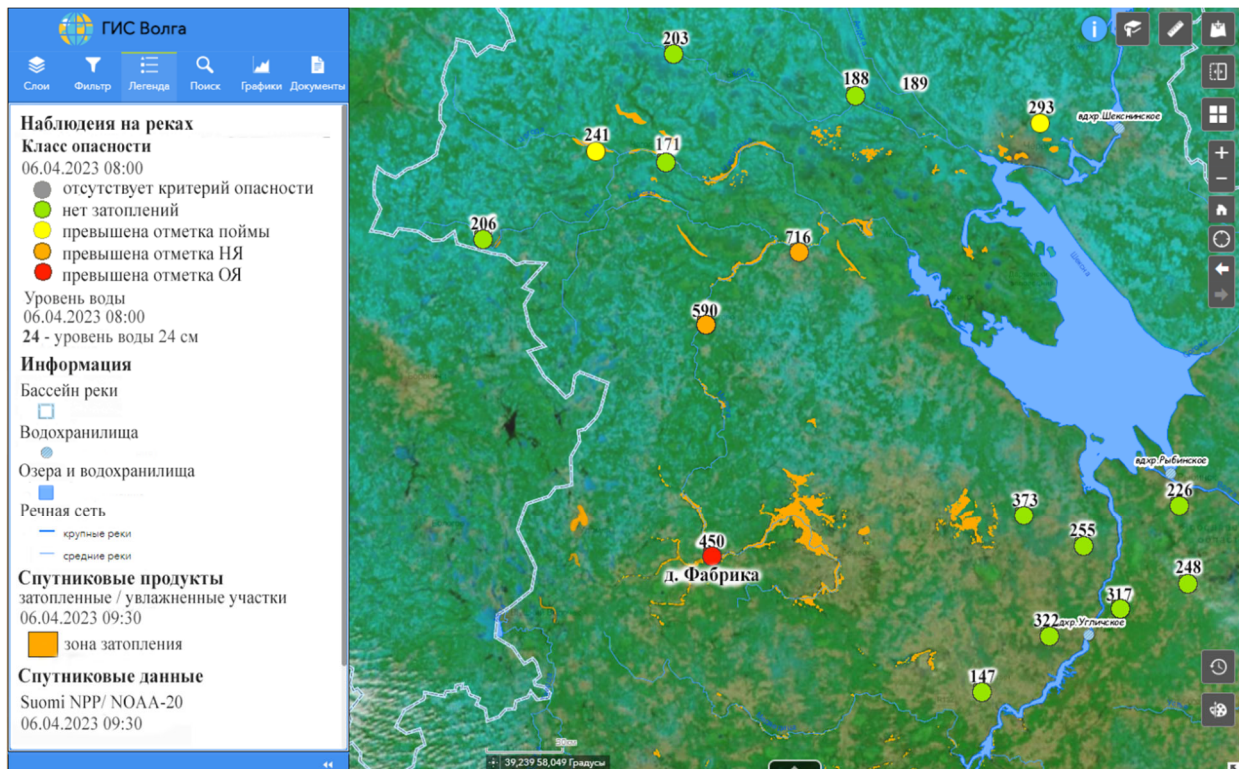


Рис. 5. Зоны затоплений речных пойм по данным «Suomi NPP» и «Aqua» от 6.04.2023 г., совмещенные с уровнями воды на гидрологических постах.

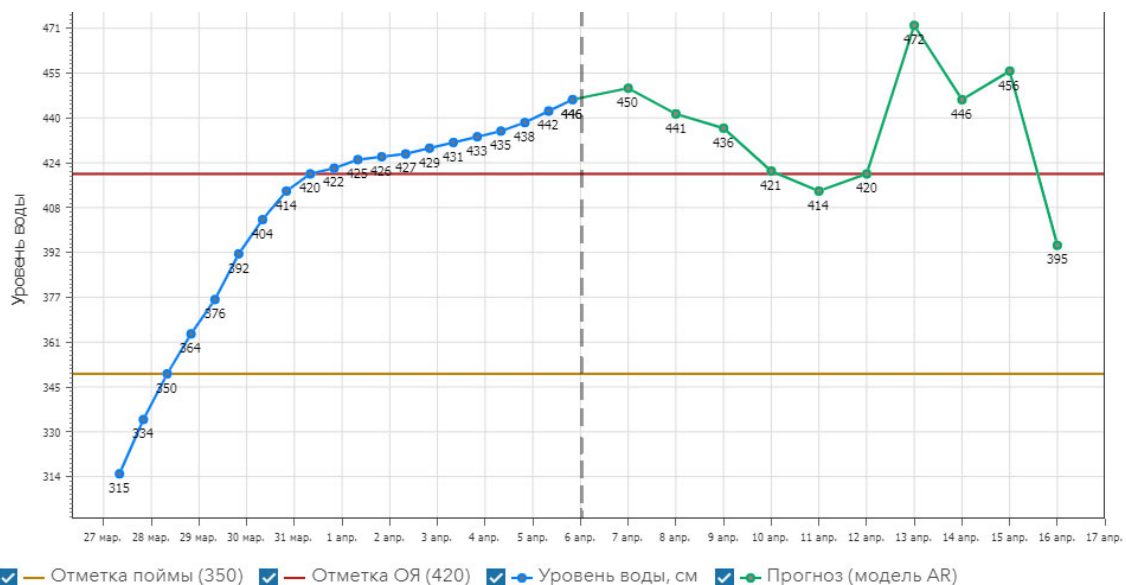


Рис. 6. График хода уровня воды с поста д. Фабрика за период 27.03.2023 - 6.04.2023 и прогноз от 6.04.2023г.

После окончания половодья наблюдался разлив воды по пойме дельты Волги в Астраханской области (см. рис. 7). Он был связан с увеличением сброса воды из Волгоградского водохранилища. Сброс, а как следствие и уровень воды в нижнем бьефе водохранилища, в совокупности с тем, что уровни воды после окончания половодья опустились незначительно ниже поймы, поэтому увеличение сброса привело к затоплению поймы. Сильных колебаний уровня воды на дельтовом участке не наблюдалось, за сутки могло составлять 1-2 см. Так как рельеф на рассматриваемом участке без значительных уклонов, понижение уровня воды здесь задержалось на более чем полтора месяца.

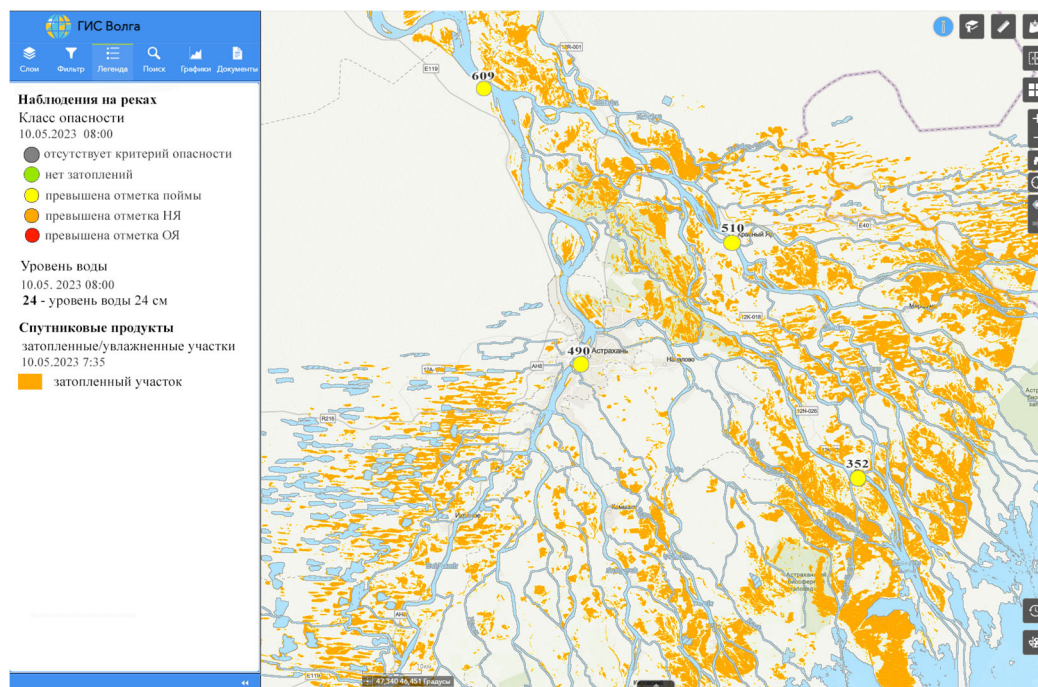


Рис. 7. Затопление поймы дельты р. Волга, интерпретированное по спутниковым данным Landsat-8 от 10.05.2023 г.

В период половодья на высокие уровни воды повлияли сильные и продолжительные осадки, которые способствовали скорейшему таянию снежного покрова и наполнению русел рек талой и дождевой водой. Поэтому в качестве дополнительной информации в системе «ГИС Волга» привлекались данные о сумме осадков за 12 ч., получаемые от метеостанций. Дополнительно была введена информация о сумме осадков за сутки по данным радиометра SEVIRI геостационарных метеоспутников «Meteosat-11» / «Meteosat-9» [3] и модельные данные GFS (Global Forecast System) с разрешением 0.25° до 3 суток (поскольку высокая оправдываемость прогноза до 3 суток - 85–95 %) (см. рис. 8).

Заключение

В 2023 г. система «ГИС Волга» использовалась для оперативного доведения информации до пользователей о проходящем половодье, достигающим на отдельных участках неблагоприятных и опасных отметок. В работе подробно

описаны и проиллюстрированы случаи неблагоприятной гидрологической обстановки по спутниковым, наземным и прогностическим данным. Показано, что спутниковые данные, охватывающие огромные территории и отражающие пространственные масштабы половодья являются хорошим дополнением к наземным данным, показывающим конкретные значения уровней воды на водомерных постах. Эти данные в совокупности с гидрометеорологическими прогнозами обеспечивают высокий синергетический эффект в системе «ГИС Волга». Кроме того, в системе используются дополнительная информация о снежном покрове, накопленной сумме осадков за 12 и 24 ч., состоянии почвенного покрова и др., что существенно повышает эффективность информационной системы. Информация, полученная из системы, используется для принятия своевременных мер по уменьшению негативного воздействия наводнений на окружающую среду.

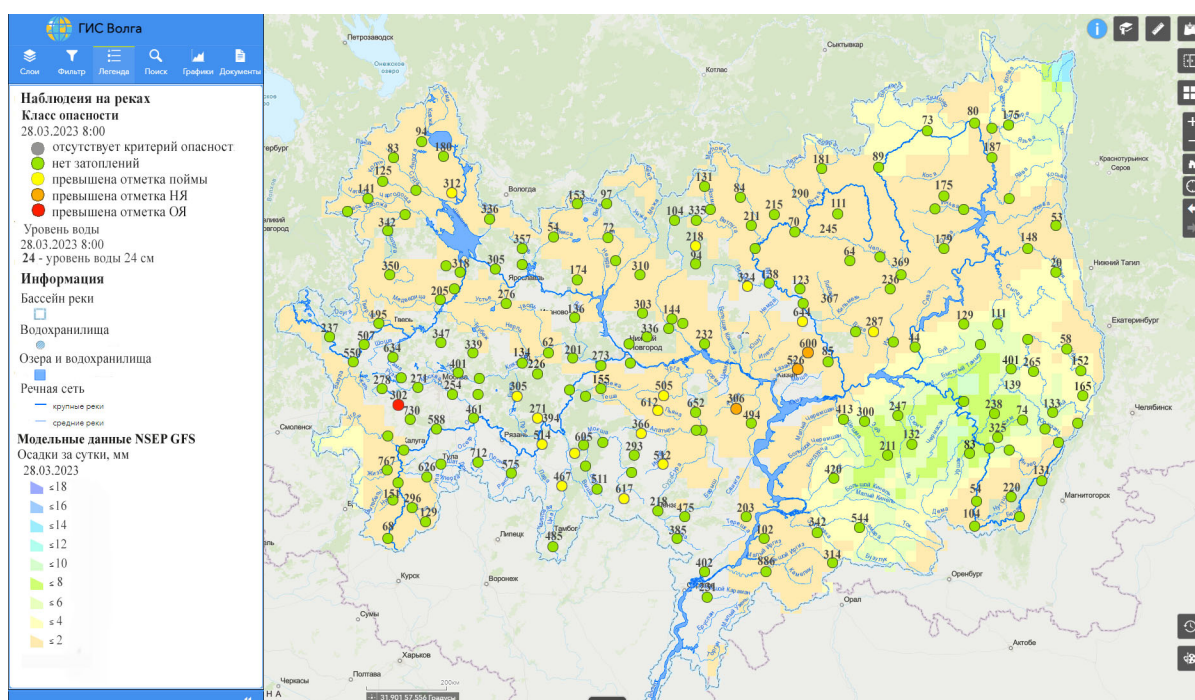


Рис. 8. Накопленная сумма осадков за 12 ч от 28.03.2023 г. по данным GFS.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Borsch S.; Khristoforov A.; Krovotyntsev V.; Leontieva E.; Simonov Y.; Zatyagalova V. A Basin Approach to a Hydrological Service Delivery System in the Amur River Basin. *Geosciences* 2018, 8 (3), 93, p. 1-16, doi: 10.3390/geosciences8030093.
2. Дерюгина В.В., Василенко Е.В., Кровотынцев В.А., Кухарский А.В. Технологические решения при создании спутникового сегмента информационной системы мониторинга наводнений в бассейне р. Волга Интерэкспо Гео-Сибирь. 2022. Т. 4. С. 40-47.
3. Волкова Е.В., Кухарский А.В. Автоматизированная технология диагноза параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды для Европейской территории России по данным радиометра SEVIRI с геостационарных метеоспутников серии Meteosat MSG // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2020. № 4 (378). С.43-62. doi 10.37162/2618-9631-2020-4-43-62.

© В. В. Дерюгина, А. Ю. Симонов, В. М. Колий, А. В. Кухарский, 2023