

Возможности и опыт использования информационной системы Вега-PRO для мониторинга сельскохозяйственных земель

П. В. ДЕНИСОВ^{1,2}, К. А. ТРОШКО^{1,*}, Е. А. ЛУПЯН¹, В. А. ТОЛПИН¹

¹Институт космических исследований РАН, 117997, Москва, Россия

²ООО “ИКИЗ”, 121205, Москва, Россия

*Контактный автор: Трошко Ксения Анатольевна, e-mail: pianistka_07@mail.ru

Поступила 17 марта 2022 г., доработана 27 апреля 2022 г., принята в печать 04 мая 2022 г.

Рассмотрены возможности применения информационной системы Вега-PRO для дистанционного наблюдения за использованием и состоянием сельскохозяйственных земель. Приведен состав задач в области сельскохозяйственного мониторинга, решение которых возможно с использованием системы в интересах различных потребителей. Представлены сведения о доступных в системе спутниковых данных, различных тематических продуктах и иной пространственной информации. Рассмотрены основные реализованные в системе инструменты обработки и анализа данных, а также возможности их применения в интересах решения задач сельскохозяйственного мониторинга. Приведены результаты выполнения некоторых проектов в области сельского хозяйства, полученные с использованием системы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, спутниковые системы наблюдения Земли, информационные сервисы, Вега-PRO, агропромышленный комплекс, сельское хозяйство, сельскохозяйственные земли, мониторинг.

Цитирование: Денисов П.В., Трошко К.А., Лупян Е.А., Толпин В.А. Возможности и опыт использования информационной системы Вега-PRO для мониторинга сельскохозяйственных земель. Вычислительные технологии. 2022; 27(3):66–83. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.006.

Введение

В 2022 г. исполняется 10 лет с начала создания в ИКИ РАН и ООО “ИКИЗ” информационной системы Вега-PRO (<http://pro-vega.ru>) — профессионального информационного сервиса, предназначенного для анализа данных спутниковых наблюдений прежде всего для оценки и мониторинга состояния и использования сельскохозяйственных земель [1].

Создание системы стало возможным благодаря многолетним разработкам отдела технологий спутникового мониторинга ИКИ РАН в области автоматизированных методов и технологий сбора, архивации, обработки и распространения спутниковых данных. Поддержка системы осуществляется ООО “ИКИЗ”, а ее развитие — совместно обеими организациями в рамках стратегического соглашения о сотрудничестве. В основе системы лежат обновляемые в режиме, близком к реальному времени, более чем

20-летние архивы данных об использовании и состоянии сельскохозяйственных земель на территории России и близлежащих стран, полученные на основе спутниковых методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Вега-PRO предоставляет информацию о сельскохозяйственных землях на разных масштабных уровнях: от отдельного поля до страны в целом.

Система ориентирована на специалистов различных организаций и ведомств, осуществляющих деятельность в области агропромышленного комплекса (АПК) [2]:

- Министерства сельского хозяйства Российской Федерации и подведомственных ему учреждений;
- органов управления АПК субъектов Российской Федерации и районных управлений АПК;
- контрольно-надзорных органов;
- страховых и аналитических компаний;
- сельскохозяйственных товаропроизводителей.

Многолетний опыт использования сервиса Вега-PRO позволяет выделить следующие наиболее актуальные задачи применения данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга состояния и использования сельскохозяйственных земель:

- выделение границ сельскохозяйственных угодий, определение видов угодий и оценка их площадей;
- оценка используемости сельскохозяйственных угодий;
- определение посевов сельскохозяйственных культур и оценка их площадей;
- оперативная оценка состояния посевов и их урожайности;
- мониторинг уборочных работ;
- оценка последствий чрезвычайных ситуаций на землях сельскохозяйственного назначения;
- оценка зарастания сельскохозяйственных угодий древесно-кустарниковой растительностью;
- оценка зарастания земель сельскохозяйственного назначения борщевиком Сосновского, оценка эффективности мероприятий по борьбе с ним;
- оценка эффективности мероприятий по вводу неиспользуемых сельскохозяйственных угодий в оборот;
- выявление сельхозпалов;
- выявление нецелевого использования земель сельскохозяйственного назначения.

Настоящая работа посвящена описанию основных текущих возможностей системы Вега-PRO при решении задач оценки и мониторинга использования и состояния сельскохозяйственных земель.

1. Данные и продукты, доступные в системе Вега-PRO

Система Вега-PRO обеспечивает возможность удаленной работы пользователей с архивными и оперативными данными различных спутниковых систем ДЗЗ, полученными по территории всей Российской Федерации и некоторых сопредельных стран. В основе сервиса лежит полностью автоматическая обработка получаемых спутниковых данных, что позволяет ежедневно осуществлять обновление информации. Спутниковые данные в систему предоставляются Центром коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг» [3] в рамках соглашения между ИКИ РАН и ООО «ИКИЗ». В табл. 1 представлены сведения об основных доступных в Вега-PRO спутниковых данных среднего

Т а б л и ц а 1. Основные спутниковые данные высокого и среднего пространственного разрешения, доступные в системе Vega-PRO

Table 1. The main high and medium resolution satellite data available in Vega-PRO system

Спутник	Съемочная система	Глубина архива, г.	Спектральный диапазон	Размер пикселя, м	Ширина полосы захвата, км
Terra	MODIS	С 2000	Видимый, ближний ИК	250	2330
Aqua		С 2002			
Метеор-М № 1	КМСС	2011–2014	Видимый, ближний ИК	60	450
Метеор-М № 2		С 2014			
Метеор-М № 2-2		С 2019			
Landsat-4	TM	1987–1993	Видимый, ближний ИК, коротковолновый ИК	30	185
Landsat-5		1984–2012			
Landsat-7	ETM+	С 1999	Видимый, ближний ИК, коротковолновый ИК / панхроматический	30/15	185
Landsat-8	OLI	С 2013			
Landsat-9		С 2021			
Sentinel-2A	MSI	С 2015	Видимый, ближний ИК / узкий ближний ИК, крайний красный, коротковолновый ИК	10/20	185
Sentinel-2B		С 2017			
Sentinel-1A	C-band SAR	С 2014	Микроволновый	10	250
Sentinel-1B		2016–2021			

и высокого пространственного разрешения, которые преимущественно используются для решения сельскохозяйственных задач (приведена информация, касающаяся не всех спектральных каналов и режимов съемки). Представленная в табл. 1 информация актуальна на начало февраля 2022 г. Подробная ежедневно актуализируемая информация об архивах спутниковых данных, с которыми обеспечивается работа системы, в том числе схемы покрытия данными, приведены по адресу <http://pro-vega.ru/archives.shtml>.

По согласованию с пользователями системы также могут быть организованы доступ и возможность работы с другими спутниковыми данными, которыми располагает пользователь. Например, для представителей федеральных и региональных органов исполнительной власти в Vega-PRO может быть обеспечена работа с детальными данными российских спутников Ресурс-П и Каноус-В, предоставляемыми Госкорпорацией по космической деятельности «Роскосмос».

Сервис Vega-PRO обеспечивает возможность работы не только с исходными спутниковыми данными, но и с различными производными продуктами, формируемыми на их основе. К ним относятся, например, индексные изображения (в частности, широко используемые для наблюдения за растительностью индексы NDVI — Normalized Difference Vegetation Index, SAVI — Soil Adjusted Vegetation Index и многие другие), безоблачные (или малооблачные) композитные изображения, получаемые с различной частотой (сутки, неделя, месяц, сезон) по данным как среднего, так и высокого пространственного разрешения. Например, с начала 2000-х гг. на всю территорию России еженедельно в автоматическом режиме формируются безоблачные композитные изображения NDVI по данным прибора MODIS, а в последние годы разработана и реализована схема формирования ежедневных безоблачных аппроксимированных композитов

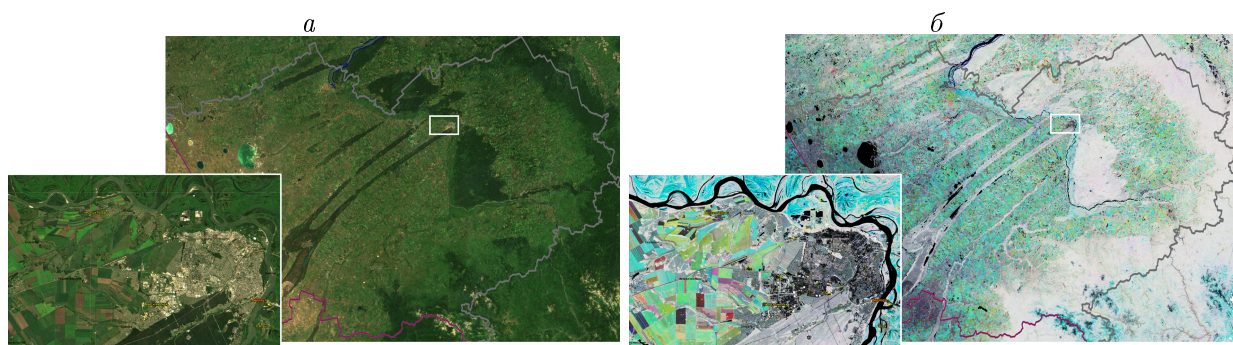


Рис. 1. Примеры малооблачных бесшовных композитов Sentinel-2 на территорию Алтайского края: *а* — синтез в “естественных цветах” (R — 650–680, G — 542–577, B — 456–523 нм) за июль 2021 г.; *б* — многовременной цветосинтезированный NDVI (R — июнь, G — июль, B — август 2021 г.)

Fig. 1. Altai Region, examples of seamless Sentinel-2 composites: *a* — “natural color” synthesis (R — 650–680, G — 542–577, B — 456–523 nm), July 2021; *b* — multi-temporal NDVI color synthesis (R — June, G — July, B — August 2021)

(как многозональных, так и индексных) по данным не только MODIS, но и КМСС [4] и MSI. С 2021 г. на основе данных сенсора MSI начато формирование ежемесячных малооблачных бесшовных композитов (также представленных в виде многозональных и индексных изображений) на всю территорию России [5]. Кроме того, реализована возможность формирования на их основе многовременных цветосинтезированных изображений в режиме “на лету” (рис. 1).

Помимо спутниковой информации Вега-PRO обеспечивает пользователям доступ к различным тематическим продуктам, формируемым на ее основе. Среди них интерес для решения сельскохозяйственных задач могут представлять:

- растровые маски (карты) обрабатываемой пашни, озимых и яровых культур, земель под паром, ежегодно формируемые по данным MODIS с начала 2000-х гг.;
- ежедневно обновляемые карты пожаров, в том числе сельхозпалов;
- цифровые модели рельефа с детальностью до 30 м.

Кроме спутниковых данных и различных продуктов, формируемых на их основе, Вега-PRO обеспечивает возможность работы с более чем 20-летним архивом метеорологических данных (температура воздуха, количество осадков, в том числе накопленные с начала года, и их отклонение от среднееголетних значений, а также многие другие), представленных в виде карт и графиков.

В системе реализована возможность импорта имеющейся у пользователей пространственной информации, как векторной (например, границ сельскохозяйственных угодий), так и растровой (карт или материалов аэрокосмической съемки).

2. Реализованные в Вега-PRO инструменты работы с данными, предназначенные для сельскохозяйственного мониторинга

Работа с пространственной информацией в системе Вега-PRO производится в веб-браузере с использованием специализированного картографического интерфейса.

Поскольку одним из основных объектов сельскохозяйственного мониторинга является поле, в картографическом интерфейсе системы реализован векторный редактор,

позволяющий как оконтуривать новые поля, так и редактировать геометрию ранее созданных или импортированных векторных объектов. В результате проведенной в 2021 г. модернизации векторного редактора в нем появились новые функции: сдвиг, разрезание, упрощение, объединение полигонов, вырезание “дырок” в полигонах, разделение мультиполигонов.

В Vega-PRO реализованы разнообразные инструменты интерактивной обработки и анализа материалов спутниковой съемки, в том числе совместно с другими пространственными данными, сведения о которых приведены в предыдущем разделе статьи. Эти инструменты обеспечивают возможность проведения как стандартной (коррекция гистограмм, допривязка, алгебра изображений, цветовой синтез многозональных и разновременных изображений и др.), так и тематической обработки спутниковых данных. В свою очередь, инструменты тематической обработки можно разделить на две группы:

- классические, доступные в большинстве программных продуктов, предназначенных для обработки данных дистанционного зондирования (например, сегментация, классификация без обучения и с обучением);
- уникальные, в число которых входят инструменты оценки проективного покрытия древесно-кустарниковой растительностью, используемости пашни, верификации и корректировки сведений о выращиваемых культурах, оценки состояния посевов сельскохозяйственных культур. Работа последних трех инструментов, краткое описание которых приведено ниже, основана на использовании временных рядов вегетационных индексов, усредненных в пределах различных объектов.

По каждому векторному объекту (полю), заведенному в системе, возможен расчет более чем 20-летнего ряда усредненных значений NDVI на основе еженедельных безоблачных композитов индекса по данным MODIS (при необходимости ряды индекса могут быть рассчитаны и на основе ежедневных безоблачных аппроксимированных композитов NDVI по данным MODIS, КМСС и MSI [6]). По состоянию на начало февраля 2022 г. такие ряды рассчитаны для нескольких миллионов полей, заведенных разными пользователями системы.

Инструмент оценки используемости пашни базируется на автоматическом сравнении сезонного хода NDVI на поле с динамикой индекса, свойственной используемым и неиспользуемым полям в пределах заданной территории. Эталоны полей, относящихся к разным классам, отбираются экспертом и используются на двух этапах работы инструмента: при обучении алгоритма и оценке достоверности результирующей карты. Примеры использования этого инструмента по территории различных субъектов Российской Федерации представлены в публикациях [7, 8].

Работа инструмента верификации и корректировки сведений о выращиваемых культурах основана на автоматическом сравнении сезонного хода вегетационного индекса, усредненного в пределах поля с заявленной культурой, с эталонным ходом индекса, свойственным этой культуре в выбранном районе и сезоне. Эталоны для каждой культуры формируются на основе сведений, предоставленных пользователями системы. В результате проведения этой процедуры каждому полю с занесенной культурой присваивается статус верификации (“пройдена” или “не пройдена”). Полям, не прошедшим верификацию, дополнительно присваивается информация о наиболее вероятной выращиваемой культуре.

Оценка состояния посевов на основе усредненного по полю NDVI может выполняться в системе с использованием графиков и карт. По графикам, например, возможно

анализировать влияние метеорологической обстановки на особенности сезонного развития культуры на поле, сравнивать динамику вегетации на соседних полях, занятых одной и той же культурой. Наборы карт, формируемых на основе усредненных по полям значений вегетационного индекса, позволяют, к примеру, анализировать изменения количества зеленой массы на поле по сравнению с предыдущей неделей, выявлять отклонения в состоянии культуры на поле относительно состояния этой же культуры в целом в рассматриваемом районе в заданный момент времени.

Кроме того, в Vega-PRO реализован набор инструментов, нацеленных на проведение оценки состояния посевов отдельных групп культур (озимых и яровых) в рамках районов или субъектов Российской Федерации. Работа этих инструментов базируется на сопоставлении сезонного хода NDVI, усредненного в пределах земель, занятых выбранной группой культур в пределах выбранной единицы административно-территориального деления, с ходом NDVI в любом другом выбранном году, начиная с начала 2000-х гг., или со среднемноголетней “нормой”. Результаты работы этих инструментов могут быть также представлены в виде карт (например, порайонного отклонения значений NDVI заданной группы культур от среднемноголетней “нормы” в заданную неделю года) и графиков, на которых ряды NDVI за разные годы возможно анализировать совместно с рядами различных метеопараметров. Примеры использования этих инструментов можно найти, например, в работах [9–11] или в периодически публикуемых на сайте Vega-PRO информационных бюллетенях о состоянии посевов на территории России (<http://pro-vega.ru/bulletins.shtml>).

3. Опыт использования системы Vega-PRO

Многолетний опыт использования системы Vega-PRO позволил сформулировать рекомендации по применению доступных в ней данных и реализованных инструментов для решения различных сельскохозяйственных задач. В обобщенном виде они представлены в табл. 2. В настоящем разделе приводятся примеры результатов выполнения некоторых проектов (как в рамках договоров, так и инициативных) в области сельского хозяйства, полученных с использованием системы Vega-PRO в течение последних нескольких лет. Эти работы включали в себя не только предоставление доступа к системе и формирование высокоуровневых продуктов обработки спутниковых данных (преимущественно малооблачных ежемесячных композитов Sentinel-2), но и подготовку различных тематических продуктов (карт используемости земель, выращиваемых культур, распространения в пределах сельскохозяйственных земель древесно-кустарниковой растительности и борщевика Сосновского и др.), проведение экспертных оценок (используемости земель, состояния посевов).

3.1. Картографирование используемой и неиспользуемой пашни. Оценка зарастания неиспользуемой пашни древесно-кустарниковой растительностью

14 мая 2021 г. Правительством Российской Федерации утверждено постановление № 731 “О Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации” (Госпрограмма), одной из целей которой является получение достоверных и актуальных сведений о количественных характеристиках и границах земель сельскохозяй-

Т а б л и ц а 2. Сельскохозяйственные задачи, основные данные и инструменты системы Vega-PRO

Table 2. The main data and instruments of Vega-PRO system used for solving of agricultural problems

Задача	Ручная векторизация	Визуальный анализ			Автоматизированный анализ		
		Одиночное изображение или серия разновременных изображений	Многовременные цветные синтезированные изображения	Графики хода вегетационных индексов	Классификация	Сегментация	Специализированный инструмент
Выделение границ сельхоз. угодий и посевов сельхоз. культур	+	+	+	-	-	+	-
Определение видов использования сельхоз. угодий*	-	+	+	+	+	-	-
Оценка используемости сельхоз. угодий*	-	+	+	+	+	-	+
Определение и верификация сведений о выращиваемых культурах*	-	+	+	+	+	-	+
Оценка состояния посевов и ожидаемого урожая на уровне поля*	-	+	-	+	-	-	+
Оценка состояния посевов и ожидаемого урожая на уровне районов и субъектов	-	+	-	+	-	-	+
Мониторинг уборочных работ*	-	+	+	-	+	-	-
Выявление зарастания сельхоз. угодий древесно-кустарниковой растительностью*	-	+	-	-	+	-	+
Выявление участков произрастания борщевика Сосновского	-	+	-	-	+	-	-
Выявление и оценка последствий чрезвычайных ситуаций на сельхоз. угодьях*	-	+	+	-	+	-	-
Выявление нецелевого использования земель сельхоз. назначения*	-	+	-	-	+	-	-

* Задачи, для решения которых рекомендуется использовать векторные границы полей.

ственного назначения, включая количественные и качественные характеристики сельскохозяйственных угодий, вовлекаемых в оборот. В ходе подготовки к участию в круглом столе «Основные аспекты ввода земель в сельскохозяйственный оборот в рамках Госпрограммы...», состоявшемся в рамках XXIII Всероссийской агропромышленной выставки «Золотая осень 2021», с целью демонстрации возможностей применения технологий ДЗЗ с использованием Vega-PRO выполнены эксперименты по картографированию использованных и неиспользованных пахотных земель в разных субъектах Российской Федерации, а также заросших древесно-кустарниковой растительностью.

Для этого использовались следующие возможности системы: многовременной синтез спутниковых данных (как актуальных для выделения обрабатываемой в настоящее время пашни, так и архивных для выделения ранее используемых, но заброшенных пахотных земель) и векторное редактирование. Пример выделения используемой и неиспользуемой пашни представлен на рис. 2. Для выявления зарастания неиспользуемой пашни древесно-кустарниковой растительностью использовался инструмент оценки проективного покрытия леса, пример работы которого показан на рис. 3.

В результате проведения эксперимента для выбранных районов сформированы наборы карт используемых и неиспользуемых пахотных земель и зарастания заброшенной пашни древесно-кустарниковой растительностью (рис. 4), которые могут быть использованы для принятия решений о целесообразности ввода тех или иных земельных участков в сельскохозяйственный оборот.

3.2. Картографирование борщевика Сосновского

Борщевик Сосновского — сорное растение, оказывающее сильное негативное воздействие на человека, домашний скот и экосистемы, при этом получившее масштабное распространение во многих субъектах Российской Федерации. Например, в Московской области, на протяжении нескольких последних лет проводятся мероприятия по борьбе с этим растением, а отсутствие таких мероприятий влечет за собой наложение

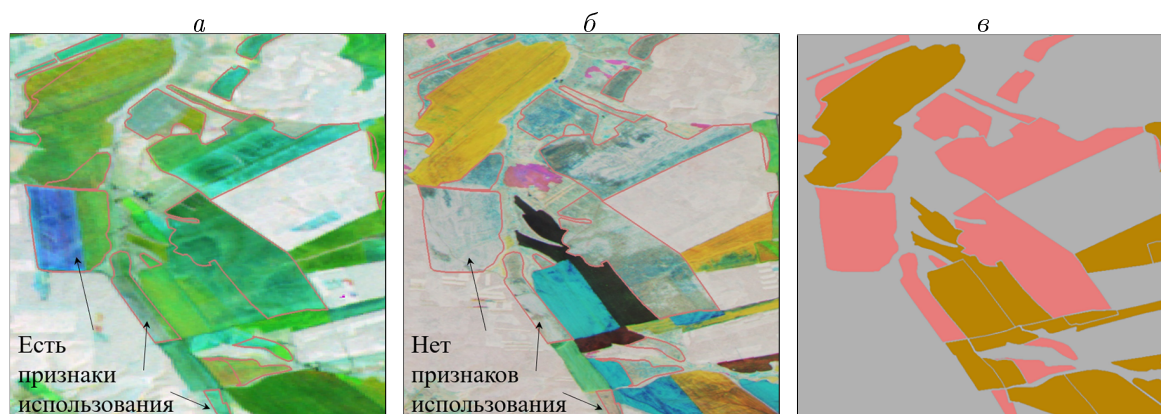


Рис. 2. Пример картографирования в Vega-PRO используемой и неиспользуемой пашни: *a* — многовременной синтез NDVI по данным Landsat, 1986 г.; *б* — многовременной синтез NDVI по данным Sentinel-2, 2020 г.; *в* — карта используемой (коричневые участки) и не используемой (розовые участки) в 2020 г. пашни

Fig. 2. An example of used and unused arable lands mapping by Vega-PRO: *a* — multi-temporal synthesis of Landsat NDVI, 1986; *б* — multi-temporal synthesis of Sentinel-2 NDVI, 2020; *в* — the map of fields used (brown) and unused (pink) in 2020

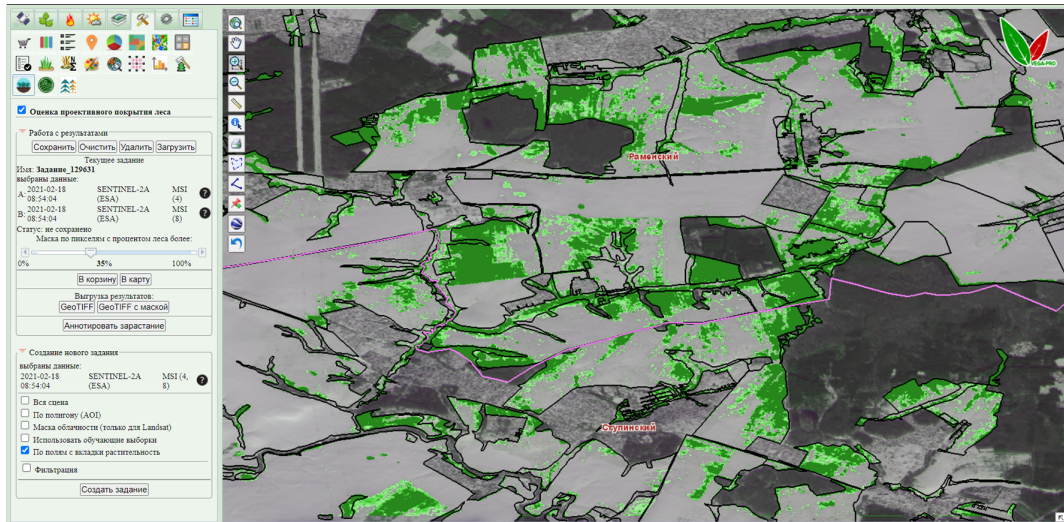


Рис. 3. Пример результата оценки проективного покрытия леса в Vega-PRO
 Fig. 3. An example of forest projective cover assessment by Vega-PRO

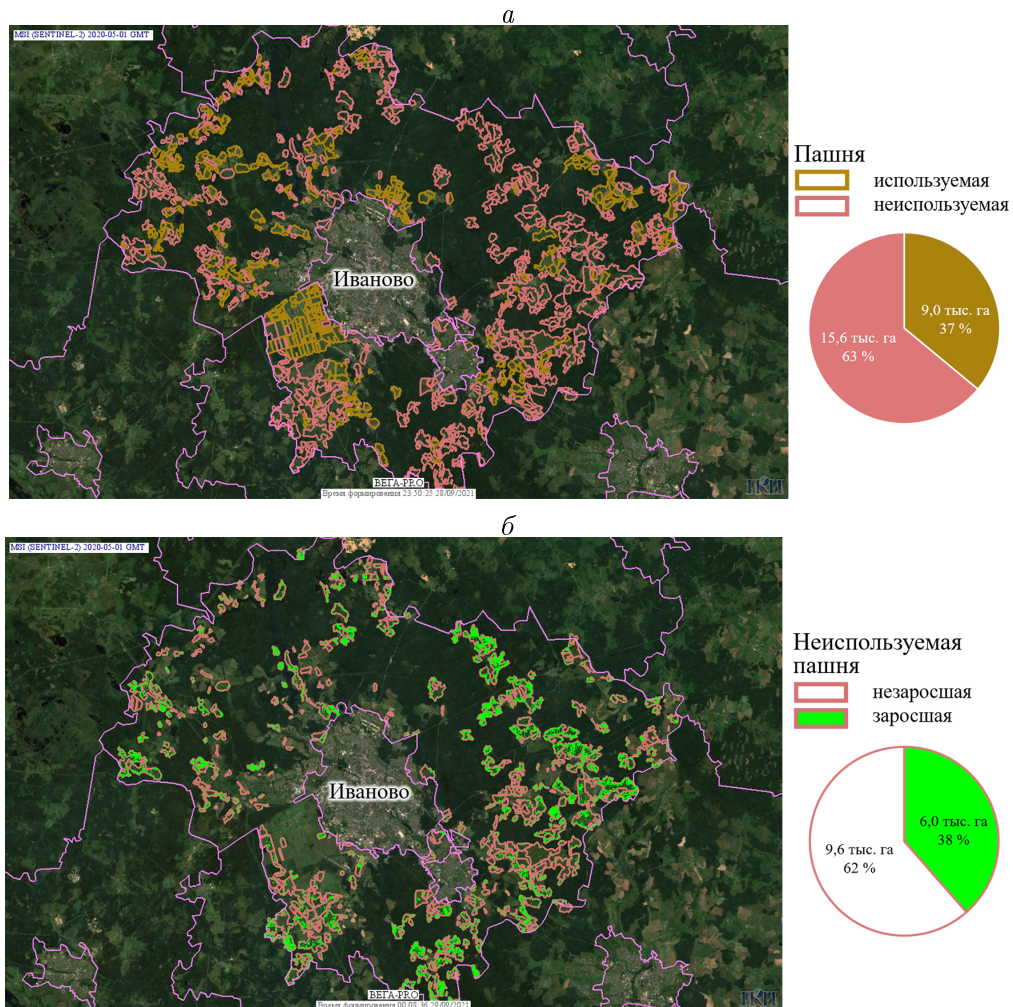


Рис. 4. Карты, полученные с использованием Vega-PRO на территорию Ивановского района Ивановской области: *а* — используемая и не используемая в 2020 г. пашня; *б* — неиспользуемая пашня, заросшая древесно-кустарниковой растительностью
 Fig. 4. Maps of used and unused arable lands (*а*) and unused lands forest overgrowth (*б*). Ivanovo Region, Ivanovskiy Raion, 2020

штрафов. В 2021 г. для уточнения местоположения и площади участков зарастания борщевиком Сосновского в интересах Министерства сельского хозяйства и продовольствия Московской области проводились работы по картографированию борщевика на территории региона. Для этого использовались доступные в Vega-PRO спутниковые данные высокого пространственного разрешения, полученные в 2020–2021 гг., и их классификация. Пример результата автоматизированного выделения борщевика Сосновского в Vega-PRO приведен на рис. 5.

Возможность экспорта растрового результата классификации из системы позволила провести его постобработку (в том числе векторизацию и частичную корректировку)

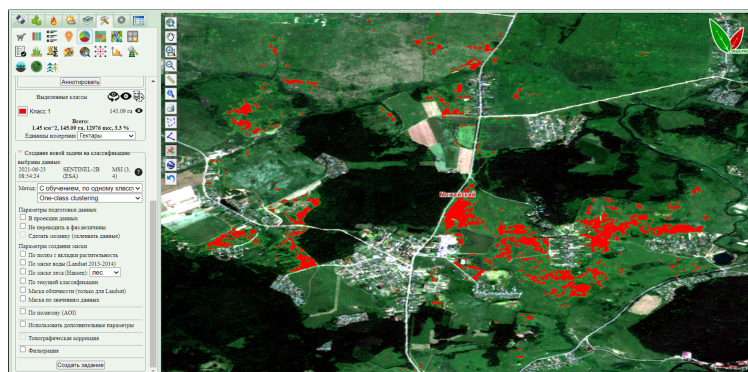


Рис. 5. Пример автоматизированного выделения участков зарастания борщевиком Сосновского (красные пиксели) по данным Sentinel-2 в Vega-PRO

Fig. 5. An example of Heracleum Sosnowskyi automatic detection (red pixels) by Vega-PRO system using Sentinel-2 satellite imagery

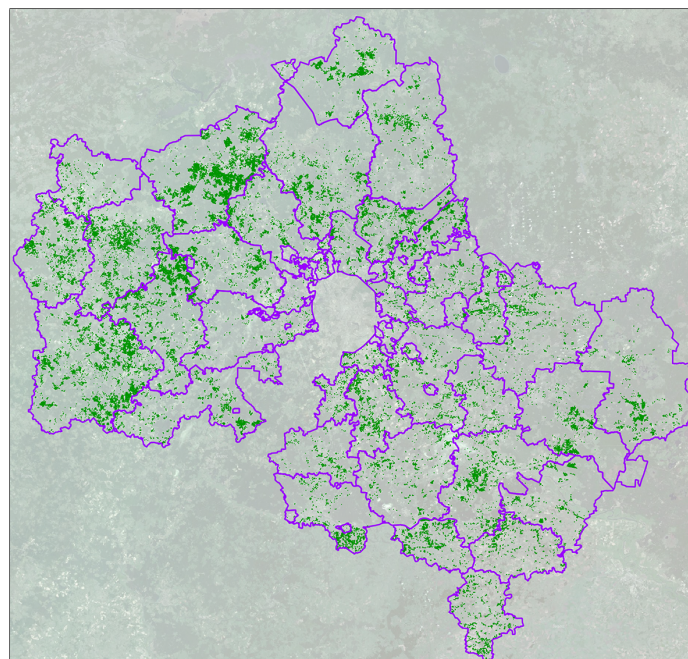


Рис. 6. Карта распространения борщевика Сосновского на территории Московской области, полученная по спутниковым данным 2020–2021 гг.

Fig. 6. The map of Heracleum Sosnowskyi in the Moscow Region obtained from satellite data in 2020–2021

в открытом геоинформационном программном обеспечении. В результате проведения всех этих процедур получен векторный слой участков произрастания борщевика Сосновского на территории Московской области с суммарной площадью этих участков более 40 тыс. га (рис. 6).

3.3. Распознавание посевов сельскохозяйственных культур

В связи с вводом в эксплуатацию Минсельхозом России в апреле 2018 г. Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения и землях, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий (ЕФИС ЗСН), агрегирующей в том числе сведения о выращиваемых культурах в разрезе полей, актуальной задачей дистанционного зондирования в последние годы стало распознавание сельскохозяйственных культур. Помимо того, что Вега-PRO предоставляет пользователям сформированные по данным прибора MODIS карты групп культур (озимых и яровых) и земель под паром, реализованные в системе инструменты позволяют выделять и отдельные культуры. Например, картографирование посевов ранних зерновых, кукурузы, риса и сои выполнялось по территории Приморского края по спутниковым данным 2019 г. с использованием следующего набора инструментов: цветосинтез разновременных изображений (рис. 7, а), графики сезонного хода NDVI, усредненного по полям (рис. 7, б), попиксельная классификация изображений. Фрагмент результирующей карты представлен на рис. 7, в.

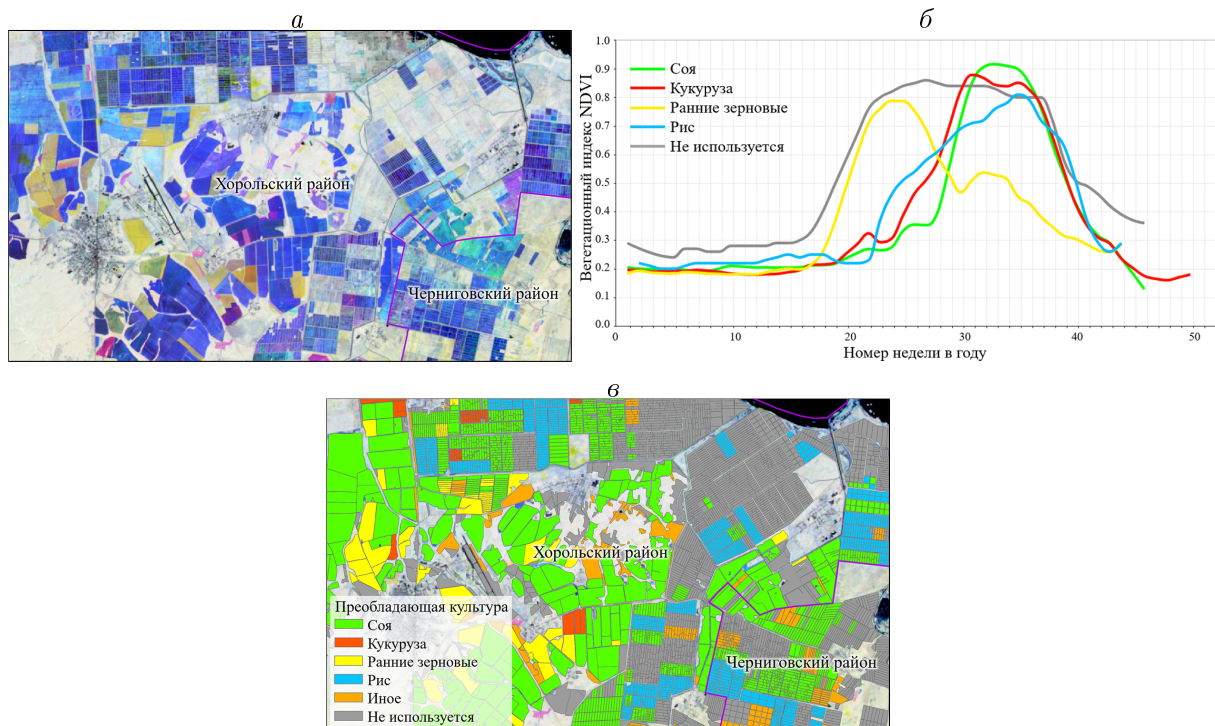


Рис. 7. Пример картографирования сельскохозяйственных культур под урожай 2019 г. в Приморском крае: а — многовременной цветосинтез NDVI по данным Sentinel-2 (R — 24 июня, G — 9 июля, В — 3 августа); б — графики хода NDVI по данным MODIS, усредненного по полям; в — фрагмент карты культур

Fig. 7 An example of agricultural crops mapping in Primorsky Region in 2019: а — multitemporal NDVI color synthesis based on Sentinel-2 data (R — June 24, G — July 9, В — August 3); б — NDVI dynamics within the fields based on MODIS data; в — crops map fragment

Отметим, что в опытной эксплуатации также находится инструмент объектно-ориентированной классификации, позволяющий в автоматизированном режиме определять культуры, выращиваемые в пределах векторных границ полей, на основе информации о сезонной динамике NDVI.

3.4. Оценка состояния посевов сельскохозяйственных культур (на примере сезона 2020–2021 гг.)

В течение 2021 г. с использованием комплекса доступных в Vega-PRO данных и инструментов выполнялось наблюдение за состоянием посевов сельскохозяйственных культур на территории Российской Федерации. В ходе осуществления мониторинга выявлены следующие особенности сельскохозяйственного сезона 2020–2021 гг.

Осенью 2020 г. на юге Европейской части России наблюдалась масштабная засуха (рис. 8, *a*), отразившаяся на картограмме отклонений вегетационного индекса NDVI от

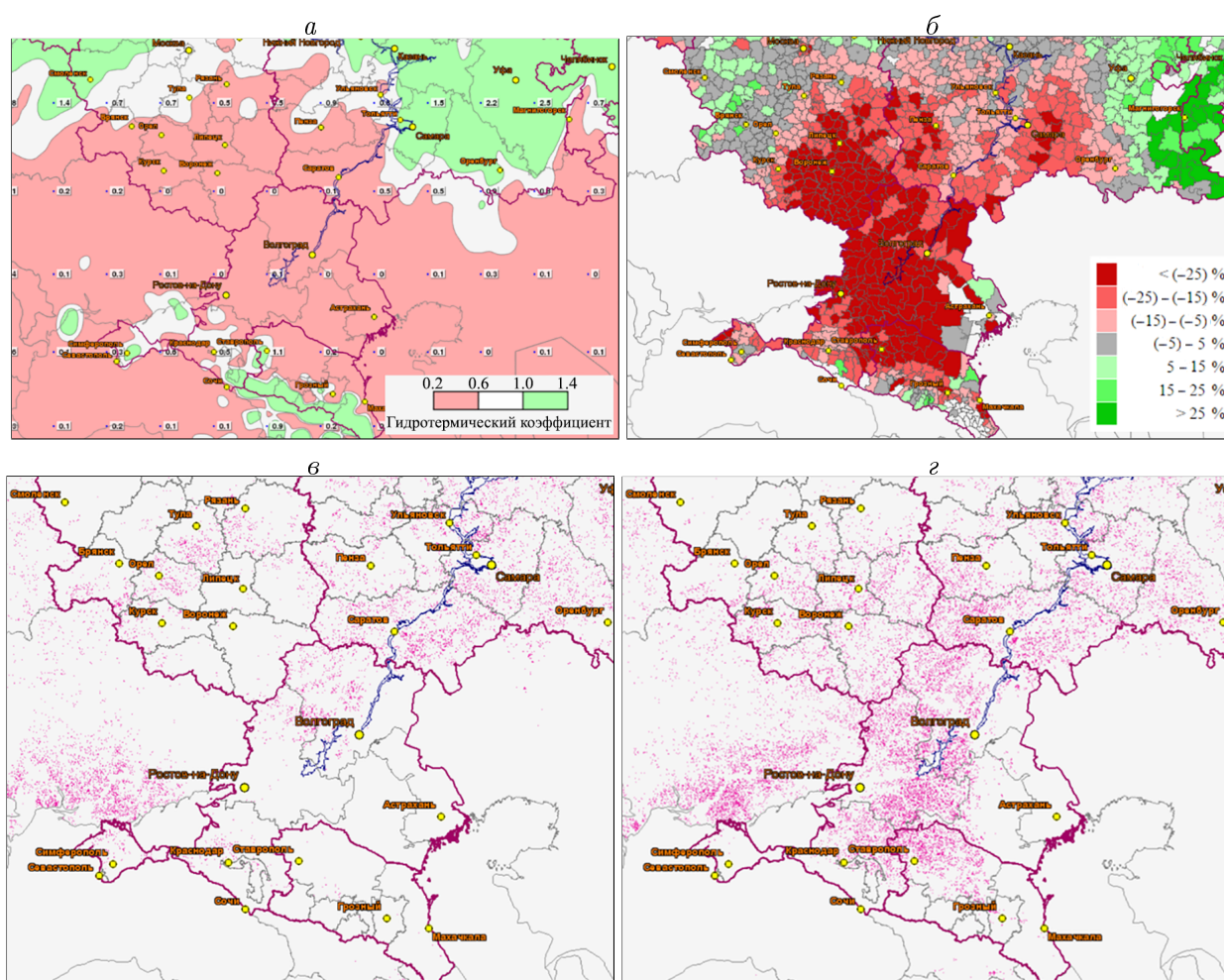


Рис. 8. Юг Европейской территории России: *a* — гидротермический коэффициент за месяц по состоянию на 27 сентября 2020 г.; *б* — отклонение NDVI пахотных земель от многолетней нормы, 39 неделя (21–27 сентября) 2020 г.; озимые культуры, детектированные по спутниковым данным к 17.12.2020 (*в*) и 04.12.2019 (*г*)

Fig. 8. The South of European Russia: *a* — hydrothermal coefficient for the month, 27.09.2020; *б* — deviation of NDVI of arable lands from the long-term norm, 39 week (September 21–27) of 2020; winter crops detected from satellite data at 17.12.2020 (*в*) and 04.12.2019 (*г*)

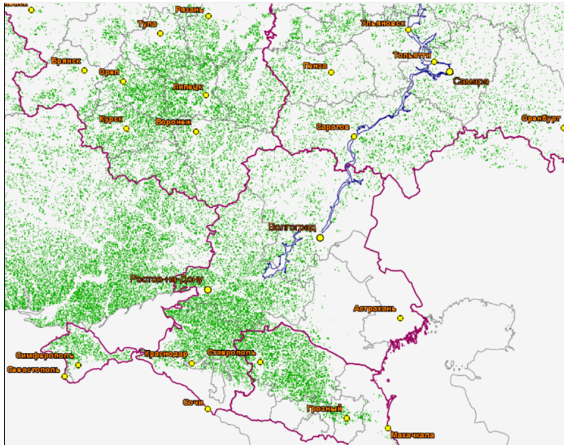


Рис. 9. Озимые культуры, детектированные по спутниковым данным к 30.06.2021
Fig. 9. Winter crops detected using satellite data at 30.06.2021

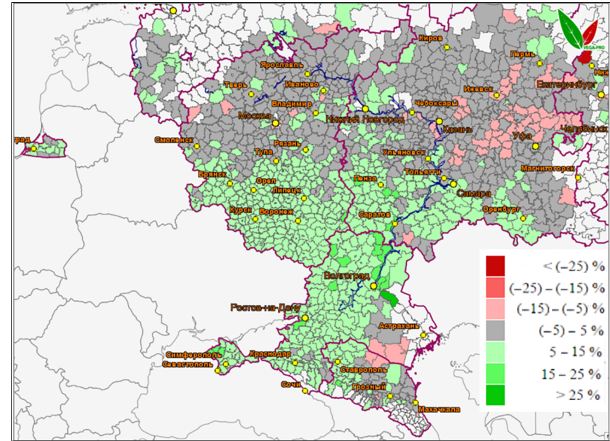


Рис. 10. Порайонные отклонения NDVI_{max} озимых в 2021 г. от среднемноголетних максимумов
Fig. 10. Deviation of winter crops NDVI_{max} in 2021 from average long-term maximum NDVI values

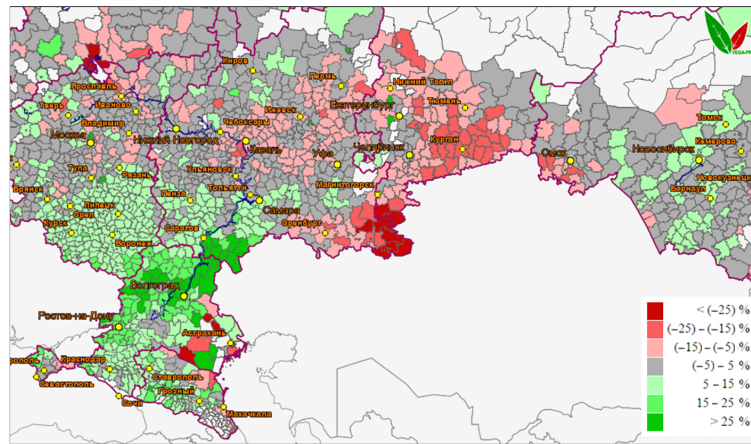


Рис. 11. Порайонные отклонения NDVI_{max} яровых в 2021 г. от среднемноголетних максимумов
Fig. 11. Deviation of spring crops NDVI_{max} in 2021 from average long-term maximum NDVI values

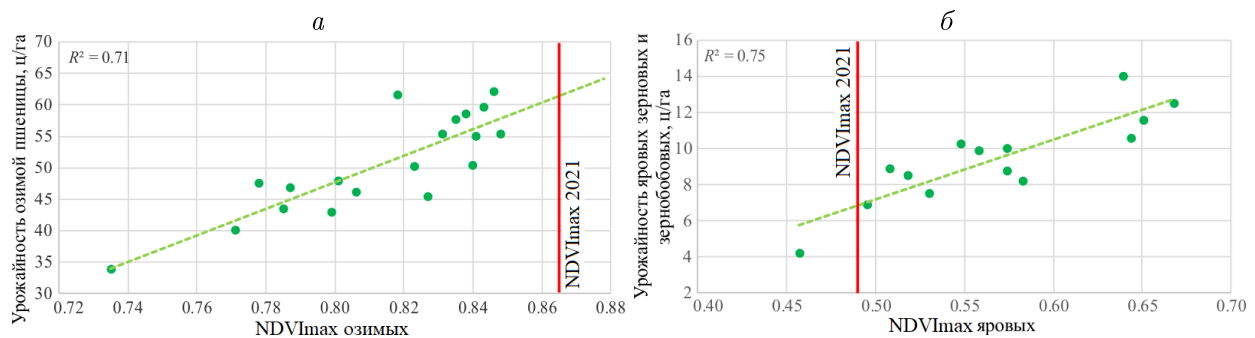


Рис. 12. Связь: NDVI_{max} и урожайности озимой пшеницы в Краснодарском крае (а), NDVI_{max} и урожайности яровых зерновых и зернобобовых культур в Оренбургской области (б) в хозяйствах всех категорий (<https://www.fedstat.ru>) в 2002–2020 гг. и прогнозные значения урожайности на 2021 г. (на пересечении зеленой пунктирной линии тренда и красной вертикальной линии)

Fig. 12. Correlation between: NDVI_{max} values and the yield of winter wheat in Krasnodar Region (а), NDVI_{max} and spring grain crops in Orenburg Region (б) in 2002–2020 and forecast yield values for 2021 (at the intersection of the green trend line and the red vertical line)

среднегодовых значений в виде красных областей (рис. 8, б). В конце 2020 г. на территории Северо-Кавказского федерального округа, Республики Калмыкия, Ростовской, Воронежской, Белгородской, Курской, Липецкой и Тамбовской областей по данным спутниковых наблюдений было детектировано значительно меньше озимых культур (рис. 8, в), чем осенью 2019 г. (рис. 8, г) [9, 10].

В весенне-летний период 2021 г. ситуация с озимыми культурами во многих районах юга Европейской части России нормализовалась, о чем говорит существенно возросшее количество детектированных по данным спутниковых наблюдений участков, занятых этой группой посевов (рис. 9). Кроме того, выявлено, что в большинстве районов южной части Европейской территории России озимые культуры развивались лучше среднегодовой нормы, а на севере Центрального федерального округа и в большинстве районов Приволжского федерального округа (за исключением его юго-западной части) — близко к норме или несколько хуже нее (рис. 10) [11].

Яровые культуры на территории России в 2021 г. развивались неравномерно. В целом хорошее их состояние наблюдалось в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах, на юге Центрального и юго-западе Приволжского, а также на юге Сибирского федеральных округов. Некоторые проблемы в развитии яровых культур, связанные с повышенными температурами и недостатком осадков в летний период, отмечались в поясе, затрагивающем северные районы Центрального, большую часть районов Приволжского и Уральского, юго-западные районы Сибирского федеральных округов (рис. 11) [11].

В 2021 г. были продолжены экспериментальные работы по совместному анализу данных спутниковых наблюдений и многолетней статистической информации об урожайности сельскохозяйственных культур, которые показывают возможность проведения заблаговременной оценки урожайности ключевых для России групп культур — озимых зерновых и яровых зерновых и зернобобовых (рис. 12) [11]. Согласно статистическим данным (<https://www.fedstat.ru>), фактическая урожайность озимой пшеницы в хозяйствах всех категорий в Краснодарском крае составила 59.8 ц/га, а яровых зерновых и зернобобовых культур в Оренбургской области — 6.2 ц/га.

Заключение

На протяжении всего времени своего существования система Vega-PRO непрерывно развивалась за счет:

- постоянного (ежедневного) расширения архивов спутниковых данных, добавления данных новых систем дистанционного зондирования Земли;
- расширения возможностей работы с высокоуровневыми продуктами обработки спутниковых данных (композитными изображениями, различными тематическими картами и т. д.);
- расширения возможностей работы с дополнительной информацией, важной для сельскохозяйственного мониторинга, в первую очередь — метеорологической;
- добавления новых инструментов, позволяющих проводить обработку и анализ спутниковых данных;
- совершенствования технологий работы со спутниковыми данными;
- наращивания вычислительной инфраструктуры.

Приведенное выше описание возможностей системы Вега-PRO позволяет сделать следующие выводы о преимуществах ее использования для решения задач сельского хозяйства [12]:

- комплексное использование всех доступных в системе данных позволяет повысить эффективность принятия решений в сфере управления сельскохозяйственными землями, прежде всего за счет оперативного получения информации о проводимых на них мероприятиях и происходящих процессах;
- большая глубина архивов доступных спутниковых данных позволяет получить историческую (вплоть до середины 1980-х гг.) информацию об использовании и состоянии сельскохозяйственных земель на всей территории страны, проследить историю происходящих на них изменений;
- высокая степень автоматизации процессов обработки спутниковых данных позволяет значительно сократить временные затраты на получение пользователем интересующих его сведений о сельскохозяйственных землях, в том числе одновременно по большим площадям;
- использование возможностей спутникового мониторинга в формате онлайн-сервиса, обеспечивающего доступ к спутниковым и иным пространственным данным, инструментам их обработки и анализа, существенно снижает материальные затраты по сравнению с подходом, в рамках которого пользователю приходилось бы осуществлять самостоятельное поддержание всей инфраструктуры, необходимой для работы с этой информацией.

В завершение отметим, что в системе Вега-PRO реализованы в том числе подходы к организации работы со спутниковыми данными, разработанные в ИКИ РАН. Система создана с использованием возможностей ЦКП “ИКИ-Мониторинг” [3].

Благодарности. Настоящая работа подготовлена при поддержке темы “Мониторинг” (госрегистрация № 122042500031-8).

Список литературы

- [1] Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности (“Вега”). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011; 8(1):190–198.
- [2] Лупян Е.А., Савин И.Ю., Толпин В.А., Нестеренко А.А. Оперативный спутниковый мониторинг посевов и прогнозирование урожайности. Земельные ресурсы и продовольственная безопасность Центральной Азии и Закавказья. 2016: 250–273.
- [3] Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Кашницкий А.В., Балашов И.В., Барталев С.А., Константинова А.М., Кобец Д.А., Мазуров А.А., Марченков В.В., Матвеев А.М., Радченко М.В., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП “ИКИ-Мониторинг”). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019; 16(3):151–170. DOI:10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170.
- [4] Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Жуков Б.С., Матвеев А.М., Барталев С.А., Егоров В.А., Кашницкий А.В., Прошин А.А. Публикация коллекции мультиспектральных измерений прибором КМСС-М (КА “Метеор-М” №2) для количественной оценки характеристик земной поверхности. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020; 17(7):276–282.

- [5] **Кашницкий А.В., Бурцев М.А., Прошин А.А.** Технология создания безоблачных бесшовных ежемесячных композитных изображений по данным спутников серии Sentinel-2. Материалы 19-й Международной конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. М.; 2021: 32.
- [6] **Кашницкий А.В., Плотников Д.Е., Толпин В.А., Лупян Е.А.** Сравнение осредненного в пределах полей различного размера значений вегетационного индекса NDVI, полученного в течение сезона вегетации по данным приборов MSI, MODIS и КМСС. Материалы 19-й Международной конференции “Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса”. М.; 2021: 92.
- [7] **Denisov P.V., Kashnitskii A.V., Loupian E.A., Sereda I.I., Tolpin V.A., Troshko K.A.** Assessment of arable lands use in the VEGA satellite monitoring services on the example of Primorsky Krai. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020; (547):012005. DOI:10.1088/1755-1315/547/1/012005.
- [8] **Denisov P.V., Kashnitskiy A.V., Loupian E.A., Sereda I.I., Tolpin V.A., Troshko K.A.** Possibilities of “Vega” satellite monitoring services for arable land use assessment on the example of Smolensk Region, Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021; 723(3):032072. DOI:10.1088/1755-1315/723/3/032072.
- [9] **Лупян Е.А., Серeda И.И., Денисов П.В., Трошко К.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А.** Дистанционный мониторинг состояния озимых культур зимой 2020/2021 гг. на Европейской территории России. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021; 18(1):165–172. DOI:10.21046/2070-7401-2021-18-1-165-172.
- [10] **Денисов П.В., Серeda И.И., Трошко К.А., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А.** Возможности и опыт оперативного дистанционного мониторинга состояния озимых культур на территории России. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021; 18(2):171–185. DOI:10.21046/2070-7401-2021-18-2-171-185.
- [11] **Трошко К.А., Денисов П.В., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Толпин В.А.** Особенности состояния зерновых культур в регионах европейской части России и Сибири в июне 2021 г. по данным дистанционного мониторинга. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021; 18(3):325–331. DOI:10.21046/2070-7401-2021-18-3-325-331.
- [12] **Денисов П.В., Лупян Е.А., Толпин В.А., Трошко К.А.** Спутниковый сервис “VegaPRO” для сельскохозяйственного мониторинга. Управление рисками в АПК. 2021; (1):22–36. DOI:10.53988/24136573-2021-01-02.

Potential and experience of Vega-PRO information system use for monitoring of agricultural lands

DENISOV PAVEL V.^{1,2}, TROSHKO KSENIA A.^{1,*}, LOUPIAN EVGENIY A.¹, TOLPIN VLADIMIR A.¹

¹Space Research Institute, Russian Academy of Sciences, 117997, Moscow, Russia

²PLC “IKIZ”, 121205, Moscow, Russia

*Corresponding author: Troshko Ksenia A., e-mail: pianistka_07@mail.ru

Received March 17, 2022, revised April 27, 2022, accepted May 04, 2022.

Abstract

Potential of Vega-PRO information system applied for agricultural lands use and state remote observation is discussed in the paper. A list of agricultural monitoring tasks that are solved using the system in the interests of various consumers is given. Information on satellite data available in the system, various thematic products and other spatial information is presented. The main data processing and analysis tools realized in the system, as well as the potential of their application in the interests of agricultural monitoring, are considered. The results of different agricultural projects obtained using the system are presented.

Keywords: remote sensing, Earth observation satellite systems, information services, Vega-PRO, industrial agriculture, agriculture, agricultural lands, monitoring.

Citation: Denisov P.V., Troshko K.A., Loupian E.A., Tolpin V.A. Potential and experience of Vega-PRO information system use for monitoring of agricultural lands. Computational Technologies. 2022; 27(3):66–83. DOI:10.25743/ICT.2022.27.3.006. (In Russ.)

Acknowledgements. This work was supported by the “Monitoring” theme (state registration № 122042500031-8).

References

1. **Loupian E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E.** Satellite service for vegetation monitoring VEGA. *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2011; 8(1):190–198. (In Russ.)
2. **Loupian E.A., Savin I.Yu., Tolpin V.A., Nesterenko A.A.** Real-time satellite monitoring of crops and yield forecasting. *Zemel'nye Resursy I Prodovolstvennaya Bezopasnost' Tsentralnoi Azii I Zakavkaz'ya*. 2016: 250–273. (In Russ.)
3. **Loupian E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Kashnitskii A.V., Balashov I.V., Bartalev S.A., Konstantinova A.M., Kobets D.A., Mazurov A.A., Marchenkov V.V., Matveev A.M., Radchenko M.V., Sychugov I.G., Tolpin V.A., Uvarov I.A.** Experience of development and operation of the IKI-Monitoring center for collective use of systems for archiving, processing and analyzing satellite data. *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2019; 16(3):151–170. (In Russ.)
4. **Plotnikov D.E., Kolbudaev P.A., Zhukov B.S., Matveev A.M., Bartalev S.A., Egorov V.A., Kashnitskii A.V., Proshin A.A.** The collection of multispectral KMSSM (Meteor-M No. 2) satellite data aimed at quantitative assessment of the Earth surface. *Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2020; 17(7):276–282. (In Russ.)
5. **Kashnitskii A.V., Burtsev M.A., Proshin A.A.** Technology of cloud-free seamless monthly composite images creation based on Sentinel-2 satellites series data [Tekhnologiya sozdaniya bezoblachnykh besshovnykh ezchemesyachnykh kompozitnykh izobrazhenij po dannym sputnikov serii Sentinel-2]. *Materialy 19-j Mezhdunarodnoj Konferencii “Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa” (Proc. 19th Intern. Conf. “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”)*. Moscow; 2021: 32. (In Russ.)
6. **Kashnitskii A.V., Plotnikov D.E., Tolpin V.A., Loupian E.A.** Comparison of NDVI vegetation index values averaged within the fields of different sizes obtained during the growing season according to MSI, MODIS and KMSS instruments data [Sravnenie osrednennogo v predelakh polej razlichnogo razmera znachenij vegetacionnogo indeksa NDVI, poluchennogo v techenie sezona vegetacii po dannym priborov MSI, MODIS i KMSS]. *Materialy 19-j Mezhdunarodnoj Konferencii “Sovremennye Problemy Distantsionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa” (Proc. 19th Intern. Conf. “Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space”)*. Moscow; 2021: 92. (In Russ.)
7. **Denisov P.V., Kashnitskii A.V., Loupian E.A., Sereda I.I., Tolpin V.A., Troshko K.A.** Assessment of arable lands use in the VEGA satellite monitoring services on the example of Primorsky Krai. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020; (547):012005. DOI:10.1088/1755-1315/547/1/012005.
8. **Denisov P.V., Kashnitskiy A.V., Loupian E.A., Sereda I.I., Tolpin V.A., Troshko K.A.** Possibilities of “Vega” satellite monitoring services for arable land use assessment on the example of Smolensk Region, Russia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 723(3):032072. DOI:10.1088/1755-1315/723/3/032072.

9. **Loupian E.A., Sereda I.I., Denisov P.V., Troshko K.A., Plotnikov D.E., Tolpin V.A.** Remote monitoring of winter crops condition in the winter of 2020/2021 in the European territory of Russia. *Sovremennye Problemy Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2021; 18(1):165–172. (In Russ.)
10. **Denisov P.V., Sereda I.I., Troshko K.A., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Tolpin V.A.** Opportunities and experience of operational remote monitoring of winter crops condition in Russia. *Sovremennye Problemy Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2021; 18(2):171–185. (In Russ.)
11. **Troshko K.A., Denisov P.V., Loupian E.A., Plotnikov D.E., Tolpin V.A.** The state of grain crops in the European part of Russia and Siberia in June 2021 based on remote sensing data. *Sovremennye Problemy Distantcionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 2021; 18(3):325–331. (In Russ.)
12. **Denisov P.V., Loupian E.A., Tolpin V.A., Troshko K.A.** Vega-PRO satellite service for agricultural monitoring. *Upravlenie Riskami v APK*. 2021; (1):22–36. DOI:10.53988/24136573-2021-01-02. (In Russ.)