

IV СОВМЕСТНАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
КОНФЕРЕНЦИЯ

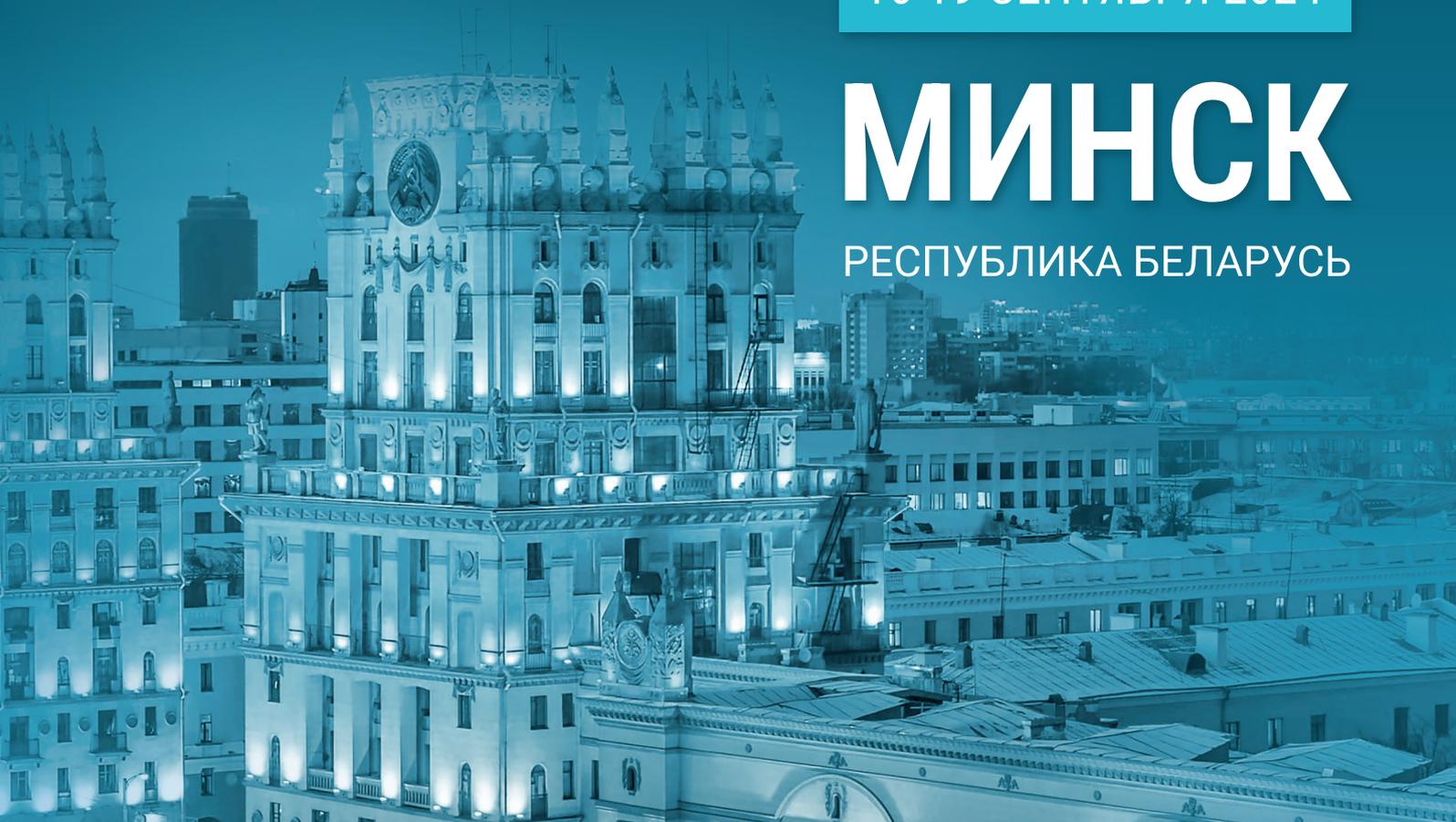
ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ:
КОСМИЧЕСКИЕ И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ДАННЫЕ,
ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

16-19 СЕНТЯБРЯ 2024

МИНСК

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ





РАКУРС

- 30 лет на рынке геоинформатики
- Разработка программного обеспечения
- Картографические и фотограмметрические работы
- Поставка данных ДЗЗ
- Участие в НИР и ОКР
- Техническая поддержка
- Консалтинг

ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ И РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ



PHOTOMOD



PHOTOMOD
ЦФС



PHOTOMOD
Radar



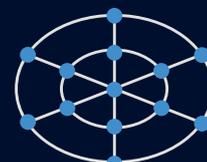
PHOTOMOD
3D-MOD



PHOTOMOD
Conveyor



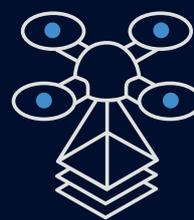
PHOTOMOD
GeoMosaic



PHOTOMOD
Radar Neuro



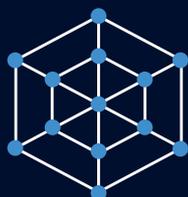
PHOTOMOD
UAS



PHOTOMOD
AutoUAS



PHOTOMOD
StereoMeasure



PHOTOMOD
Neuro



PHOTOMOD
StereoClient



PHOTOMOD
GeoCloud



АО «Ракурс»
+7 495 720-51-27
info@racurs.ru
<https://racurs.ru>

ВЫБЕРИ НУЖНЫЙ РАКУРС!



АГАТМ.

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ОРГАНИЗАЦИЯ «АГАТ»

Коммерческие эксперименты на российском сегменте МКС

Ценообразование

Стратегическое развитие

ТЭО РКТ

Управление интеллектуальной собственностью

Цифровая трансформация

Центр независимой судебной экспертизы



Уважаемые коллеги!

АО «Ракурс» на протяжении десятилетий организует Международную научно-техническую конференцию «От снимка к цифровой реальности: дистанционное зондирование Земли и фотограмметрия». С 2021 года в связи с расширением состава организаторов конференция получила новое название: Совместная международная научно-техническая конференция «ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: космические и пространственные данные, технологии обработки» и вышла на качественно новый уровень, расширив тематику, представительность и состав участников.

Организаторами IV Совместной конференции являются: АО «РАКУРС» (Москва, Россия), ГК «Роскосмос» (Москва, Россия), Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь (Госкомимущество) (Минск, Республика Беларусь), Национальная академия наук Беларуси (Минск, Республика Беларусь) при поддержке АО «Организация «Агат» (Москва, Россия).

Целью Совместной конференции является выстраивание профессиональных мостов между участниками рынка, обмен опытом, региональными практиками и лучшими решениями в сфере картографии и геоинформатики, фотограмметрии, космической деятельности.

Развитие любой отрасли невозможно без установления и поддержания деловых, а иногда и дружеских отношений между компаниями и специалистами. Обмен знаниями, умениями и достижениями приводит к возникновению идей, выработке новых решений, разработке и внедрению производительных технологий, и, в целом, движению вперёд.

Конференция «Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки» стала базовой коммуникационной площадкой для обсуждения задач развития ДЗЗ, картографии и смежных наук, формирования коопераций для эффективной реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и инновационного развития, коммерциализации геопространственных и космических данных, совершенствования отраслевой нормативно-правовой базы.

До встречи в Минске!

С уважением,

Оргкомитет IV Совместной международной научно-технической конференции

«ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: космические и пространственные данные, технологии обработки»

Материалы конференции
16—19 сентября, 2024, Минск, Республика Беларусь

СОДЕРЖАНИЕ

А.В. Смирнов. Компенсация искажений, вызванных использованием шторно-щелевого затвора, АО «РАКУРС» - МИИГАиК.....	5
Б.С. Савченко. Комплекс нейросетевой обработки радиолокационных данных PHOTOMOD Radar Neuro, АО «РАКУРС».....	6
Б.С. Савченко. Технология конвейерной обработки для автоматического формирования информационных продуктов на основе космических радиолокационных данных. Вопросы реализации, АО «РАКУРС».....	7
И.Е. Надеждина, А.Э. Зубарев, Н.А. Слодарж, Опыт фотограмметрической обработки изображений миссии MARS-2020 Ingenuity (БПЛА), МИИГАиК - АО «Фирма «Ракурс».....	9
А.М.Белоцерковский, П.В.Лукашевич, В.А.Елисеев. ВУCube: универсальная платформа сбора, хранения и обработки данных ДЗЗ для решения научно-технических и образовательных задач, Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси.....	12
Д.М. Хайдукова. О синергетических эффектах при сотрудничестве с профессиональными образовательными организациями в условиях кадрового голода, Филиал ППК «Роскадастр» «Уралгеоинформ».....	21
П.А. Анашкин. Информационное обеспечение сервисов НСПД. Проблемы и решения на примере сервиса «Аквакультура», Филиал ППК «Роскадастр» «Уралгеоинформ».....	21
Ф.Ю. Фокин. Правовое обеспечение развития рынка ДЗЗ в России, ООО «Геопространственное агентство Иннотер».....	27
Е.Л. Рукавишников. «Большие данные» из космоса как ключевой элемент геопространственных данных, АО «Терра Тех».....	29
М.А. Элердова. Частная космическая система «СИТРОНИКС СПЕЙС», ООО «Ситроникс Спейс».....	30
А.А. Лагута. Средневысотный воздушный лазерный сканер АГМ-А3 с дальностью до 820 м. Программный продукт АГМ Сканворкс Про: уравнивание ГНСС+ИНС траекторий, вывод данных и классификация точек лазерных отражений, ООО «АГМ Системы».....	31
Д.И. Федоткин, Е.Н. Боровенский, Д.В. Сысенко, А.В. Ядыкин. Результаты автоматического построения бесшовных паншарп-ортомозаичных покрытий на 12 территориальных субъектов РФ по данным КА Канопус-В, АО «НИИ ТП»	32
А.А. Золотой, Д.И. Новиков. Детектирование лесных и пахотных земель на аэрофотоснимках LEICA ADS100, Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Геоинформационные системы» НАН Беларуси	37
Е.А. Шпаковский, Н.О. Старосотников. Геометрические модели съёмочных оптико-электронных аппаратов дистанционного зондирования, ОАО «Пеленг».....	40
Е.А. Лупян, М.А. Бурцев. ЦКП "ИКИ-Мониторинг" — основные возможности и многолетний опыт использования для создания и обеспечения работы информационных систем дистанционного мониторинга федерального и регионального уровней, ИКИ РАН.....	47
Е.А. Бровко. Создание новых видов цифровой картографической продукции, в том числе на основе ЕЭКО, с использованием геоинформационных технологий: концептуальные аспекты, ППК «Роскадастр» - МИИГАиК.....	48
М.В. Дробиз. Геодезические построения в Калининградской области со времен Бесселя и до наших дней, Филиал Публично-правовой компании «Роскадастр» «Балтийское АГП».....	52
А. Э. Дергилёва, В. В. Попадёв. Сравнение точности некоторых обратных интегральных преобразованиях при решении задач физической геодезии, ППК «Роскадастр».....	55
Д. В. Сарычев, А. А. Юдин. Оптимизация распознавания пахотных земель по мультиспектральной съёмке нейронными сетями, ООО «АЙТИ-ТЕМАТИК».....	61
А. И. Игонин, Д. А. Чебышева, С. В. Кривов. Современные проблемы и новые решения в тематической картографии, Филиал ППК «Роскадастр» «Омская картографическая фабрика» - ППК «Роскадастр».....	64
И. И. Меженова, Е. Бекчанова, Ф. Бахарев. Опыт обработки архивных измерений с пунктов ГТС абсолютным способом (PPP), ППК «Роскадастр».....	67
Г.Г. Побединский. Система обеспечения пространственными данными. Проблемы и возможные пути решения, Российское общество геодезии, картографии и землеустройства.....	72
Е.Ф. Чичкова. Опыт применения данных ДЗЗ при проведении спутникового производственного экологического мониторинга территорий, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения	78
Л. А. Мицевич, Е. А. Прус. Опыт создания эталонного метрологического полигона для поверки бортового геодезического оборудования и калибровки аэросъёмочного оборудования беспилотных авиационных систем, Топографо-геодезическое республиканское унитарное предприятие «Белгеодезия».....	79
Чэнь Лун. Программа управления космической системой дистанционного зондирования Земли, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана.....	82
А. И. Разумовский. ПРОГЕОСЕТЬ — управление сетями постоянно действующих ГНСС станций, АО «НИИМА «Прогресс».....	86
С. С. Нехин, А. Н. Рубенок, Н. М. Бабашкин. Актуальные проблемы использования беспилотных авиационных систем в целях крупномасштабного картографирования и кадастра в современных условиях, ППК «Роскадастр»	88

КОМПЕНСАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ, ВЫЗВАННЫХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ШТОРНО-ЩЕЛЕВОГО ЗАТВОРА

А.В. Смирнов

АО «РАКУРС», МИИГАиК, Москва, РФ

Аэрофотосъемка (АФС) с использованием беспилотных воздушных судов (БВС) является важным инструментом в современном картографировании местности, предоставляя оперативный способ сбора геопространственной информации. Благодаря своей мобильности и возможности работы в труднодоступных местах, БВС значительно упрощают процесс аэрофотосъёмки. Тем не менее, существует серьёзная проблема, связанная с использованием на БВС бытовых фотокамер со шторно-щелевым затвором.

Шторно-щелевой затвор, широко применяемый в потребительских фотокамерах, вызывает искажения изображения при съёмке подвижных объектов, что особенно критично для картографических задач, т.к. аэрофотосъемка происходит всё время в движении. В процессе полёта БВС его движение относительно земли вызывает смещение (искажение) объектов на части изображений, при съёмке камеры со шторно-щелевым затвором. Эти искажения являются причинами существенных ошибок измерений фототриангуляции и некачественного построения цифровых моделей поверхности и рельефа.

Для получения высококачественных картогра-

фических продуктов важна абсолютная точность и соответствие масштаба и форм объектов на местности, что невозможно обеспечить без учета искажений, вызванных использованием камер со шторно-щелевым затвором.

Решение проблемы заключается в использовании специализированного оборудования, например фотокамер с глобальным затвором, которые снимают весь кадр одновременно, устраняя искажения, вызванные движением. Однако таких камер, пригодных для АФС на данный момент практически нет на рынке.

Перспективным является метод программного учета работы шторно-щелевого затвора камеры при уравнивании блока.

В докладе рассматривается проблематика использования фотокамер со шторно-щелевым затвором при АФС. Представлен обзор новых функциональных возможностей ЦФС PHOTOMOD по учету работы шторно-щелевого затвора. Проведен анализ результатов обработки снимков различных камер со шторно-щелевым затвором. Статистика представлена в таблице 1.

Таблица 1 — Остаточные погрешности в уравнивании без учета и с учетом шторно-щелевого затвора

Проекты с Rolling Shutter	GSD, см	Кол-во опоры/ контроль	Средняя ошибка								
			Опора		Центры		Контроль		Связи (стереопары)		Связи (на снимках)
			XY,м	Z,м	XY,м	Z,м	XY,м	Z,м	XY,м	Z,м	
Canon 550D без RS	13	5/11	0.014	0.004	1.142	0.276	0.215	0.419	0.131	0.672	0.341
Canon 550D с RS	13	5/11	0.003	0.001	0.391	0.19	0.179	0.464	0.108	0.54	0.308
Sony NEX 5R без RS	10	5/5	0.125	0.746	0.973	0.425	0.536	1.862	0.087	0.237	0.348
Sony NEX 5R с RS	10	5/5	0.004	0.011	0.639	0.374	0.296	0.514	0.072	0.191	0.3
Sony NEX 5N без RS	10	5/89	0.713	0.181	1.395	0.36	0.708	0.605	0.097	0.207	0.348
Sony NEX 5N с RS	10	5/89	0.003	0.01	0.713	0.306	0.673	0.25	0.078	0.161	0.306
Nikon D800 без RS	3	8/64	0.097	0.099	0.452	0.262	0.127	0.177	0.031	0.144	0.36
Nikon D800 с RS	3	8/64	0.012	0.02	0.352	0.215	0.101	0.181	0.026	0.121	0.329
Sony UMC-R10C без RS	5	5/7	0.072	0.22	1.121	0.487	0.05	0.162	0.033	0.09	0.41
Sony UMC-R10C с RS	5	5/7	0.053	0.052	0.748	0.513	0.047	0.08	0.024	0.066	0.306

Проекты с Rolling Shutter	GSD, см	Кол-во опоры/ контроль	Средняя ошибка								
			Опора		Центры		Контроль		Связи (стереопары)		Связи (на снимках)
			XY,м	Z,м	XY,м	Z,м	XY,м	Z,м	XY,м	Z,м	XY,м
Sony A5100 без RS	2	6/6	0.051	0.056	0.065	0.032	0.138	0.051	0.118	0.242	0.357
Sony A5100 с RS	2	6/6	0.031	0.02	0.039	0.024	0.128	0.039	0.104	0.214	0.336
Sony A6300 без RS	3	6/51	0.103	0.054	0.05	0.02	0.101	0.083	0.034	0.096	0.334
Sony A6300 с RS	3	6/51	0.101	0.044	0.036	0.014	0.10	0.055	0.029	0.081	0.312
Sony A6000 без RS	3	5/18	0.178	0.148	0.484	0.482	0.187	0.184	0.087	0.23	0.737
Sony A6000 с RS	3	5/18	0.056	0.015	0.427	0.467	0.138	0.11	0.061	0.161	0.605

КОМПЛЕКС НЕЙРОСЕТЕВОЙ ОБРАБОТКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ PHOTOMOD RADAR NEURO

Б.С. Савченко
АО «РАКУРС», Москва, РФ

Целью создания Комплекса нейросетевой обработки PHOTOMOD Radar Neuro является отработка технологии и разработка программных средств обработки радарных данных ДЗЗ в части обнаружения искусственных объектов на земной поверхности, определение их типов и классов. Комплекс предназначен для использования в составе наземных средств приёма, обработки и распространения информации как наземных компонент существующих и разрабатываемых космических комплексов радиолокационного наблюдения.

Технология обработки данных в Комплексе основана на использовании нейронных сетей как инструмента выделения и распознавания объектов. Полный набор программных средств для обучения нейронной сети также имеется в составе Комплекса.

Особенностью Комплекса является его ориентированность на обработку данных, полученных в различных частотных диапазонах, сантиметровых и дециметровых, используемых при работе космических РСА, а также данных, полученных в различных поляризованных каналах. Такие возможности комплекса обеспечиваются внедрёнными в состав программного обеспечения алгоритмами предварительной обработки данных, позволяющих

нивелировать различия в изображении объектов на радиолокационных снимках, обусловленные характеристиками зондирующего сигнала.

Структурно Комплекс состоит из набора программных модулей – приложений, выполняющих некоторые функционально законченные задачи. Такими программными модулями являются модули разметки радиолокационных снимков, формирования эталонов интересующих объектов, генерации обучающей выборки, обучения нейронной сети, обнаружения объектов на РЛ изображении. Все модули имеют интерфейсные компоненты для возможности настройки параметров обработки оператором и выполняемые (консольные) компоненты, выполняющие собственно обработку данных.

Входными данными для Комплекса являются радиолокационные снимки - растры с комплексными отсчётами, представленные в путевой проекции наклонной дальности. Радиолокационные снимки с различных датчиков преобразуются во внутренний формат Комплекса при помощи имеющегося в его составе программного модуля импорта данных, далее вся обработка выполняется во внутреннем формате. Результатом работы комплекса является векторный слой отметок от объектов с их основными характеристиками (тип, класс). В составе комплекса

имеются программные средства визуализации, позволяющие наложить векторный слой обнаруженных объектов на растровый слой входного снимка.

Скорость обработки стандартного кадра на типовых аппаратных средствах составляет несколько минут.

ТЕХНОЛОГИЯ КОНВЕЙЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ. ВОПРОСЫ РЕАЛИЗАЦИИ.

Б.С. Савченко
АО «РАКУРС», Москва, РФ

В сложившихся на сегодняшний день условиях задача постоянного мониторинга Земли приобрела особую значимость. Фиксируется постоянное наращивание космических группировок, в частности, аппаратами, осуществляющими съемку в радиолокационном диапазоне. С увеличением объема получаемых геопространственных данных растут требования к оперативности и качеству их обработки.

В докладе содержатся детали построения комплекса конвейерной обработки космических радиолокационных данных, начиная с первичной обработки с формированием информационных

продуктов уровня L0 (радиоголограммы) и заканчивая любым из более высоких уровней обработки (стандартной L1 и L2, производной или базовой L3 и тематической L4). Роль оператора при функционировании такого комплекса сводится к контролю за работой программного обеспечения и конечной оценке результатов.

Функциональная схема программного комплекса, описывающая взаимодействие программных компонент при формировании информационных продуктов всех уровней обработки, показана на рисунке 1.

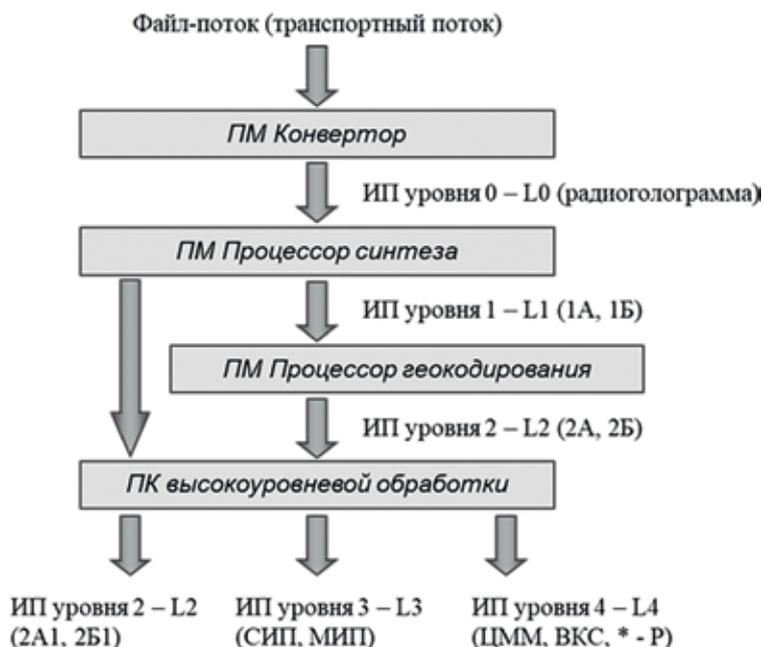


Рисунок 1 — Функциональная схема комплекса конвейерной обработки для автоматического формирования информационных продуктов на основе РЛД

Комплекс конвейерной обработки РЛД предлагается строить согласно модульному принципу. В условиях интерактивной обработки все модули должны быть объединены единым интерфейсом, из которого осуществляется загрузка данных оператором. Вычислительные компоненты модулей реализуются в виде динамически подключаемых библиотек. Взаимодействие между интерфейсной частью любого модуля и его вычислительными компонентами производится путём передачи команд на обработку общему для всех модулей бинарному файлу.

Бинарный файл производит загрузку необходимых библиотек и передаёт им на вход команду на обработку в стандартизированном формате. Таким образом, обработка данных может производиться как оператором в интерактивном режиме, так и в автоматическом потоковом режиме под внешним управлением.

Структурная схема, иллюстрирующая порядок вызова отдельных компонент комплекса, показана на рисунке 2.

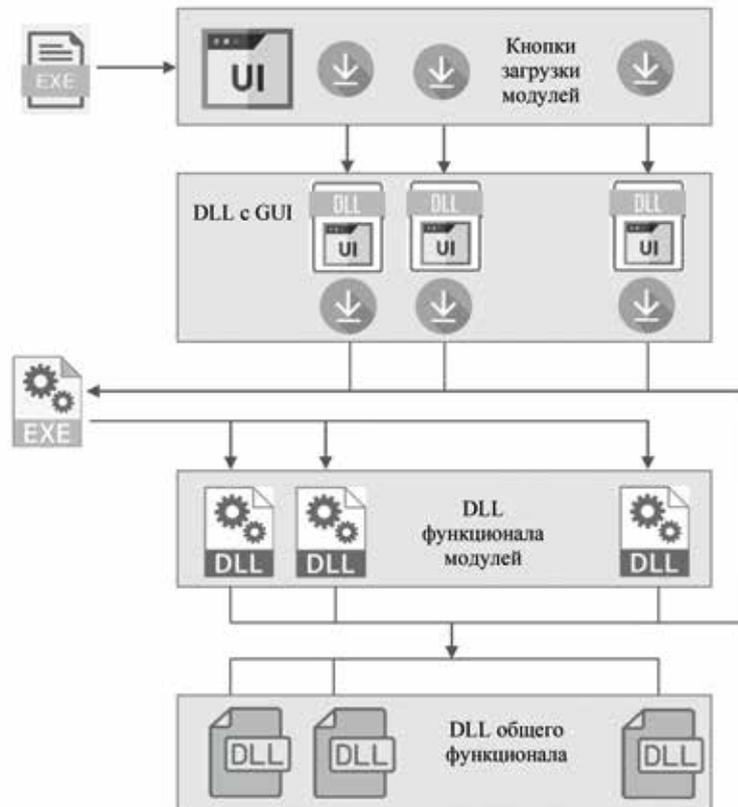


Рисунок 2 — Структурная схема комплекса конвейерной обработки для автоматического формирования информационных продуктов на основе РЛД

Требование полнофункциональной автоматической обработки РЛД применительно к программному комплексу, построенному по модульному принципу, сводится к требованию автоматизации каждого отдельного модуля, входящего в цепочку обработки данных. В свою очередь, возможность автоматизации программного модуля, выполняющего специфическую операцию обработки РЛД, зависит, главным образом, от необходимости вмешательства оператора в процесс обработки, обусловленного не возникновением нештатной ситуации, а прямым выполнением части рутинных операций. К таким операциям, в большинстве случаев, относятся:

- установка параметров последующего этапа обработки в зависимости от результатов выполнения предыдущего;
- установка опорных точек на растрах изображений с целью их совмещения или коррекции географической привязки.

Применительно к задаче формирования информационных продуктов в программном комплексе можно отметить несколько моментов.

1. Работа конвертора данных при первичной обработке и формировании продуктов уровня 0 (радиоголограмм) не требует вмешательства оператора по перечисленным выше причинам и производится

в полностью автоматическом режиме.

2. Работа процессора синтеза при стандартной обработке и формировании продуктов уровня 1 (синтезированных изображений) не требует вмешательства оператора и производится в полностью автоматическом режиме.

3. Работа процессора геокодирования при стандартной обработке и формировании продуктов уровня 2 (изображений в картографической проекции) не требует вмешательства оператора и производится в полностью автоматическом режиме за исключением формирования продуктов с уточнённой геопривязкой. В случае необходимости уточнения геопривязки требуется участие оператора для установки на исходный снимок отметок, для которых известны координаты и высота. Существуют и автоматические методы, позволяющие совместить исходный снимок с фрагментом опорной поверхности и рассчитать уточнённые параметры строгой модели РЛИ для дальнейшего выполнения орто-трансформирования. Впрочем, эти методы априори не гарантируют получения результатов удовлетво-

рительного качества.

4. Работа программных модулей высокоуровневой обработки: формирования стека совмещённых снимков, формирования мозаичных продуктов, может быть организована без участия оператора, но в случае создания стека снимков в автоматическом режиме качество продукта будет зависеть от уровня амплитудной или фазовой корреляции между входными снимками.

5. Работа программного модуля подавления спекл-шума не требует вмешательства оператора и производится в полностью автоматическом режиме.

6. Автоматизация интерферометрического модуля может быть выполнена с использованием глобальной цифровой модели рельефа.

7. Программный модуль обнаружения судов на морской поверхности и оценки их характеристик может работать в автоматическом режиме при наличии опорной информации о положении береговой линии (маска «море-суша»), если обрабатывается снимок прибрежного района.

ОПЫТ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ МИССИИ MARS-2020 INGENUITY (БПЛА).

И.Е. Надеждина¹, А.Э. Зубарев^{1,2}, Н.А. Слодарж¹

¹ Московский государственный университет геодезии и картографии

² АО «Фирма «Ракурс», Москва, РФ

Введение. В январе 2024 года завершилась миссия первого беспилотного летательного аппарата (БПЛА) на Марсе — «Ingenuity» или «Изобретательность». Почти за три года «Ingenuity» осуществил 72 полета общей протяженностью 17 км и передал на Землю 13 945 изображений с навигационной камеры NAVCAM (NAV) [1]. Полеты проходили в районе ударного марсианского кратера Езеро, в котором расположены участки с плохо изученными геологическими структурами малых эоловых хребтов. Поэтому изображения, полученные в ходе эксперимента «Изобретательности», могут представлять научный интерес для геологической интерпретации при условии создания по ним высокодетальных цифровых моделей рельефа.

Исходные данные. Навигационная камера NAVCAM (Omnivision) — это сенсор с центральным затвором, установленный в надир, однока-

нальный, черно-белый. Сама камера представляет собой оптическую широкоугольную систему типа "рыбий глаз" с углом поля зрения 133° на 100°, с частотой до 10 кадров/сек [2]. Из 13 945 изображений (72 полета) было отобрано два маршрута 20 (sol 362, 25 февраля 2022 г.) и 21 (sol 375, 10 марта 2022 г.), что составляет около 360 изображений. На этих участках можно идентифицировать большое количество характерных камней и дюн, которые пригодны для использования их в качестве опознаков. Никаких априорных данных для каждого изображения о местоположении БПЛА в пространстве не было. Модель камеры и ее параметры не опубликованы, а потому требовали дополнительного исследования и калибровки. Стандартные модели учета дисторсии не подходят для коррекции изображений, что дополнительно осложнило задачу (Рис.1).



Рисунок 1 — Пример изображения, переданного Ingenuity и определенные параметры камеры

Методы. Для определения предварительных характеристик камеры мы использовали функцию «Самокалибровка» ЦФС PHOTOMOD в процессе уравнивания методом связок, что позволило получить остаточные расхождения на снимках блока не более 1 пикселя, и СКО порядка 0.5 пикс [3]. Полученные характеристики легли в основу дальнейшей работы по уточнению и привязке остальных пролетов.

Другая проблема обработки изображений – отсутствие реального масштаба блока снимков. Мас-

штаб объектов нельзя установить без опорных знаков на поверхности Марса. Для этого мы использовали данные другой миссии – Mars Reconnaissance Orbiter (MRO). На основе межвитковой стереопары MRO HiRISE [4] и серии разновременных изображений камеры MRO Context Camera (CTX) на исследуемый регион была создана цифровая модель рельефа (ЦМР) методом SGM в ЦФС PHOTOMOD (рис.2) и выполнено ортотрансформирование исходных изображений на ее основе.

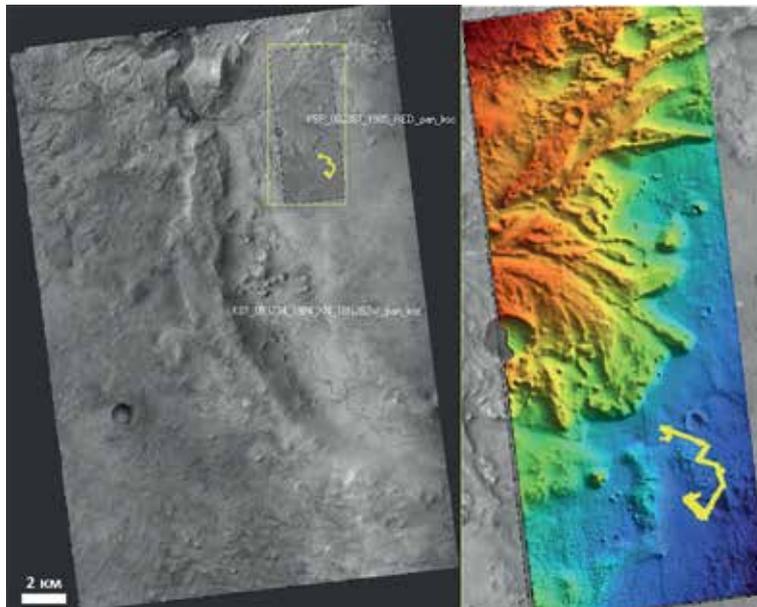


Рисунок 2 — а) мозаика изображений КА Mars Reconnaissance Orbiter, полученная по комбинации разновременных изображений камер CTX (5 м/пикс) и HiRISE (0.25 м/пикс); б) цифровая модель рельефа на участок съемки БПЛА в кратере Езеро по данным камеры HiRISE миссии Mars Reconnaissance Orbiter, полученной из межвиткового стерео. Разрешение модели 25 см/пиксель, вертикальная точность составляет 70 см. Желтым отображен текущий обработанный фрагмент (из 3693 изображений).

Идентификация и измерения опорных точек (от 3 до 10 на каждый пролет) на ортоизображениях и

изображениях БПЛА (рис.3) выполнялась в ручном режиме.

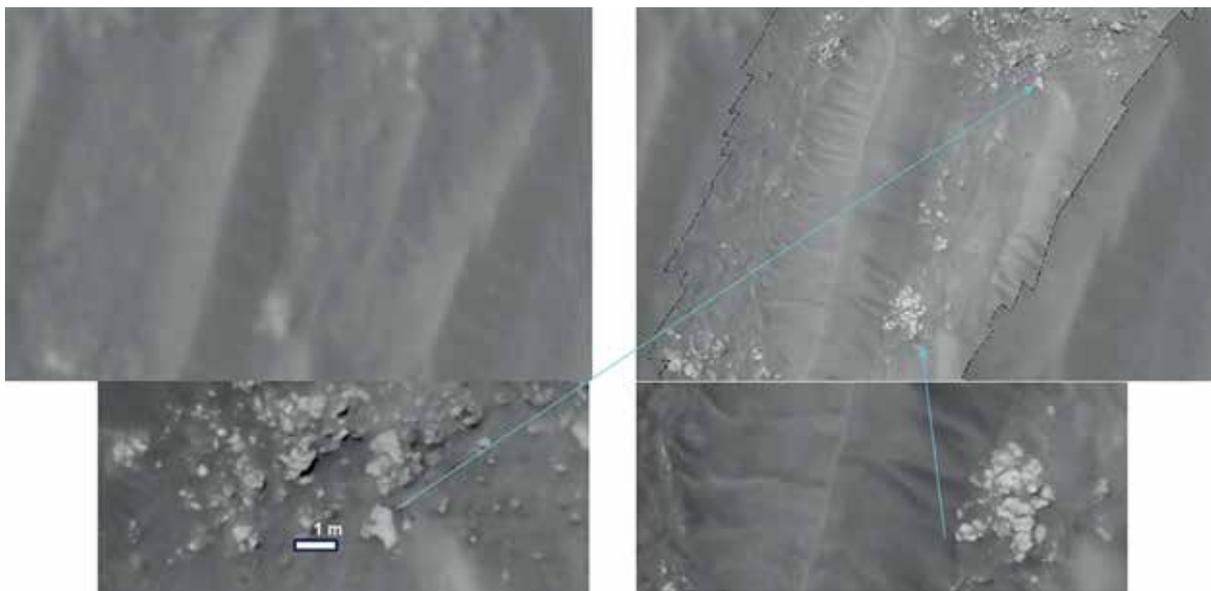


Рисунок 3 — Поиск и измерение опорных точек на изображениях КА MRO HiRISE и БПЛА Ingenuity.

Автоматическая фототриангуляция методом SIFT и уравнивание блока из 3693 изображений методом связок позволило подготовить снимки к созданию детальных ЦМР. Априорная оценка точности положения опорных точек в результате уравнивания задавались исходя из точности ЦМР, полученной по

космическим снимкам и точности опознавания их на изображениях (0.3-0.5 м в плане и 0.5-0.7 м по высоте). В результате обработки удалось создать ЦМР с высоким разрешением для полос на местности шириной ~20-25 м вдоль траектории полета вертолета. (рис.4).

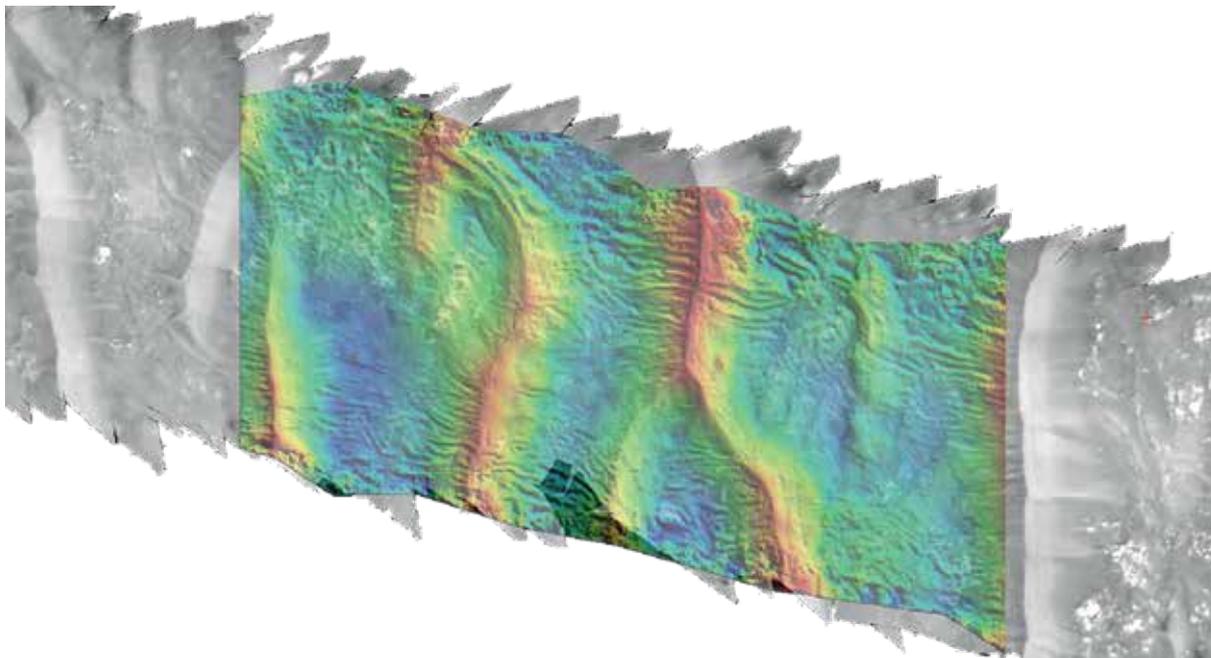


Рисунок 4 — Фрагмент цифровой модель рельефа на участке перевала «Крит Уонгл» в районе кратера Езеро на Марсе (sol 375). Точность ЦМР по высоте от 2,5-7 см/пикс.

Результаты. Исходные изображения и ЦМР были использованы для создания ортомозаики изображений вдоль траектории полета. В процессе создания мозаики удалены тени от вертолета, контрастные пятна и дефекты изображения. Мозаики содержат все детали, различимые на сильно искаженных исходных изображениях с камеры, и намного лучше подходят для визуального восприятия и фотогеологического анализа. Разрешающая способность мозаики определяется угловым разрешением камеры и высотой полета. Для типичной высоты полета ~10 м исходный пиксель в надире составляет ~3.5 см (в середине полосы) и постепенно ухудшается от надира к краям полосы. Фактическое пространственное разрешение ЦМР несколько хуже. Формальная внутренняя точность измерений высоты по вертикали составляет ~3-6 см для высоты вертолета ~10 м вблизи надира; фактическая амплитуда шума, видимая на ЦМР, немного выше. Таким образом, обработка данных обеспечивает фактическое разрешение изображений и топографических данных на порядок выше, чем у камеры HiRISE с орбиты, что позволяет выявлять особенности эоловых процессов при формировании малых эоловых хребтов [5, 6].

Обсуждение. В ходе исследования была показана возможность фотограмметрической обработки данных БПЛА за пределами Земли, не имея в распоряжении параметров камеры и навигационной информации. Удобные и максимально автоматизированные инструменты ЦФС PHOTOMOD позволили

получить высокоточные данные для дальнейших исследований в области Космоса.

Работа поддержана Государственным заданием FSFE-2024-0001

Ссылки:

1. After Three Years on Mars, NASA's Ingenuity Helicopter Mission Ends. Archived from the original on 25 January 2024. (Обращение 25.07.2024)

2. J. Balaram, Timothy Canham, Courtney Duncan, Havard F. Grip and W, "Mars Helicopter Technology Demonstrator", AIAA Atmospheric Flight Mechanics Conference, 2018. DOI:10.2514/6.2018-0023

3. Zubarev A.E., Nadezhdina I.E., Kozlova N.A., Slodarch N.A., Nerusin V.A. Photogrammetric procession of Mars 2020 Ingenuity data and subsequent obtaining of a 3D surface model // The Fourteenth Moscow Solar System Symposium, 2023, 14MS3-MS-PS-01

4. Delamere, A., Becker I., Bergstrom, J., et al. MRO High Resolution Imaging Science Experiment (HIRISE): Instrument Development. California, Sixth International Conference on Mars, California, 2003

5. M. Kreslavsky¹, A. Zubarev, I. Nadezhdina Transverse aeolian ridges on Mars: a look from mars helicopter. 55th Lunar and Planetary Science Conference, held 11-15 March, 2024 at The Woodlands, Texas/Virtual. LPI Contribution No. 3040, id.1826

6. Надеждина И.Е., Зубарев А.Э. Mars Ingenuity: малые поперечные эоловые хребты в районе кратера Езеро. ВЕСЭМПГ-2024 16-17 апреля 2024г., Москва

WUCUBE: УНИВЕРСАЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА СБОРА, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ЗАДАЧ

А.М.Белоцерковский, П.В.Лукашевич, В.А.Елисеев

Объединённый институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

Введение

В последние годы данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) становятся все более точными, разнообразными и одновременно доступными. В мире появляются новые сервисы данных, обладающих широким потенциалом для значительного воздействия на важнейшие экологические, экономические и социальные проблемы как на локальном и региональном, так и на глобальном уровнях [1].

В Беларуси также существует высокий спрос на приложения для оперативного анализа геоданных. Мы обладаем достаточными компетенциями для получения собственных данных ДЗЗ. В настоящее время функционирует российско-белорусская спутниковая группировка, поставляющая космические снимки в высоком разрешении. Кроме того, в стране действуют сервисы, такие как «MeteoEye» (<https://meteoeye.gis.by>), предоставляющие данные,

которые имеют особую актуальность и потенциальную значимость для региона.

Несмотря на широкое использование спутниковой информации крупными государственными заказчиками [2], такими как Министерство природных ресурсов, Министерство лесного хозяйства, в настоящее время все еще существует проблема начального порога вхождения специалистов в сферу прикладного анализа данных ДЗЗ. Снимки сильно разнородны по интервалам обновления, спектральным диапазонам, времени съемки, пространственному разрешению, API интерфейсам доступа и форматам цифрового представления. Кроме того, даже сегодня многие архивные данные зарубежных и отечественных спутников используются недостаточно, несмотря на их широкую доступность.

Решение этой проблемы является сложным для стран с развитыми экономиками и еще более сложным для развивающихся стран, заинтересованных в использовании данных ДЗЗ. Для многих исследователей технически или финансово неподъемно самостоятельно получать и обрабатывать космическую информацию, поскольку размер данных, сложности их предварительной обработки, хранения и анализа остаются значительными препятствиями.

Очевидным способом преодоления этих проблем является инфраструктурный подход организации хранения и обработки данных (OLAP, Online Analytical Processing) – направление, активно развивающееся во всем мире в виде реализаций Data Cube и Data Lake. Такое решение обладает значительным потенциалом для оптимизации работы с информацией, одновременно снижая технические барьеры для пользователей, в особенности при подготовке специалистов.

В данной статье описана новая платформа сбора, хранения и обработки данных ДЗЗ на базе технологии «куба данных», обеспечивающая удаленный доступ к актуальным многоспутниковым данным ДЗЗ на Республику Беларусь, их оперативную централизованную обработку и анализ. Универсальная платформа рассчитана на широкий круг пользователей, однако наибольший эффект может быть достигнут в научно-образовательной среде при решении научных задач и подготовке студентов и профильных специалистов в области обработки космической информации.

OLAP-платформы ДЗЗ

Подходы обработки данных ДЗЗ на основе методологии OLAP (Online Analytical Processing) предполагают онлайн-подготовку и предоставление агрегированной информации на основе больших

объемов данных, структурированных по многомерному принципу. В мире уже достаточно примеров активного использования OLAP-подходов. В частности, на основе OLAP была разработана финансируемая Европейским союзом специализированная высокопроизводительная база данных для хранения, обработки и выдачи больших объемов растровой информации RasDaMan (растровый менеджер данных).

На основе OLAP и SQL/MDA функционирует инициатива, направленная на облегчение доступа к данным и информационным сервисам программы Copernicus, в рамках которой была реализована концепция доступа к данным и их обработки, основанная на подходе DIAS (Data and Information Access Services). В результате на текущий момент работают пять крупных европейских облачных платформ: CREODIAS, MUNDI, ONDA, SOBLOO и WEKEO.

Другие мировые игроки также предлагают аналогичные сервисы, такие как Google Earth Engine (GEE, <https://earthengine.google.com>), Earth on Amazon Web Services (EAWS <https://aws.amazon.com/earth>), PDGS-DataCube (<http://eodatacube.eu>), Earth System Data Lab (ESDL, <https://www.earthsystemdatalab.net>) и другие. Первый успешный проект по созданию национальной платформы был реализован в Австралии — Australian Geoscience Data Cube (AGDC), переименованный позже в Digital Earth Australia (DEA, <https://www.ga.gov.au/dea>). В настоящее время подобные национальные платформы созданы в Швейцарии, Колумбии и Китае.

Армянская платформа DataCube [3] содержит данные, полученные со спутников Landsat и Sentinel на территорию Армении для решения различных научных и прикладных задач в Армении, например, для улучшения прогноза температуры воздуха на 24 часа в долине Арапат на основе методов машинного обучения.

Безусловным удобством технологии является возможность хранения и обработки больших неоднородных данных, действуя как единая точка доступа к ним и позволяя пользователям самостоятельно разрабатывать и развертывать новые прикладные решения, включая сложные ресурсоемкие задачи. Однако важно различать научно-образовательные и коммерческие облачные платформы обработки данных, такие как DIAS, GEE или EAWS. В последние годы эти онлайн-платформы превратились в среду, где пользовательское сообщество активно работает с данными, снимая большую часть нагрузки по подготовке данных, получая быстрые результаты и способствуя росту сообщества пользователей. При

этом, очевидно, что образуется зависимость пользователей от коммерческих платформ, что сопряжено с известными проблемами.

Упомянутые платформы выглядят весьма привлекательно и пользуются популярностью во всем мире. Многие из них даже предлагают ограниченный бесплатный доступ и удобную среду разработки. Однако полное использование функционала таких платформ для третьих стран (неассоциированных или не входящих в ЕС) возможно только на коммерческой основе или вовсе недоступно. Мы провели оценку стоимости использования таких систем. В частности, сервис Mundi от Copernicus DIAS (<https://mundiwebservices.com>) предлагает услуги партнера T-Systems по аренде облачных ресурсов Open Telekom Cloud. Приемлемая конфигурация (vCPU: 32, 256 ГБ, 80 ТБ), которая будет достаточной для одновременной работы нескольких специалистов и фонового расчета весьма ограниченного числа задач, стоит порядка 3000 евро в месяц, что сопоставимо с другими сервисами Copernicus DIAS. Ресурсы Google Cloud (<https://cloud.google.com/products/calculator>) стоят немного дороже – около 4000 долларов США в месяц, а услуги AWS (<https://calculator.aws>) еще выше – минимальная цена такой конфигурации составляет около 5000 долларов США в месяц. Фактические расходы на обслуживание такой системы на облачных платформах увеличиваются за счет активной передачи больших объемов геоданных.

Однако стоимость — не единственная проблема. На перечисленных платформах доступны данные, оптимизированные для обеспечения наилучшего покрытия европейских и североамериканских регионов. В большинстве случаев актуальные данные высокого разрешения для нашего региона отсут-

ствуют, а метеорологические данные низкого разрешения поступают с задержкой от 1 до 9 дней. Таким образом, такой набор данных не всегда обеспечивает необходимую точность и актуальность для решения научных и прикладных задач в Беларуси.

Белорусская платформа BYCube

В Беларуси имеются собственные наборы данных, оптимизированные для текущих научных нужд. Использование этих данных на облачных ресурсах платформ потребует их загрузки на удаленный ресурс (что составляет десятки гигабайт в день), оплаты за их хранение (десятки терабайт), а также их ручной предварительной обработки и совмещения с геоданными, представленными на платформах. Это нивелирует все преимущества облачной инфраструктуры Data Cube. Следовательно, единственным вариантом является собственная платформа.

На рисунке 1 представлена схема программного комплекса (ПК) «BYCube». Поставщик данных для платформы – Белорусская система дистанционного зондирования Земли (БКСДЗ), оператором которой является УП «Геоинформационные системы НАН Беларуси». ПК «BYCube» включает:

- программные средства импорта данных ДЗЗ низкого и высокого разрешения;
- программные средства преобразования, индексации и сохранения данных ДЗЗ в структуры хранения ПК «BYCube»;
- программные средства аутентификации и авторизации пользователей;
- программные средства удаленного доступа, обработки и визуализации данных пользователем в интерактивном режиме.

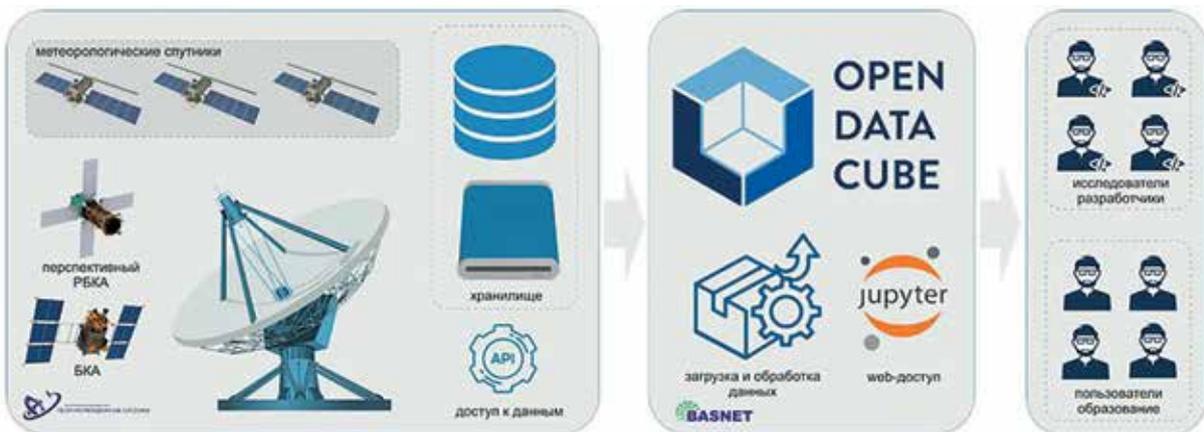


Рисунок 1 — Принципиальная схема функционирования ПК «BYCube»

По сути, данный программный комплекс — это система взаимосвязанных сервисов и программных

средств, построенных по принципу SaaS (System as a Service), в основе которого лежит упомянутый

выше OLAP-подход. Иллюстрация наглядно демонстрирует идею накопления спутниковых данных в том виде, как они хранятся у поставщика, их реструктуризации и индексирования на собственных ресурсах с использованием технологии Data Cube.

Ниже описаны элементы, которые делают систе-

му универсальной при использовании ее в качестве научно-образовательной платформы для создания алгоритмов обработки космических снимков «in situ» и при этом не заботиться об их подготовке (Рис. 2).

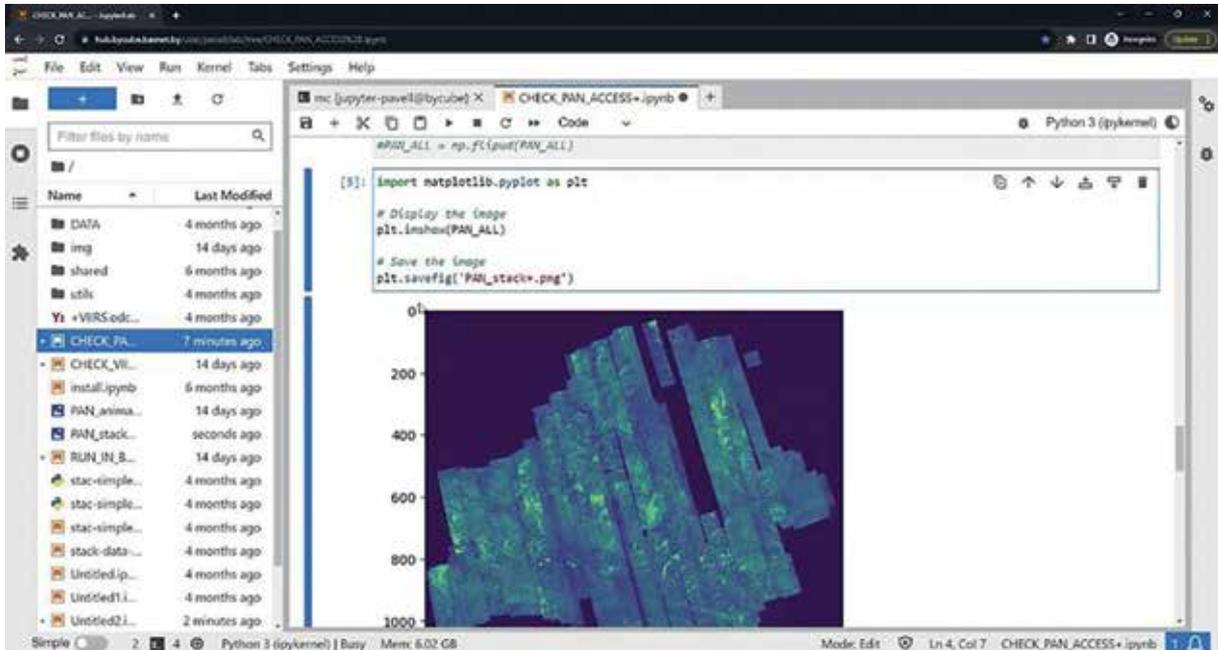


Рисунок 2 — Рабочая панель Jupyter ПК «BYCube» с загруженными данными и вариантом их отображения

Среда Jupyter. Подключенная и настроенная среда Jupyter, позволяет создавать и обмениваться документами, содержащими код, текст, изображения и результаты выполнения кода. Основным компонентом среды Jupyter является блокнот (notebook), который представляет собой документ, состоящий из ячеек. Каждая ячейка может содержать код на языке Python, а также текст, формулы, изображения и другие мультимедийные элементы. Код в ячейках может быть выполнен интерактивно, а результаты выводятся непосредственно под ячейкой.

Open Data Cube (ODC) — это технология и реализованное программное обеспечение с открытым исходным кодом, которое предназначено для управления и анализа больших объемов геопространственных данных, таких как данные ДЗЗ. ODC предоставляет инфраструктуру для организации, хранения и запросов, что обеспечивает эффективное использование информации для научных и практических целей.

Основными характеристиками Open Data Cube в ПК «BYCube» являются:

- универсальность: структурированный и универсальный способ хранения данных ДЗЗ позволяет интегрировать данные из различных источников и с разными сенсорами;
- гибкость запросов: пользователи могут выполнять сложные пространственные и временные запросы для извлечения нужных данных;
- масштабируемость: работа с большими объемами данных, а также эффективное масштабирование по мере увеличения их объема;
- открытость: доступность кода на условиях открытой лицензии для просмотра и модификации в соответствии с открытыми стандартами;
- мультиплатформенность: интеграция с различными геопространственными платформами и гибкость в выборе инструментов для анализа данных.

Таким образом, реализованная технология хранения и управления данными Open Data Cube и встроенная среда Jupyter делают ПК «BYCube» уникальным и мощным в Беларуси инструментом для анализа данных, визуализации, обучения машинного обучения, научных исследований в обла-

сти обработки спутниковых данных, хранящихся в системе.

Данные ПК «BYCube». В нашем комплексе накапливаются, хранятся и обрабатываются данные БКСДЗ на территорию Беларуси:

- снимки высокого разрешения, полученные

с космических аппаратов белорусско-российской группировки (Рис. 3а);

- снимки низкого разрешения, полученные с метеорологических спутников Suomi NPP, NOAA-20 и NOAA-20 (Рис. 3б).

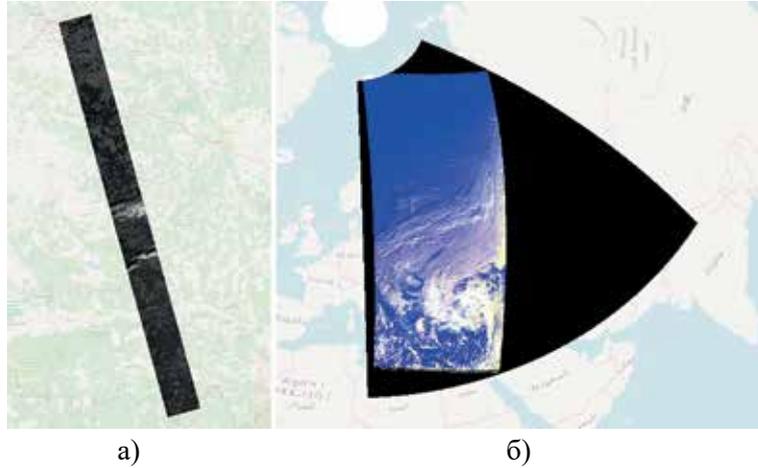


Рисунок 3 — Пример предпросмотра снимков: а) – высокого разрешения, б) – низкого разрешения

Сферы применения платформы и решаемые задачи

Пользователи. Для конечного пользователя ПК «BYCube» — это web-платформа для работы с уже подготовленными (предобработанными) данными ДЗЗ. На данный момент она развернута на ресурсах национальной научно-образовательной сети BASNET на виртуальной машине с web-доступом по адресу: <https://bycube.basnet.by/> (Рис. 4)

Пользователями платформы могут быть:

- ученые, разрабатывающие алгоритмы, в том числе с применением искусственного интеллекта для анализа снимков Земной поверхности;

- целевые студенты и молодые специалисты профильных специальностей, для приобретения навыков в обработке спутниковых данных, а также языка Python;

- преподаватели для разработки практических занятий.



Рисунок 4 — Скриншот web-страницы ПК «BYCube»

Задачи. На данной платформе уже проведен ряд экспериментов. Она была использована в работе над проектами фундаментальных исследований, в том числе совместно с Арменией [3,4], а также при проведении студенческого хакатона при реализации «быстрых» решений без глубокого погружения в науку.

Из числа реализованных экспериментов, в качестве иллюстративных примеров, можно выделить следующие:

– *определение температуры земной поверхности (ТЗП) с использованием данных ДЗЗ (на основе данных с бортового датчика VIIRS). ТЗП является ключевым параметром для многих областей, таких как климатология, оценка состояния почв, сельское хозяйство, метеорология, и другие гео-исследования. Точное измерение ТЗП и ее получение в реальном масштабе времени важно для оперативного принятия решений. (Рис. 5)*

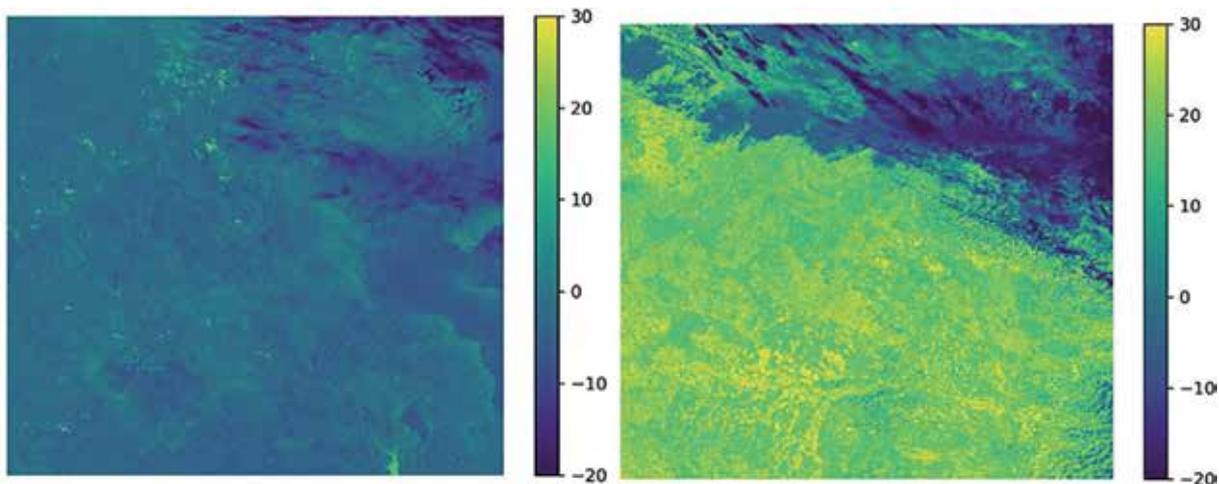


Рисунок 5 — Визуализация ТЗП, вычисленной на основе данных VIIRS 7.09.2023 ночью по McMillin [5] (слева) и днем по Price [6] (справа)

– *Маски облачности* представляют собой важный инструмент в обработке данных спутникового зондирования. Они служат для выделения облачных образований разной прозрачности на изображениях и фильтрации данных, подвергшихся воздействию

облаков. Реализация существующих методов сильно различается в зависимости от типа исходных данных и условий съемки — разные времена суток, сезоны года. (Рис.6).

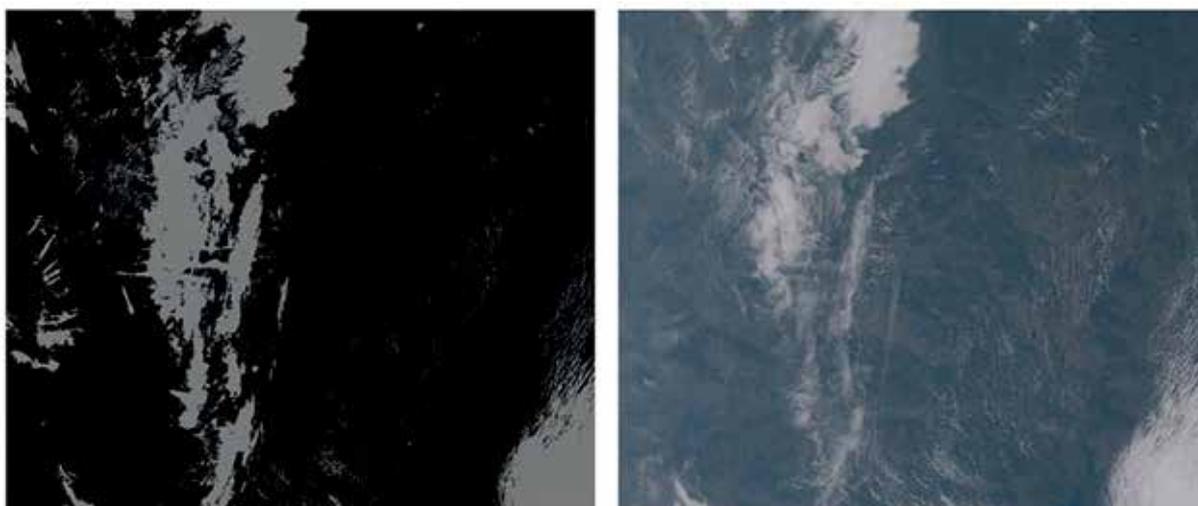


Рисунок 6 — Пример полученной маски облачности для дневного времени суток (слева) и визуальное сравнение маски облачности с композитом (справа)

– *Формирование набора композитов для тематической визуализации данных.* Применение композитных изображений, полученных с использованием данных VIIRS, важно для более глубокого

понимания текущих метеорологических явлений, мониторинга загрязнения воздуха, пожаров, наводнений и штормов (Рис.7).

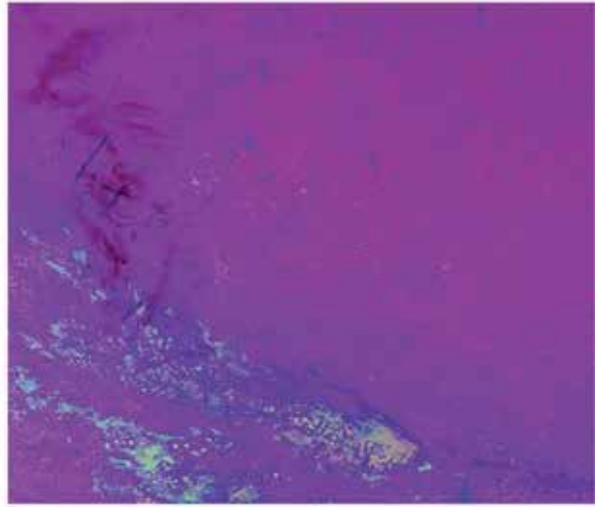


Рисунок 7 — Примеры подготовленных тематических композитных изображений, полученных на основе данных VIIRS: ночной композит (слева) и композит, объединяющий натуральные цвета с информацией о тумане (справа)

Заключение

До настоящего времени в Республике не было программной платформы для централизованного сбора, хранения и обработки данных ДЗЗ, обеспечивающего удаленный доступ к актуальным многоспутниковым данным ДЗЗ на Республику Беларусь, их оперативную обработку и анализ для решения научно-технических и образовательных задач. Этот факт делает ПК «ВУCube» уникальным в отрасли по своим характеристикам.

На данный момент мы считаем, что наибольший социально-экономический эффект возможен в результате использования платформы в научно-образовательной деятельности, так как она позволяет:

- минимизировать время и специальные знания, необходимые для доступа и подготовки спутниковых данных;
- аккумулировать в одном месте актуальные спутниковые данные на Республику Беларусь;
- предоставлять веб интерфейс доступа к данным и к вычислительным ресурсам для их онлайн обработки и анализа;
- совместно использовать несколько разнородных наборов данных ДЗЗ;
- совместно с другими исследователями участвовать в решении актуальных задач обработки и анализа данных ДЗЗ и делиться полученными результатами.

Список литературы

1. L. Friedl, Benefits Assessment of Applied Earth Science, in: M. Onoda, O. R. Young (Eds.), *Satellite Earth Observations and Their Impact on Society and Policy*, Springer, Singapore Singapore, 2017, pp. 73–79, ISBN 978-981-10-3713-9.
2. S. A. Zolotoy, A. V. Kosilo, A. A. Stavrov, I. B. Strashko, Software solutions in the field of geoinformatics, in: *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, physical-technical series 4* (2016) 113–120.
3. Abrahamyan, R., Belotserkovsky, A., Lukashevich, P. et al. Scientific Gateway for Evaluating Land-Surface Temperatures Using Landsat 8 and Meteorological Data over Armenia and Belarus. *Pattern Recognit. Image Anal.* 34, 225–236 (2024).
4. Abrahamyan, R.M., Grigoryan, H.A., Astsatryan, H.V. et al. NO2 Data Analytics and Visualization Service: Improving Air Quality Insights in Armenia and Belarus. *Program Comput Soft* 49 (Suppl 1), S51–S60 (2023).
5. L.M. McMillin, C.M. Yoe, and P.M. "Goodrum, Satellite Determination of Surface Temperature From the 8 to 14 Micron Region", *Proceedings of the 11th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 23-27 (1975).
6. Price, J. C., "Land Surface Temperature Measurements from The Split Window Channel of the NOAA 7 Advanced Very High-Resolution Radiometer", *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 89(D4), 7231-7237 (1984).



Некоммерческая организация «Ассоциация разработчиков, производителей и потребителей оборудования и приложений на базе глобальных навигационных спутниковых систем «ГЛОНАСС/ГНСС-Форум» создана во исполнение Комплексного плана мероприятий по развитию системы ГЛОНАСС. Ассоциация осуществляет координацию деятельности предприятий и организаций различных форм собственности в области разработки, производства и коммерческого использования оборудования и приложений на основе технологий системы ГЛОНАСС, анализ и выбор приоритетных направлений развития этого оборудования и приложений, участвует в разработке государственной политики в области коммерческого использования системы ГЛОНАСС и взаимодействует с российскими и иностранными партнерами с целью создания благоприятных условий для привлечения инвестиций и развития материальной, технической, организационной и научной базы предприятий и организаций. Членами Ассоциации могут быть любые юридические лица, работающие преимущественно в сфере разработки, производства или использования оборудования и приложений, основанных на технологиях системы ГЛОНАСС.



Ассоциация «ГЛОНАСС/ГНСС-Форум» выполняет функции Инфраструктурного центра НТИ «Автонет»: подготавливает предложения в существующие «дорожные карты», генерирует стратегическое видение развития, оказывает экспертно-аналитическую поддержку рабочим группам, работает с нормативными ограничениями и предоставляет коммуникационную площадку для формирования сообществ НТИ.



101000, г. Москва, а/я № 29



+7 (495) 580-32-83 (факс)



info@aggf.ru



www.aggf.ru

Зарегистрирована в Министерстве юстиции РФ за учетным номером 7714060217,
Свидетельство о государственной регистрации некоммерческой организации от 08.10.2007 г.
Федеральной налоговой службой выдано Свидетельство о постановке на учёт российской
организации в налоговом органе серия 77 № 009378089 от 01.10.2007 г.

НОЗ.С

НОВЫЙ ОБОРОННЫЙ ЗАКАЗ. СТРАТЕГИИ

WWW.DFNS.RU

AVG@DFNS.RU

О СИНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЭФФЕКТАХ ПРИ СОТРУДНИЧЕСТВЕ С ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫМИ ОРГАНИЗАЦИЯМИ В УСЛОВИЯХ КАДРОВОГО ГОЛОДА

Д.М. Хайдукова

Филиал ППК «Роскадастр» «Уралгеоинформ», Екатеринбург, РФ

В 1935 году была произнесена крылатая фраза: «Кадры решают все». В 2024-м, в другую эпоху и при других обстоятельствах, фраза опять приобретает актуальность: практически все предприятия нашей отрасли имеют несколько открытых вакансий. Учитывая высокий порог вхождения в высокотехнологичную специальность, каждый специалист становится носителем уникальных знаний и при потере такого сотрудника, оперативно заменить его, как правило, нечем. Те времена, когда за дверью стояла очередь, похоже, ушли.

В условиях динамической цифровой трансформации отрасли отсутствие в коллективах необходимого и достаточного количества специалистов, способных в режиме многозадачности в кратчайшие сроки адаптироваться и приступить к новому производственному процессу, приводит к снижению пиковой производительности предприятий, а увеличение возрастного разрыва между поколениями геодезистов и картографов не позволяет обеспечить экологичную передачу фундаментальных профессиональных знаний молодым специалистам.

Подбор квалифицированных кадров — ключевой вызов, стоящий перед отраслью геодезии, картографии и фотограмметрии. Переобучением, повышением квалификации существующих специалистов глобально проблему не решить. С целью качественной подготовки современных инженерно-технических кадров в нашей стране государством активно вводится концепция системы непрерывного инженерного образования — комплексного процесса обучения и воспитания, начиная с дошкольного и до профессионального уровня образования. Современные производства являются неотъемлемой частью данной концепции. Непрерывным образованием молодых специалистов, мониторингом

уровня теоретических и практических знаний, обеспечением трудовой мобильности рабочих кадров, практико-ориентированной подготовкой студентов в Филиале ППК «Роскадастр» «Уралгеоинформ» занимается Центр профессиональных компетенций.

Доклад рассматривает различные аспекты взаимодействия Филиала Уралгеоинформ с профессиональными образовательными организациями в условиях кадрового голода и достижение следующих синергетических эффектов сотрудничества:

1. «Создаем образовательные программы вместе» — такой подход позволяет не только наполнить программу необходимыми на предприятии знаниями для молодого специалиста, но и производить регулярный мониторинг качества образования.

2. «Принимаем экзамен вместе» — определение лагун знаний и, как результат, мониторинг качества преподавания в образовательной организации, ведь если по результатам не знают многие значит общий уровень знания стремятся к нулю.

3. «Практико-ориентированные механизмы подготовки молодого специалиста» — ранняя профориентация благодаря погружению в будущую профессию и реально функционирующий производственный процесс.

4. «Индивидуальность — это плюс» — дуальное обучение и научное курирование выпускных квалификационных работ, а также совместное построение индивидуальных образовательных траекторий позволяет направить будущего специалиста в ту область, которая ему действительно интересна.

В заключительной части будут освещены достигнутые значения показателей эффективности сотрудничества Филиала Уралгеоинформ с профессиональными образовательными организациями за 2019-2024 гг.

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЕРВИСОВ НСПД. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ СЕРВИСА «АКВАКУЛЬТУРА»

П.А. Анашкин

Филиал ППК «Роскадастр» «Уралгеоинформ», Екатеринбург, РФ

В последние годы наблюдается значительный рост рынка пространственных данных, развитие технологий и рост цифровой зрелости потреби-

телей. В ответ на это Правительство приняло ряд законодательных актов, ускоряющих развитие вектора по использованию пространственных данных.

Важным событием стало подписание Указа Президента Российской Федерации от 31 марта 2023 г. N 231 "О создании, развитии и эксплуатации государственных информационных систем с использованием единой цифровой платформы Российской Федерации "ГосТех". Это решение кардинально меняет пути информационного взаимодействия государства, регионов, отраслей народного хозяйства, бизнеса, рядовых граждан и создает мощные предпосылки для реальной интеграции пространственных данных из государственных и корпоративных информационных ресурсов широкого круга отраслей и разработки на их основе новых сервисов для потребителей.

Росреестр, в рамках создания ФГИС ЕЦП НСПД и с учетом Концепции платформы «ГосТех», сразу же активно приступил к разработке Сервисов на основе пространственных данных. Это стало отличным катализатором для давно назревшего перехода от использования традиционных карт к внедрению информационных моделей объектов управления, пригодных для симулирования процессов деятельности. При этом, в процессе создания новых Сервисов, крайне важно учитывать уже имеющийся опыт и наработанные методики.

Филиал ППК «Роскадастр» «Уралгеоинформ» приступил к разработке сервисов, основанных на пространственных данных, несколько лет назад. Специалисты филиала разработали методику концептуального моделирования, помогающую преодолеть проблему интероперабельности данных при создании информационных моделей территориальных образований.

Общие сведения о проекте

Фондом развития Дальнего Востока и Байкальского региона разработана система удаленного формирования рыбоводных участков в морях Дальнего Востока и их распределения через электронные торги.

В 2017 году Филиал ППК «Роскадастр» «Уралгеоинформ» реализовал очень успешный и важный для государства проект. По заказу Фонда развития Дальнего Востока и Байкальского региона, совместно с АО «Роскартография», Федеральным агентством по рыболовству и компанией «РТС-Тендер» был создан онлайн сервис «Аквакультура» для автоматического формирования рыбоводных участков (РВУ) и проведения всех современных видов закупок в электронной форме.

Основная стратегическая цель создания сервиса — обеспечение российских предпринимателей и юридических лиц, заинтересованных в ведении хозяйственной деятельности в сфере аквакультуры, всей необходимой информацией и инструментарием для осуществления юридически значимых действий в режиме «одного окна». Сервис реализует все процессы от формирования границ новых РВУ и подачи заявки в Росрыболовство на формирование границ РВУ до проведения торгов (аукционов) по распределению РВУ и участия в объявленных Росрыболовством торгах (аукционах) для получения права на пользование РВУ. Концептуальная модель интернет-сервиса «Аквакультура» показана на рисунке 1.

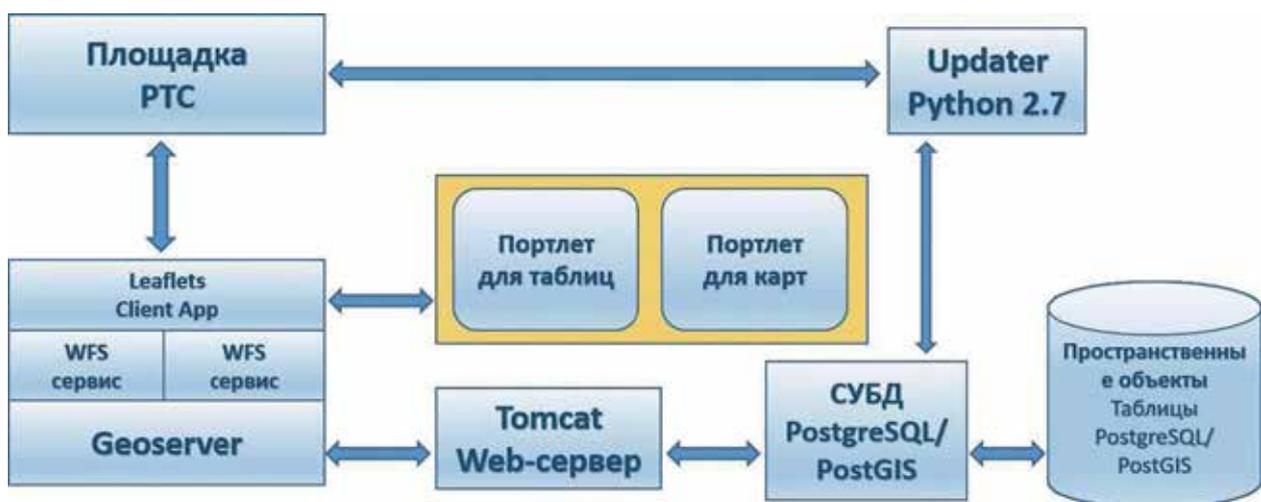


Рисунок 1 — Концептуальная модель Сервиса

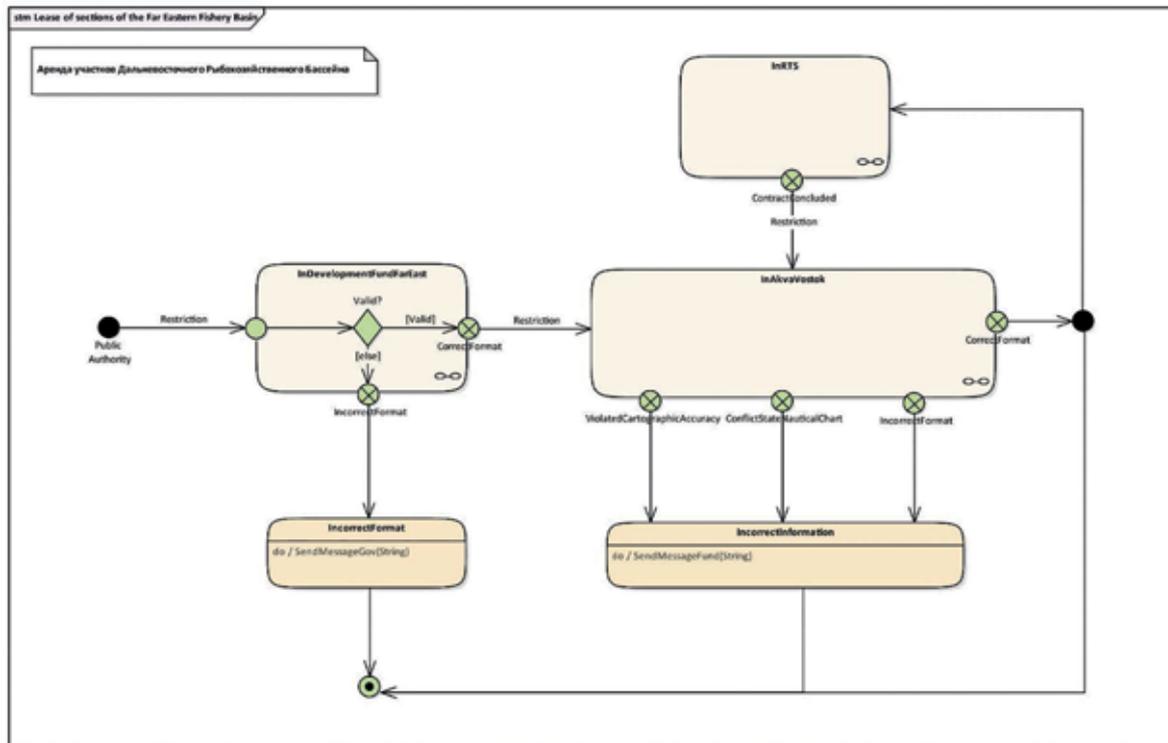


Рисунок 3 — Диаграмма автомата

Разработка информационной модели, обеспечивающей работу функций сервиса

Информационная модель функций Сервиса связана с требованиями Технического задания (ТЗ), разработанного Фондом развития Дальнего Востока и Байкальского региона. Согласно ТЗ система должна:

- Содержать картографические данные доступных акваторий для ведения хозяйственной деятельности в сфере аквакультуры, обеспечивать понятную визуализацию картографических данных и иметь инструментарий для формирования границ РВУ по четырем координатным точкам.

- Обеспечивать интеграцию с ЭТП, в том числе - использование личного кабинета пользователя на ЭТП для авторизации в Системе и совершения всех юридически значимых действий в отношении РВУ.

- Обеспечивать интеграцию с информационными системами (личным кабинетом) Росрыболовства и Минтранса для обеспечения своевременного взаимодействия Системы, Росрыболовства и Минтранса в рамках исполнения Постановлений Правительства и других нормативных актов в сфере определения границ РВУ, предоставления РВУ в пользование и обеспечения безопасности навигации.

- Обеспечивать обмен данными для учета изменений уполномоченным органам исполнительной власти и иными лицами, ответственными за сопровождение Государственной морской навигационной карты, прежде всего - в отношении границ участков без ограничений, участков с ограничениями.

Работа сервиса

Сервис состоит из картографического редактора для создания и изменения границ участков и редактора формирования паспортов участков (атрибутов пространственных данных). Эти компоненты функционируют в рамках единого программного интерфейса.

В результате работы сервиса формируется паспорт участка, который передается на площадку РТС для проведения торгов (аукционов). Общий вид площадки РТС представлен на рисунке 4.

Для аутентификации пользователя на стороне картографического сервиса используется авторизация торговой площадкой РТС, которая реализована на протоколе OAuth 2.0. OAuth — открытом протоколе, который позволяет предоставить третьей стороне ограниченный доступ к защищенным ресурсам пользователя без необходимости передавать ей логин и пароль

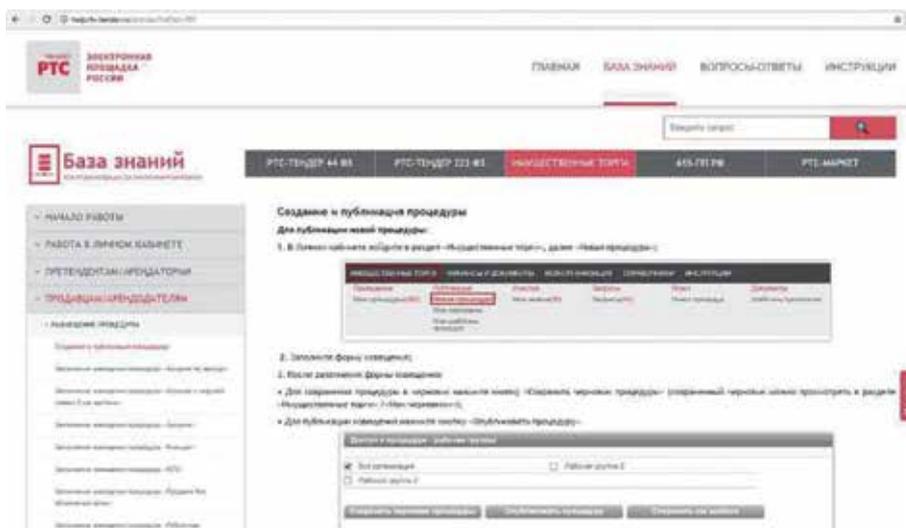


Рисунок 4 — PTS-тендер. Электронная площадка России

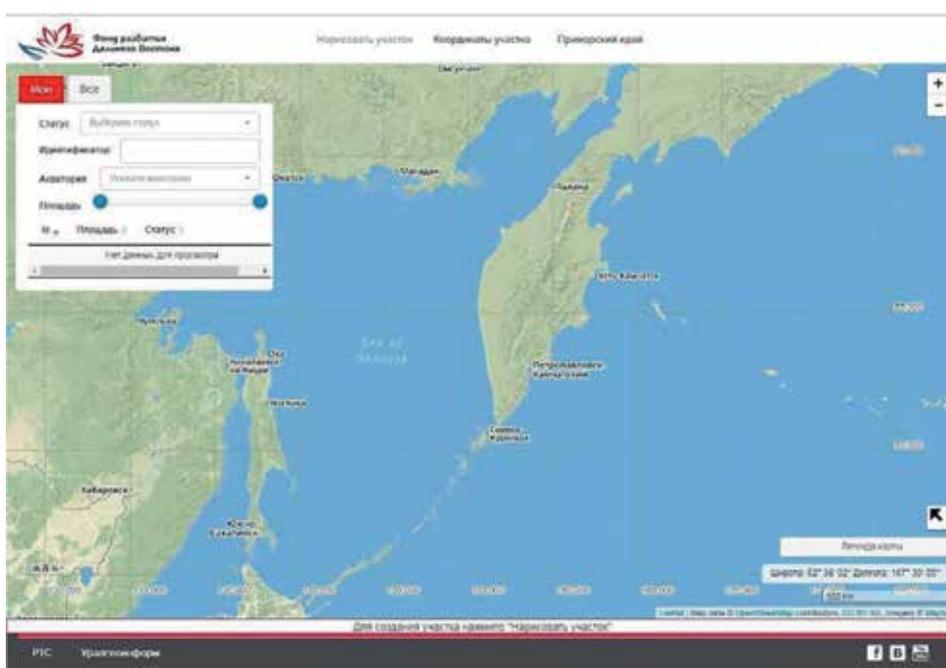


Рисунок 5 — Главная экранная форма Сервиса

Сервис выполняет следующие функции:

- поиск информации об участке с применением различных фильтров;
- интерактивное формирование полигона участка на карте;
- формирование атрибутов полигона участка;
- формирование заявки для торгов на PTS;
- отправка заявки на PTS;
- слежение за прохождением заявки на PTS.

Информация об участке (паспорт участка) содержит следующие атрибуты:

- координаты углов;
- координаты углов буферной зоны;
- площадь;
- правовой акт, определяющий границы РВУ;
- муниципальное образование, к территории которого прилегает РВУ;
- водные объекты, на территории которых находится участок;
- местонахождение РВУ;
- начальная цена;
- размер задатка;

- шаг аукциона;
- минимальный ежегодный объём изъятия объёмов аквакультуры (пастбищная);
- минимальный ежегодный объём изъятия объёмов аквакультуры (индустриальная);
- период выращивания (пастбищная);
- период выращивания (индустриальная);
- вид водопользования;
- срок договора;
- договор.

В форме содержится также графическое изображение участка. Сформированный на интернет-

сервисе паспорт участка передается на площадку РТС. Взаимодействие картографического сервиса и торговой площадкой РТС выстроено на уровне сервисов. Информация с карты о сформированном участке отправляется по протоколу связи REST. На стороне площадки проводится проверка правильности предоставляемой информации и возвращается ответ об успешной регистрации участка или информация об ошибке. Если участок создается успешно, то пользователь сервиса получает информационное сообщение.

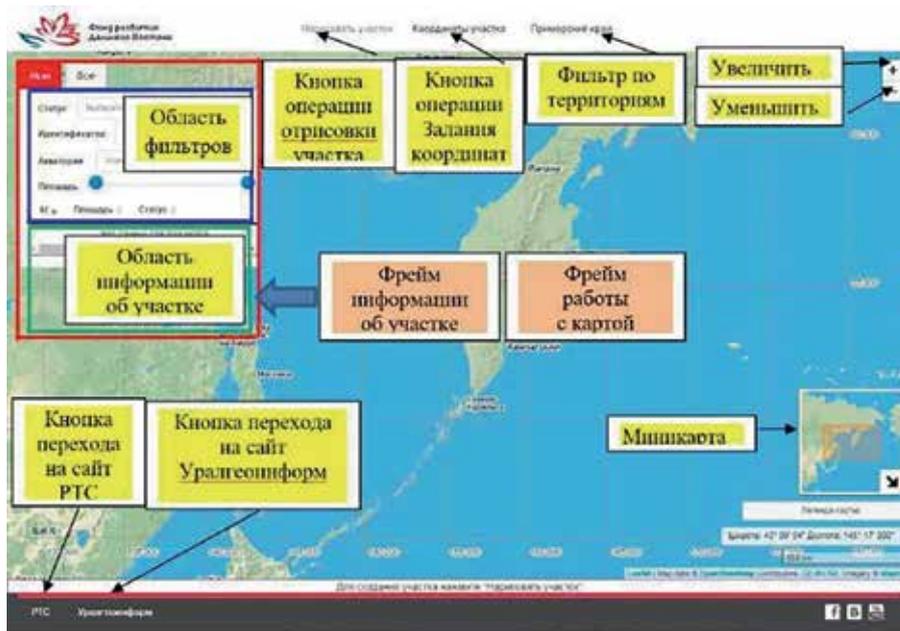


Рисунок 6 — Фреймы главной экранной формы

Общая технология работы Сервиса

Инвестор «заходит» на РТС-тендер, регистрируется (авторизуется), передавая необходимую, согласно нормативным документам, информацию о себе, и, при необходимости, кладёт средства на депозит. Далее для удобства работы Инвестор может с РТС-тендер перейти на Сервис. При входе Инвестора на Сервис, последний проверяет легитимность его авторизации. В случае нелегитимности идентификационных (авторизационных данных) Сервис работает для такого пользователя в Демонстрационном режиме. В случае успешного прохождения проверки на легитимность Сервис предоставляет пользователю полные возможности работы по Аренде участков Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна.

1. Сервис визуально предоставляет пользователю карту «Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн». Инвестор выбирает заинтересовавший

его участок. Сервис АВ проверяет корректность выбранного полигона по внутренним условиям корректности.

2. В случае корректности входных данных Сервис сохраняет координаты выбранного участка в своей Базе данных и отправляет координаты выбранного Участка на РТС-тендер.

3. РТС-тендер проводит аукцион. При успешной работе (корректности), РТС-тендер отправляет координаты и описание Участка в ФАР (Федеральное Агентство по Рыболовству).

4. ФАР — в течение 10 дней заключает договор аренды с Инвестором или сообщает в систему РТС-тендер об отказе. В случае заключения договора полная информация об этом вместе с Договором передается в РТС-тендер. В этом случае РТС-тендер меняет статус Участка (на «Заключён договор», «Участок занят»).

5. Сервис регулярно, с периодичностью раз в 5 минут, проводит опрос базы данных РТС-тендер на предмет изменения статуса отправленных ранее с Сервиса участков. В случае изменения статуса участка в РТС-тендер с «Ожидание» на «Заключён договор» Сервис или закрывает (присваивает статус «Запрещённый» в своей БД и указывает номер и дату Договора аренды) или вносит обновленные ограничения в свою БД для использования в процессе проверки корректности выбранного Пользователем полигона.

За филиалом «Уралгеоинформ» закреплена должность «Оператор Сервиса», который вручную загружает арендованный Участок в Информационную систему со статусом «Запрещен». Картографы обрабатывают информацию об участке и возвращают её Оператору для загрузки в Сервис. Результат — обновленная карта в Сервисе. Основной задачей филиала «Уралгеоинформ» является определение формата и регламента обмена данными между ФОИВ и РОИВ и Фондом, а также Контроль за соблюдением корректности формата и Регламента обмена данными.

Далее службы филиала «Уралгеоинформ» проверяют данные асинхронной передачи об обновленных ограничениях на Участки от Фонда на корректность формата. В случае корректности картографы Филиала вносят соответствующие ограничения. Результатом указанной деятельности являются обновленные ограничения в БД Сервиса.

Новая система кардинально изменила взаимоотношения между инвесторами и органами исполнительной государственной власти в этой сфере, сделав их максимально прозрачными и инвестор-ориентированными. Теперь инвестору не приходится тратить время на сбор разрешений в различных органах власти. Современные технологии позволяют сократить время на сбор документов и

подготовку к аукционам со 180 до 70 дней, а также принимать инвестиционные решения, не выходя из своего офиса.

Заключение

Данные должны работать — именно эта простая мысль лежит в основе интеллектуальных систем принятия решений (decision intelligence, DI), которые, по оценкам аналитиков, в ближайшие два года будут использовать треть крупных компаний. Технология, лежащая в основе таких продуктов, позволяет не просто делать выводы на основе анализа информации, но и моделировать различные сценарии. Это помогает организациям принимать максимально обоснованные решения, исключая при этом распространенные ошибки, связанные с человеческим фактором.

Быстрая скорость реализации сервиса для быстрой скорости принятия бизнес-решений — это суть цифрового сервиса в Индустрии 4.0. При выводе цифровых сервисов на рынок степень их готовности — не более 80%, остальные 20% дорабатываются по мере расширения продаж и получения отклика от клиентов в процессе эксплуатации. При этом в современном высокотехнологичном производстве центр тяжести смещается на этап проектирования, поэтому одним из первых шагов цифровизации должно быть поэтапное внедрение технологий и процессов цифрового проектирования.

Должна будет меняться организационная культура — как принятия решений, так и разработки программных продуктов. «Качество», «результат», «клиент» должны перестать быть формальными словами. Приоритетом должно стать обретение цифровых навыков и знаний для госслужащих и действительного понимания возможностей, которые дают технологии.

ПРАВОВОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗВИТИЯ РЫНКА ДЗЗ В РОССИИ

Ф.Ю. Фокин

ООО «Геопространственное агентство Иннотер», Москва, РФ

Как устроен рынок

Рынок ДЗЗ в России практически отсутствует, так как он зависит от заказчика — монополиста Государства. Главное — ДЗЗ не является системной составляющей экономики России, опирающейся на

геопространственную основу современных технологий. Пока коммерческой составляющей нет места, не в правовом, не в денежном выражении. Фрагментарные моменты рынка ДЗЗ не привели к созданию ключевых региональных и государственных управ-

ляющих решений по основным бедам России, прежде всего, оборона, пожары, наводнения, дороги и т.д. Государство принципиально не вкладывается в индикационные показатели ДЗЗ, осуществляющие мониторинг по ежегодным угрозам экономики.

Сегодня ДЗЗ - рынок, как «Система экономики», это и космос, и БПЛА, и поле, в совокупности. От подготовки кадров до специалистов по ИИ и выдачи востребованных продуктов на внутреннем рынке. До сих пор не созданы структурные подразделения ДЗЗ ни в Правительстве РФ, ни в Министерстве обороны РФ. Мы узко рассматриваем рынок ДЗЗ, как только космическую составляющую, а в мире это не так. Россия в 2024 году занимает менее 0,2 % на мировом рынке ДЗЗ. Мы не входим в 10 стран, развивающие ДЗЗ.

Главные заказчики и бюджеты

В России заказчик Государство. Иллюзий не должно быть. Но в мире известно более 250 направлений государственных и коммерческих отраслей, использующих ДЗЗ, как инструмент обеспечения, развития, мониторинга, исследования, контроля и принятия решения. Самый весомый рыночный вклад мирового ДЗЗ принадлежит оборонным ведомствам.

ФЦП по ДЗЗ в России нет. Фрагментарно присутствуют нормативные правовые акты и нормативно технические документы, отдельные проекты и программы, которые зачастую по своим техническим выходным данным становятся неактуальными в сравнение с мировыми достижениями на момент реализации в железе (например, проект «Сфера», проект «Грифон»).

Программа «Цифровая Земля» и т.п. — по сути перераспределение средств внутри Роскосмос, до рынка данные бюджеты не доходят.

Нормативные требования

Отсутствие нормативных требований по обязательному использованию ДЗЗ в сфере государственного управления и контрольно-надзорной деятельности ведет к крайне ограниченному бюджетированию со стороны потенциальных государственных и муниципальных заказчиков.

Помимо недостатка спутников ДЗЗ и слабого уровня развития авиационной и наземной инфраструктуры, становление российского рынка сдерживается множеством проблем в сфере правового регулирования деятельности операторов отрасли. Одним из таких сложных регуляторных проблем стал вопрос о продаже данных ДЗЗ Роскосмосом.

Препятствия увеличению объемов рынка ДЗЗ в РФ

Архаичность законодательства (применение методов ДЗЗ не снимает обязательств по выполнению комплекса работ обычными полевыми методами — нет экономии, работы дублируются, коррупционная составляющая — работы ДЗЗ в сотни раз меньше привычных методов работ).

Отсутствие нормативных требований по обязательному использованию ДЗЗ (например, получение государственных субсидий только через верификацию ДЗЗ, Обязательный мониторинг природных ресурсов, Обязательный мониторинг целевого использования кредита (строительство инфраструктуры) и т.п.).

Результат текущей ситуации

- Неиспользуемый потенциал по повышению эффективности экономики РФ.
- Технологическое отставание (нет достаточно специалистов, ограничен рынок) 10–15 лет от мирового развития.
- Незрелость рынка не позволяет удерживать специалистов в отрасли.
- Увеличивается технологический разрыв с передовыми странами — снижение обороноспособности страны и конкурентоспособности (ДЗЗ сквозная технология).

Причины:

- Некомпетентность ЛПР, лиц отвечающих за профильное направление;
- Вранье;
- Удержание власти монополистом;

Возможности:

- Высвобождение людских ресурсов в ситуации кадрового голода (отсутствие безработицы);
- Повышение прозрачности экономики (чистая среда);
- Развитие отрасли ДЗЗ как сквозной технологии.

Что делать — Конкретный следующий шаг в рамках развития рынка через создание нормативной правовой базы

В привязке к существующим в мире услугам ДЗЗ (потенциальные рыночные ниши) провести аудит действующего законодательства России и ЕАЭС:

Шаг № 1: Аудит НПА .

Плановый результат: Какие НПА отменить, в какие внести изменения, какие разработать с нуля,

какие НПА не требуют внесения изменений.

Шаг № 2: Публичная защита результатов аудита.

Шаг № 3: Утверждение дорожной карты с приоритетами, сроками, ответственными лицами и источниками финансирования. В том числе передача полномочий по решению множества второстепенных задач ДЗЗ, не относящихся к сфере национальной безопасности страны, от государственных структур частным коммерческим компаниям. Определить место в механизме планирования потоков, данных, необходимых для решения основных задач социально-экономического развития страны, на краткосрочную, среднесрочную и долгосрочную перспективу.

Бюджет — не менее 500 млн рублей.

Потенциальные Исполнители — 5–7 ВУЗов, 3 структуры РОСКОСМОС, не менее 1 структуры из

Казахстана, не менее 1 структуры из Белоруссии, 6 частных компаний с опытом в ДЗЗ (космос и аэрофотосъемка), модератор — 1 консалтинговая компания.

Критический фактор успеха:

1. Передача полномочий по разработке нормативной базы от РОСКОСМОС к Минпромторг либо новой структуре, которая будет отвечать за ДЗЗ в целом, а не только за космос;

2. Сопровождение в течение 3 лет данной деятельности со стороны консалтинговой компании;

3. Наличие финансирования.

Итого:

Без нормативной базы нет объема заказа главного заказчика — Государства. Нет объемов, не будет сильных производителей и сервисных компаний.

«БОЛЬШИЕ ДАННЫЕ» ИЗ КОСМОСА КАК КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Е.Л. Рукавишникова

АО «Терра Тех», Москва, РФ

1. Объем генерируемых данных из космоса:

– Характерными особенностями Big Data являются — большой объем (от 150 Гб в сутки), высокая скорость накопления и разнообразие типов данных.

– Роскосмос планирует вывести в 2026 году на орбиту многоспутниковую группировку глобального мониторинга Земли «Грифон», которая позволит на первом этапе уже генерировать до 5 петабайт в год.

2. Технологические тренды:

– Развитие искусственного интеллекта и машинного обучения для анализа больших данных из космоса.

– Ядром системы глобального мониторинга Земли "Грифон", функционально объединяющей все программно-аппаратные комплексы в единый информационный контур, будет являться стриминговая платформа космических сервисов «Грифон», способная функционировать, как в связке с полным комплексом космической и наземной инфраструктуры, так и отдельно, предоставлять разного уровня клиентам услуги по предоставлению данных их космоса и геоаналитике.

– Увеличение числа малых спутников (CubeSats), что снижает стоимость доступа к кос-

мическим данным и расширяет возможности их использования.

3. Будущее больших данных из космоса:

– Развитие технологий обработки данных в реальном времени позволит оперативно реагировать на изменения и события на Земле.

4. Ценность данных:

– Большие данные из космоса помогают в разных отраслях.

5. Потребители данных из космоса:

– Основными потребителями являются государственные учреждения, исследовательские организации, компании в области сельского хозяйства, экологии, транспорта и страхования.

– Также растет интерес со стороны стартапов и малых предприятий, ИТ-интеграторов, использующих данные для разработки новых продуктов и услуг.

– АО «Терра Тех» через стриминговую платформу космических сервисов «Грифон» сможет предоставлять продукты, сервисы, датасеты, аналитику данных ДЗЗ для разных потребителей, так и располагает компетенциями по разработке геоинформационных систем.

ЧАСТНАЯ КОСМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА «СИТРОНИКС СПЕЙС»

М.А. Элердова

ООО «Ситроникс Спейс», Москва, РФ

Эффективное внедрение и развитие космических технологий наблюдения и связи возможно только при развертывании многоспутниковых группировок космических аппаратов.

Наличие именно многоспутниковых группировок позволяет существенно повысить надежность всей системы в целом (наблюдение за поверхностью Земли, различные виды связи), за счет перераспределения ресурса между космическими аппаратами. Выход из строя отдельных КА или внешнее воздействие на какие-то из них не смогут вывести всю группировку из строя, как в случае с одним или несколькими космическими аппаратами.

По пути развертывания многоспутниковых группировок пошло большинство стран — лидеров в глобальной космической отрасли, при чем развитие идет за счет инвестиций в частные компании.

Многоспутниковые группировки базируются на малых космических аппаратах, серийное производство которых и последующий вывод на орбиту, существенно выгоднее с экономической точки зрения, а также требует меньших временных затрат, чем при создании больших единичных космических аппаратов. Стандартизация и унификация технических решений и производственных процессов позволяет не разрабатывать КА под каждую задачу.

Частные компании, такие как АФК Система и СИТРОНИКС СПЕЙС, уже сегодня реализуют проекты по созданию спутников и построению космических систем.

ООО «СИТРОНИКС СПЭЙС» специализируется на производстве именно малых космических аппаратов и является компанией полного цикла: от проектирования до производства и управления космическими аппаратами на орбите.

Глубоко понимая международный рынок, потребности отечественных потребителей, мы формируем собственные космические системы гражданского назначения с востребованным во многих секторах функционалом: дистанционное зондирование земли с высоким разрешением от 2,5 до 0,5 метров, спутники АИС, и др.

За прошедшие годы нами выполнено более 40 успешных миссий. СИТРОНИКС СПЕЙС постоянно внедряет новые спутниковые технологии, цикл обновления которых составляет около 2-х лет. Это позволяет не уходить в долгое перепроектирование

и, не меняя функциональности всей космической системы, делать аппараты более эффективными и надежными.

В соответствии с соглашениями, подписанными частными компаниями с Правительством РФ, наша компания создаст более 277 спутников различных типов до 2030 года, обеспечивая критический гэп отсутствия данных в ближайшие годы и создавая комплекс технологических сервисов.

В 2023 году мы впервые изготовили более 105 спутников различного назначения для российских и зарубежных заказчиков.

Одним из приоритетных направлений развития спутниковой системы СИТРОНИКС СПЕЙС является развитие группировок ДЗЗ.

В настоящее время на орбите находится 4 космических аппарата ДЗЗ «Зоркий-2М» с разрешением 2,5 м, осуществляющий ежедневный мониторинг в мультиспектральном режиме для решения задач в области сельского хозяйства, экологии, природопользования и чрезвычайных ситуаций. Ежемесячно мы осуществляем съемку более 2 млн кв. км.

Также планируется запуск первого МКА с разрешением с разрешением 0,8м для детальной съемки, который дополнит спутниковую группировку СИТРОНИКС СПЕЙС.

Сегодня компания разрабатывает и создает гражданские спутники в интересах российских и иностранных заказчиков, а также для решения стратегических задач, в том числе в области мониторинга морских судов (АИС), трекинга воздушных судов (ADS-B), спутникового интернета вещей (IoT).

Спутниковый АИС позволяет осуществлять непрерывный мониторинг судоходства вне зоны действия береговых станций АИС, а это значительно большая часть пути каждого судна. Создание данной системы включает в себя комплекс работ: создание космических аппаратов, инфраструктуры приема и управления спутниковой группировкой, а также сервис для конечного потребителя.

Создание данной системы предполагает вывод на орбиту 82 КА. В настоящее время на орбите находится 28 КА

Сервисы на основе космических данных востребованы в различных сферах экономики: налоги и недвижимость, сельское хозяйство, лесной комплекс, энергетика, экология и многие другие. Са-

мый большой эффект даст гибридное применение различных типов данных — например, дистанционного зондирования Земли и интернета вещей для получения информации с удаленных территорий,

где нет покрытия сотовой связью. Уже сейчас, вместе с созданием своих группировок КА, СИТРОНИКС СПЕЙС начала реализацию ряда комплексных масштабных проектов.

СРЕДНЕВЫСОТНЫЙ ВОЗДУШНЫЙ ЛАЗЕРНЫЙ СКАНЕР АГМ-А3 С ДАЛЬНОСТЬЮ ДО 820 М. ПРОГРАММНЫЙ ПРОДУКТ АГМ СКАНВОРКС ПРО: УРАВНИВАНИЕ ГНСС+ИНС ТРАЕКТОРИЙ, ВЫВОД ДАННЫХ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТОЧЕК ЛАЗЕРНЫХ ОТРАЖЕНИЙ

А.А. Лагута

ООО «АГМ Системы», г. Краснодар, РФ

Программно-аппаратный комплекс АГМ-А3 предназначен для картографирования больших территорий с легких самолетов, вертолетов, беспилотных воздушных судов самолетного типа и VTOL с

продолжительным временем полета.

Воздушный лазерный сканер имеет следующие технические характеристики (табл. 1).

Таблица 1 — Воздушный лазерный сканер АГМ-А3. Технические характеристики

Характеристика	Значение
Частота лазерных импульсов	до 1000 кГц
Максимальная дальность	820 м (20% отражения)
Угол поля зрения	60°
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения дальности	13 мм
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения координат точек отражения	35 мм
Размеры сенсорного блока	217x98x138 мм
Вес сенсорного блока	2.88 кг

Программная составляющая комплекса, а именно, АГМ Сканворкс Про, решает следующие задачи:

1. Получение решения траектории
2. Геопозиционирование точек лазерных отражений (ТЛО) и элементов внешнего ориентирования аэрофотоснимков, в том числе, в пользовательской системе координат
3. Классификация облаков ТЛО
4. Построение 3D моделей.

Одновременно с воздушным лазерным сканированием проводится аэрофотосъемка цифровой камерой с высоким разрешением. Аэрофотосъемка осуществляется совместно с определением элемен-

тов внешнего ориентирования снимков по данным инерциальной навигационной системы АГМ-ПС, что позволяет на дальнейших этапах обработки построить ортофотоплан без трудоемкого процесса фототриангуляции.

Оборудование используется при инженерных изысканиях для создания крупномасштабной картографической продукции, мониторинге ЛЭП, и в других целях, требующих высокоточных геодезических измерений.

Все составляющие программной и аппаратных частей комплекса АГМ-А3 — собственной разработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ БЕСШОВНЫХ ПАНШАРП-ОРТОМОЗАИЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА 12 ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ СУБЪЕКТОВ РФ ПО ДАННЫМ КА КАНОПУС-В

Д.И. Федоткин, Е.Н. Боровенский, Д.В. Сысенко, А.В. Ядыкин
АО «НИИ ТП», Москва, РФ

В настоящее время увеличивается потребность использования данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в различных сферах жизни общества. Возрастают объемы потоков данных, увеличивается количество потребителей данных ДЗЗ из самых разных сфер общества, возрастают требования по качеству продуктов, оперативности их получения, а также по типу продуктов и возможности получать высокоуровневые продукты посредством сервисов [1].

В то же время расширяется группировка отечественных космических аппаратов (КА) ДЗЗ с перспективой увеличения их числа до нескольких сотен (включая коммерческие), что предполагает соответствующее увеличение объема данных, требующих оперативной обработки. Накапливается архив данных ДЗЗ и появляются возможности проводить пространственно-временной анализ, составление локальных и глобальных мозаичных покрытий, состоящих из десятков, сотен и тысяч снимков ДЗЗ.

Все это привело к необходимости создания под-

системы обработки данных (ПОД) в рамках проекта Информационная система «Цифровая Земля» (ИС ЦЗ) [2], в которой, помимо автоматического формирования высококачественных стандартных продуктов ДЗЗ (L1, L2 [3]), впервые реализована оперативная автоматическая обработка всего архива данных российской ОГ КА ДЗЗ как единого сплошного многослойного динамического покрытия (ЕСМДП) с возможностью автоматического формирования в интересах потребителей производных продуктов ДЗЗ (L3) включая высокоточные бесшовные сплошные покрытия (ортомозаик).

При этом система спроектирована таким образом, чтобы «сырая» оперативная информация, поступающая с антенных систем в виде сеансов съемки, также обрабатывалась в автоматическом режиме и становилась частью ЕСМДП, тем самым, непрерывно обновляя его.

На рисунке 1 представлена общая схема потоков данных и этапов обработки при формировании ортомозаик.



Рисунок 1 — Общая схема потоков данных и этапов обработки при формировании ортомозаик

В настоящее время ПОД ИС ЦЗ обеспечивает обработку (как оперативных так и архивных) панхроматических и мультиспектральных данных съемочных систем ГЕОТОН, ШМСА-ВР/СР с КА «Ресурс-П» №1, №2, №3, №4, данных панхрома-

тической камеры и мультиспектральной камеры КА «Канопус-В» №1, №3, №4, №5, №6, ИК, данных съемочных систем КМСС и МСУ-МР КА «Метеор-М» №2, №2-2, №2-3, №2-4.

Фотограмметрическая платформа PHOTOMOD™

Обработка оптических и радиолокационных изображений | Высокая производительность | Облачные и конвейерные решения



PHOTOMOD
ЦФС



PHOTOMOD
Radar



PHOTOMOD
UAS



PHOTOMOD
GeoMosaic



PHOTOMOD
Conveyor



PHOTOMOD
StereoClient



PHOTOMOD
GeoCloud



PHOTOMOD
3D-MOD



PHOTOMOD
AutoUAS



PHOTOMOD
Neuro



PHOTOMOD
Radar Neuro



PHOTOMOD
StereoMeasure



PHOTOMOD



АО «Ракурс»
+7 495 720-51-27
info@racurs.ru

Узнайте больше на сайте <https://racurs.ru>



На текущий момент ПОД ИС ЦЗ осуществляет обработку данных ДЗЗ на комплексе вычислительных ресурсов (КВР), расположенном в центре обработки данных (ЦОД) АО «Российские космические системы» (РКС). Обработка производится в распределенном режиме полностью автоматически, при этом распределение обработки производится как на уровне маршрутов съемки — разные маршруты распределяются на разные сервера, так и в пределах маршрута - обработка распределяется сразу на несколько серверов. При автоматическом формировании ортомозаик (начиная от автоматического отбора архивных маршрутов и заканчивая автоматическим построением мозаик с фотометрическим выравниванием, проведением линий пореза и тп.) обработка также распределяется на различных этапах. Такая реализация обработки позволила существенно снизить время получения готовой информационной продукции, а также намного более эффективно использовать ресурсы задействованных технических средств. При этом кластер способен обрабатывать одновременно несколько десятков (сотен) заявок потребителей на стандартные продукты (L1, L2) и формировать одновременно несколько ортомозаик (L3).

При реализации автоматических алгоритмов формирования стандартных продуктов [4] и ортомозаик из них были решены ряд специфических задач [2], касающихся уточнения параметров баллистического движения КА и его ориентации, поиска опорных точек местности и связующих точек между маршрутами, семантической сегментации изображений с использованием искусственных нейронных сетей, блочное уравнивание маршрутов параметрами строгих моделей, их тональная радиометрическая балансировка, построение линий пореза и др.

Реализованные автоматические алгоритмы уточнения бортовых параметров баллистического движения КА и его ориентации как для индивидуальных маршрутов, так и в процессе блочного уравнивания обеспечили существенное улучшение качества автоматической геопривязки данных и результирующих ортомозаик в среднем до 2 - 3 метров (1 - 1.5 пикселя), сведения спектральных каналов и сшивки маршрутов в ортомозаики не хуже 1 пикселя.

На рисунке 2 представлен пример двухэтапного уточнения геопривязки.

В процессе уточнения навигационных параме-

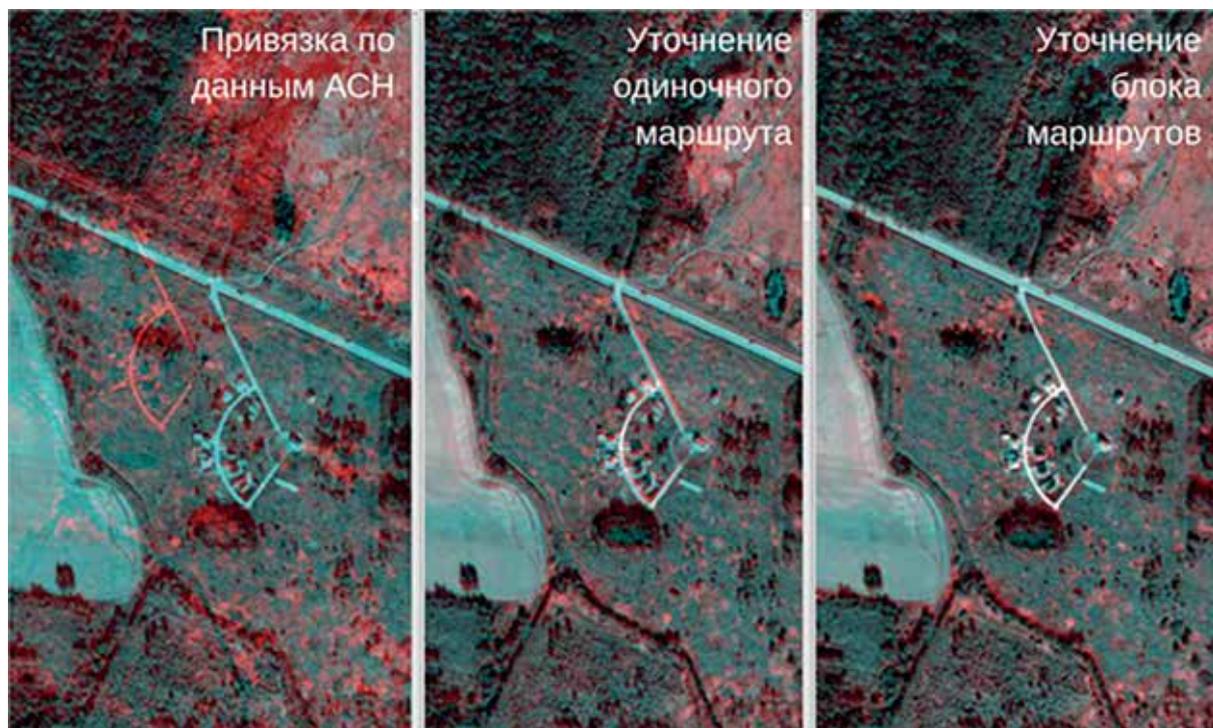


Рисунок 2 — Пример двухэтапной коррекции геопривязки

тров и блочного уравнивания характеристики точности оценивались автоматически. Оценка ручным способом для сверки результатов проводилась на примере одной из ортомозаик [5].

Результаты анализа автоматическим способом:

- исходная средняя точность геопривязки по бортовым данным АСН составляла более 40 метров (для архивных маршрутов, участвовавших в создании ортомозаики);

- результирующая средняя точность геопривязки по всему полю созданной ортомозаики составила 1,98 м (при пространственном разрешении ортомозаики 2,1 метра);

- общее количество опорных точек, участвовавших в автоматическом расчете точности геопривязки относительно опорного покрытия составляет около 300 тысяч. Равномерное расположение такого количества точек по всей площади ортомозаики является хорошим статистическим показателем достоверности полученных оценок точности.

Результаты анализа ручным способом:

- для фотограмметрического анализа точности геопривязки относительно опорного покрытия ручным способом было проведено 208 измерений равномерно по всей ортомозаике. Средняя ошибка составила 4,17 м.

- для анализа геопривязки ручным фотограмметрическим способом относительно высокоточных наземных опорных точек было проведено 98 измерений. Средняя ошибка составила 2,54 м.

Таким образом, анализ точности геопривязки показал сопоставимость результатов ручной и автоматической оценок, что позволяет в дальнейшем использовать автоматический способ.

При автоматическом создании ортомозаик создается маска качества, характеризующая точность геопривязки ортомозаики. Ниже на рисунке 3 изображен пример ортомозаики и маски качества на Тульскую область с цветной шкалой точности геопривязки от 0 до 10 м.

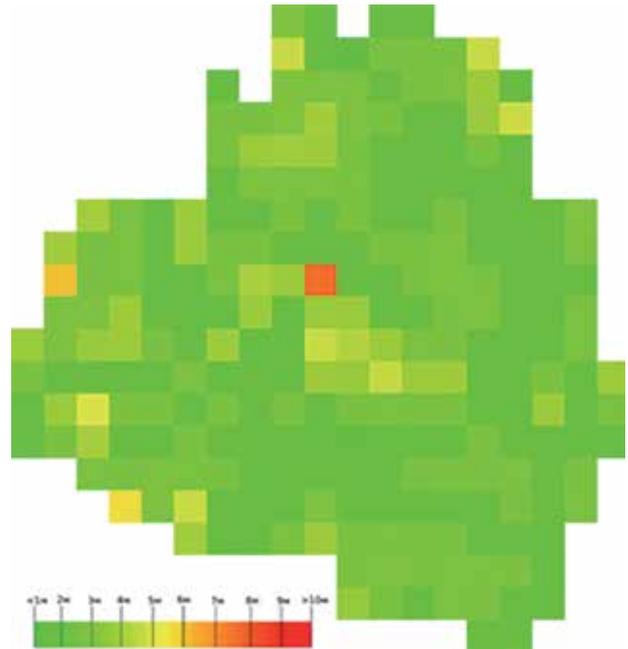
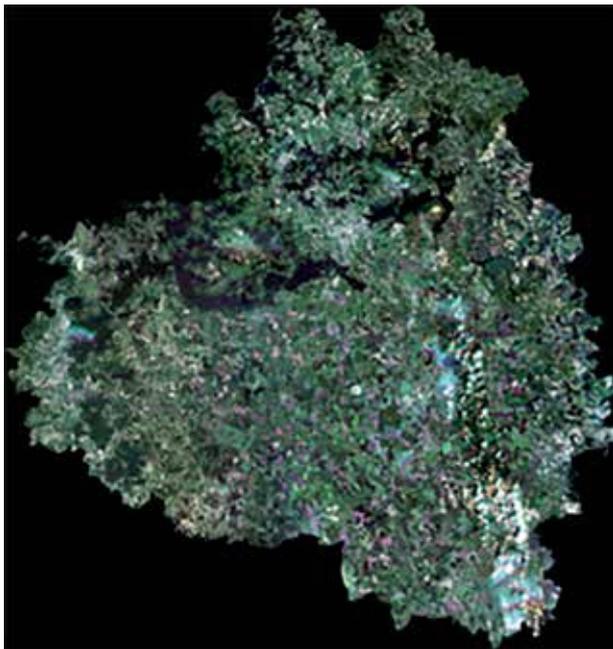


Рисунок 3 — Ортомозаика и маска качества на Тульскую область.

Далее представлены результаты формирования серии из 12 ортомозаик на различные субъекты РФ из архивных данных Канопус-В в разрешении 2.1 м (тип обработки PANSHARP, 4 спектральных канала). По 12 мозаикам проведен анализ точности геопривязки и сшивки маршрутов. Вся обработ-

ка производилось на части технических средства (было задействовано 10% мощностей) из состава ПОД ИС ЦЗ.

В таблице 1 приведены данные по площади, точности геопривязки маршрутов, а также времена формирования ортомозаик на 12 регионов.

Таблица 1 — Характеристики обработки ортомозаик на 12 регионов

Регион	Площадь, тыс. кв км	Время формирования	Точность геопривязки, м
Республика Адыгея	7,79	1:48:18	2,34
Еврейская АО	36	3:44:00	2.95
Ивановская обл.	21,4	3:36:17	2.83
Кабардино-Балкарская республика	12,47	2:18:19	2.72
Калининградская обл.	15,12	2:03:44	2.25
Калужская обл.	29,777	3:49:40	2.99
Карачаево-Черкесская республика	14,3	2:02:41	2.56
Липецкая обл.	24,04	3:30:03	2.33
Тульская обл.	25,7	3:20:37	2.43
Республика Татарстан	67,84	10:11:51	2.8
Республика Хакасия	61,6	10:20:08	3.16
Кемеровская обл.	95,7	18:28:43	3.94

Средняя скорость обработки по регионам на 10% технических средств составляет 9.5 мин на 1 тыс. кв км. Экстраполируя время обработки на 17 млн кв км (площадь территории РФ), получаем, на территорию всей Российской Федерации при задействовании 100% мощности технических средств можно сформировать ортомозаичное покрытие

примерно за 2 недели (примерно 50 тыс. кв км в час) в разрешении 2.1 м, из информационных продуктов Канопус-В (тип обработки PANSHARP, 4 спектральных канала).

На рисунке 4 представлены примеры полученных ортомозаик для 4-х регионов из 12-ти.

Описанная выше технология позволяет форми-



Рисунок 4 — Примеры ортомозаик на регионы: Еврейская автономная область (сверху слева), Ивановская область (сверху справа), Кабардино-Балкарская республика (внизу слева), республика Татарстан (внизу справа)

ровать не только мозаики из данных КА Канопус-В продуктов PANSHARP, но и из данных мульти-спектральной и панхроматической съемки. Технология автоматического формирования бесшовных ортомозаик не зависит от типа КА и сенсора и также используется для формирования мозаик по данным КА Ресурс-П аппаратуры Геотон мульти-спектральной, панхроматической съемки и из продуктов PANSHARP, а также по данным аппаратуры ШИМСА-ВР/СР, Метеор-М2 МСУ-МР, КМСС.

Таким образом, в рамках ПОД ИС ЦЗ была создана универсальная технология, позволяющая очень быстро (часы) формировать ортомозаичные покрытия по данным ДЗЗ полностью автоматически на целые регионы.

Список литературы:

1. Федоткин Д.И., Боровенский Е.Н., Сысенко Д.В., Ядыкин А.В. Программные комплексы и технологии автоматической обработки космической съёмки обеспечивающие работу Федерального фонда данных ДЗЗ и информационной системы «Цифровая Земля» // Материалы III Совместной международной научно-технической конференции «ЦИФРОВАЯ РЕАЛЬНОСТЬ: космические и пространственные данные, технологии обработки». Сочи: АО «Фирма «РАКУРС», 2023. С. 8. https://conf.racurs.ru/upload/2023/Materials23_www.pdf
2. Федоткин Д.И., Боровенский Е.Н., Сысенко Д.В., Ядыкин А.В., Лошкарев П.А. Автоматическая обработка данных космической съёмки в наземном

сегменте отечественной многоспутниковой группировки КА ДЗЗ // Журнал «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2024. Т. 21. № 3. С. 9.

DOI: 10.21046/2070-7401-2024-21-3-9-30
<http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=2840>

3. ГОСТ Р 59480-2021 “Данные дистанционного зондирования Земли из космоса. Уровни обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса.”

<https://files.stroyinf.ru/Data/762/76232.pdf>

4. Е. Н. Боровенский, Д. В. Сысенко, Д. И. Федоткин, А. В. Ядыкин ЕТРИС ДЗЗ: автоматический комплекс потоковой обработки информации (АПОИ) как действующая альтернатива НКПОР и основа федерального фонда данных ДЗЗ // Материалы 11-й международной научно-технической конференции “Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли”. Москва, ВНИИЭМ, 2023. С. 109

https://vniiem.ru/ru/uploads/files/conferences/231010/sbornik_tezisov_2023.pdf

5. Заичко В.А., Кутумов А.А., Федоткин Д.И., Боровенский Е.Н., Сысенко Д.В., Ядыкин А.В. Анализ точности ортомозаики, созданной в автоматическом режиме новым ПК из космических снимков высокого разрешения // Журнал «Геопрофи». 2024. №2. С. 20

<https://www.geoprofi.ru/technology/analiz-tochnosti-ortomozaiki-sozdanoj-v-avtomaticheskom-rezhime-novyhm-pk-iz-kosmicheskikh-snimkov-vyhsokogo-razresheniya>

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ И ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ НА АЭРОФОТОСНИМКАХ LEICA ADS100

А.А. Золотой, Д.И. Новиков

Научно-инженерное республиканское унитарное предприятие «Геоинформационные системы»
НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Детектирование объектов на аэрофотоснимках представляет собой задачу быстрого нахождения и локализации областей аэрофотоснимков где вероятно присутствуют объекты. Предварительное детектирование областей нахождения объектов на аэрофотоснимках способствует улучшению условий для последующего решения задач классификации или семантической сегментации объектов за счёт сокращения анализируемого пространства.

Современные решения в области детектирования объектов на изображениях строятся на применении искусственных нейронных сетей свёрточного типа (CNN — Convolutional Neural Network). Популярность CNN связана с увеличением производительности вычислительной техники. Свёрточная архитектура позволяет автоматически формировать признаковое пространство объектов. CNN требовательны к вычислительным ресурсам и объёму об-

учающей выборки. Обучение глубоких архитектур CNN производится на мощных GPU-ускорителях с привлечением специализированных программных библиотек, таких как например, TensorFlow или Torch.

Лесные и пахотные земли относятся к протяжённым площадным объектам, часто имеющим сложные морфологические формы. В данной работе детектирование лесных и пахотных земель выполнялось для последующей их семантической сегментации на аэрофотоснимках камеры Leica ADS100, которые представляют собой трёхканальные RGB-изображения с пространственным разрешением 0,3 м на пиксель. Характерным отличием в представлении лесных и пахотных земель на аэрофотоснимках с разрешением 0,3 м на пиксель, является их текстурность и детальность.

Учитывая особенности данных и свойства лесных и пахотных земель на аэрофото-снимках в данной работе был выбран подход, основанный на понижении разрешения входного изображения и использования для детектирования моделей с CNN типа U-Net, аналогичных тем, что использовались для семантической сегментации данных объектов. Для этого требовалось определить допустимую степень понижения разрешения входных изображений и выбрать архитектуры моделей детектирования.

Допустимая степень понижения разрешения

входных изображений для детектирования лесных и пахотных земель определялась из соображений о том, что точность (по метрике машинного обучения Recall) детектирования объектов на изображении пониженного разрешения была не ниже точности, которую показывает модель на изображениях исходного разрешения. Определение степени понижения разрешения изображений было выполнено путём обучения одной из архитектур модели U-Net на обучающих выборках изображений с пониженным разрешением и последующем детектировании объектов на тестовых изображениях с вычислением метрики машинного обучения Recall. Понижение разрешения исходных изображений производилось в 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8 раз. Результаты расчётов приведены в таблице 1.

Из результатов таблицы 1 видно, что при детектировании лесных земель, понижение исходного разрешения изображений более чем в 5 раз приводит к резкому снижению точности детектирования по метрике Recall. При детектировании пахотных земель, резкое снижение точности детектирования наблюдается уже при понижении исходного разрешения изображений более чем в 3 раза. Поэтому, степень понижения исходного разрешения изображений для детектирования лесных земель может быть выбрана не более чем в 5 раз, и не более чем в 3 раза для пахотных земель.

Таблица 1 — Метрики Recall, вычисленные для модели детектирования объектов с архитектурой U-Net при последовательном уменьшении размеров входных изображений

Кратность понижения	Метрика Recall	
	Лесные земли	Пахотные земли
2	0,96907	0,95896
3	0,96863	0,95397
4	0,96791	0,95317
5	0,96781	0,90134
6	0,91459	0,83631
7	0,83937	0,67738
8	0,69852	0,43023

Архитектура модели детектирования лесных и пахотных земель на основе CNN типа U-Net выбиралась по результатам анализа работы нескольких

вариантов архитектуры, предложенных на основе изучения свойств детектируемых объектов на изображениях данного вида. Всего рассматривалось

шесть вариантов архитектур для лесных и пахотных земель, отличающихся количеством слоёв и составом фильтров. Точность детектирования объектов

оценивалась по метрике Recall. Результаты приведены в таблицах 2 и 3.

Таблица 2 — Оценка архитектур модели детектирования лесных земель

Модель	Число слоёв	Число фильтров в первом слое	Метрики	
			Precision	Recall
Detect-201-0-aerial	3	24	0,94759	0,99541
Detect-201-1-aerial	3	30	0,95434	0,99638
Detect-201-2-aerial	3	36	0,95604	0,99693
Detect-201-3-aerial	4	12	0,94976	0,97576
Detect-201-4-aerial	4	16	0,95548	0,97999
Detect-201-5-aerial	4	20	0,95278	0,98634

Таблица 3 — Оценка архитектур модели детектирования пахотных земель

Модель	Число слоёв	Число фильтров в первом слое	Метрики	
			Precision	Recall
Detect-101103-0-aerial	3	26	0,94064	0,98629
Detect-101103-1-aerial	3	32	0,94527	0,98763
Detect-101103-2-aerial	3	38	0,92470	0,98998
Detect-101103-3-aerial	4	16	0,94008	0,96924
Detect-101103-4-aerial	4	20	0,93539	0,97039
Detect-101103-5-aerial	4	24	0,94740	0,97118

Для обеспечения приемлемой точности детектирования трёхслойным архитектурам требуется более число фильтров, четырёхслойным — меньше. Увеличение числа слоёв и фильтров утяжеляет модель. Более «тяжёлая» модель дольше обучается, медленнее работает. Поэтому при выборе архитектуры необходимо учитывать точность, скорость работы, и размер модели. Поэтому для детектирования лесных земель была выбрана архитектура

«Detect-201-0-aerial», а для детектирования пахотных земель — «Detect-101103-0-aerial». Выбранные архитектуры моделей детектирования показывают не самую высокую, но, приемлемую точность работы. При этом обе архитектуры имеют наименьшие размеры и более высокую скорость работы, что также является важной характеристикой для моделей детектирования.

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СЪЁМОЧНЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Е.А. Шпаковский, Н.О. Старосотников
ОАО «Пеленг», г. Минск, Республика Беларусь

ОАО «Пеленг» занимается производством съёмочных оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли, с различными типами геометрических моделей съёмочных оптико-электронных аппаратов. Может предоставить заказчикам базовое программное обеспечение для обработки целевой информации с учётом геометрической модели съёмки оптико-электронного аппарата, на базе которого может быть разработано разнообразное тематическое программное обеспечение в зависимости от решаемых специализированных задач. Настоящая статья приводит разные типы геометрических моделей съёмки, их описание, элементы, которые в них входят, а также как геометрические модели съёмки применяются в обработке целевой информации.

Введение

В настоящий момент область дистанционного зондирования, в частности Земли (ДЗЗ), развивается быстрыми темпами. Создается и запускается на орбиту все большие группировки аппаратов (десятки – сотни), способных снимать поверхность Земли со сверхвысоким геометрическим разрешением, всё большим полем зрения и обзора, в разных диапазонах длин волн и разной периодичностью. В результате всё большую роль начинает занимать проблема унификации и стандартизации целевой информации таких аппаратов. Эта проблема вносит дополнительные сложности в разработку и создание новых систем ДЗЗ и глобальных информационных систем данных ДЗЗ. Для систематизации информации, вклада в стандартизацию и унификацию аппаратов ДЗЗ, написана настоящая статья, в которой проведен анализ типов геометрических моделей съёмки оптико-электронной аппаратуры (ОЭА).

Согласно основным положениям международных стандартов [1] в области дистанционного зондирования Земли выделяют следующие модели съёмочных аппаратов для геопозиционирования: кадровый, продольного сканирования, поперечного сканирования, радар с синтезированной апертурой.

Типы съёмочных аппаратов в зависимости от их геометрических моделей съёмки:

- кадровый (frame) — модель, использующая

ОЭА, который управляет и собирает все данные в один определённый момент времени для формирования снимка. Обычно имеет фиксированную экспозицию. В такой схеме все световые лучи от объекта проходят через перспективный центр симметрии;

- продольное заметание (pushbroom) — сканерная модель съёмки подстилающей поверхности Земли. Такой ОЭА собирает за раз одну строку снимка, расположенную поперек траектории движения. Смещение пикселей вдоль вектора движения не происходит, а изображение получается за счёт движения платформы;

- поперечное заметание (whiskbroom) — маятниковая модель съёмки, при которой ОЭА осуществляет развёртку, формируя строку снимка, расположенную поперек траектории движения, и строит более крупный снимок из набора смежных строк, получаемых в результате движения вдоль траектории съёмочной платформы;

- сканирующее зеркало — модель, при которой зеркало, за счет поворота, обеспечивает развёртку снимаемого пространства на ОЭА. Параметры получаемого изображения зависят от скорости сканирования, количества зеркал и типа сканирования;

- радар с синтезированной апертурой (РСА или SAR) — такой тип аппарата, который использует серию радиолокационных импульсов, передаваемых и принимаемых с течением времени от движущейся платформы для создания изображения. РСА создает большую виртуальную антенну, известную как синтетическая апертура, которая позволяет точно сфокусировать виртуальный луч в направлении пути полёта;

- LiDAR — тип съёмочной аппаратуры, который работает по принципу радара, регистрируя ранее отправленные пучки света в ближнем инфракрасном диапазоне. После чего вычисляется разница во времени и расстояние. В результате имеется набор данных, также известный как облако точек. Помимо этого, в задачах ДЗЗ, может использоваться как анализатор атмосферы (прозрачной среды).

Для систематизации параметров геометрических моделей съёмки различных аппаратов обозначим элементы внешнего и внутреннего ориентирования.

К **внешним элементам ориентирования** относятся используемые системы координат, пространственное положение аппарата относительно платформы-носителя, например, КА (космического аппарата), которые измеряют линейное положение и угловую ориентацию в момент съёмки, временная синхронизация аппарата и системы платформы-носителя и, если имеется несколько КА, их положение относительно друг друга.

– Инерциальная экваториальная система координат в эпохе J2000. Эта система координат закрепляется координатами опорных звёзд. Начало системы положено в центре общеземной системы координат, ось Z направлена на северный полюс мира, ось X расположена в плоскости экватора и направлена в точку весеннего равноденствия, ось Y дополняет систему до правой. Поскольку положение звёзд на небесной сфере не постоянно, то для фиксирования системы принимают стандартную эпоху J2000.

– Орбитальная система координат. Эта система определяет положение КА на орбите планеты. Начало координат находится в центре масс КА, одна из осей направлена в сторону геоида или от него, другая направлена в сторону вектора движения КА, третья ось дополняет систему до правой.

– Базовая (приборная) система координат используется для стыковки ОЭА с несущей платформой. Одна ось перпендикулярна плоскости стыковки, а две другие оси лежат в плоскости стыковки.

– Система координат ОЭА. Начало этой системы находится в центре входного зрачка объектива. Оси являются проекциями системы координат фокальной плоскости. Центр — входной зрачок объектива.

– Система геоцентрических координат, например WGS-84. Это общеземная система пространственных координат, с началом в центре Земли. Вместе с Землёй вращается и система координат. Линейное положение КА в геоцентрическом пространстве рассчитывается по трем осям: X — ось, направленная из центра Земли в сторону опорного меридиана, Z — ось, направленная из центра Земли в сторону северного полюса и Y — ось, дополняющая систему до правой.

Ориентация аппарата представлена Эйлеровыми углами α — тангаж, ω — крен, κ — рыскание. Нулевым положением КА считается положение, при котором визирная ось ОЭА направлена в нади́р, т. е. крен и тангаж равны нулю. Рыскание всегда должно быть таким, чтобы обеспечить одинаковую скорость бега местности поперёк полёта во время

съёмки для определённой широты.

Время в ОЭА и бортовое время КА являются локальными и отсчитываются отдельными тактовыми генераторами ОЭА и КА соответственно. Время ОЭА служит для согласования и синхронизации работы подсистем ОЭА, используется для определения момента съёмки, привязывается к бортовому времени КА. Бортовое время КА служит для согласования и синхронизации работы подсистем КА, привязывается ко времени ГНСС. Время ГНСС используется для вычисления линейных координат и угловой ориентации КА непосредственно в момент съёмки объекта, также позволяет учесть вращение Земли.

Привязку получаемой видеоинформации ОЭА к бортовой шкале времени КА обеспечивает служба времени ОЭА.

К **внутренним элементам ориентирования** относят следующие параметры: параметры разных типов объективов: фотограмметрическое фокусное расстояние, коэффициенты аппроксимации дисторсии объектива при необходимости, расположение задней главной точки и др., а также расположение фотоприёмников в фокальной плоскости относительно задней главной точки, размер пикселя.

Типы объективов:

– линзовый (рефракторный) — тип оптической системы, который для сбора и фокусировки света использует набор линз. Пример показан на рисунке 1, пример реализации — [2].

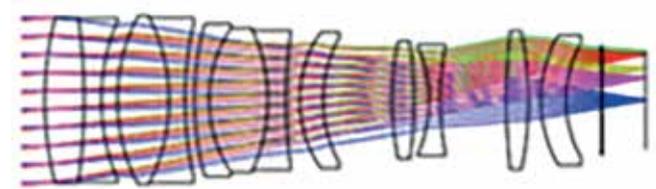
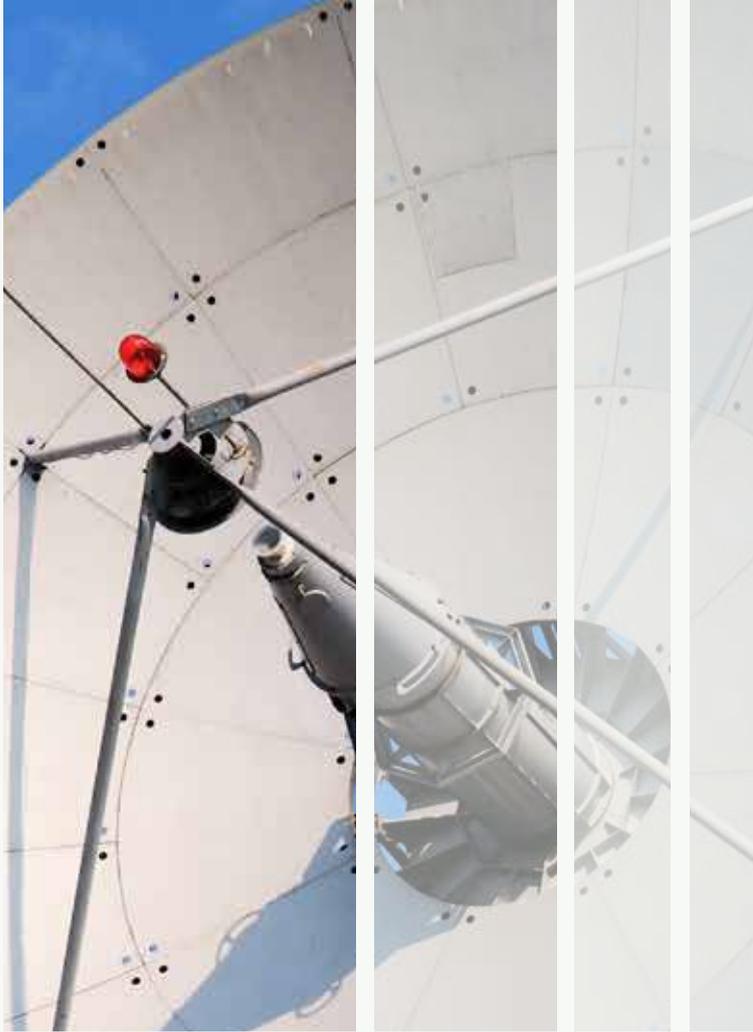


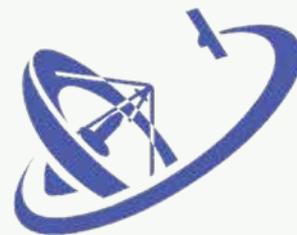
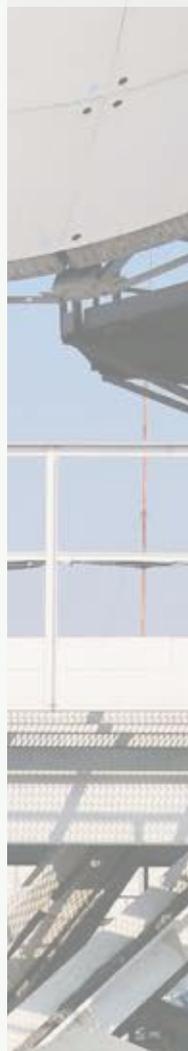
Рисунок 1 — Схема линзового объектива

Такая схема обладает рядом преимуществ, но при этом имеет недостатки. Использование системы линз для фокусировки принимаемого света позволяет получить изображение с малой дисторсией. Однако это же приводит к хроматическим aberrациям. При этом конструкция таких аппаратов довольно стабильна и компактна, сохраняя, при этом достаточно большие углы обзора;

– зеркально-линзовый (рефлектор-рефрактор) — оптическая система, которая для сбора света использует как отражающие элементы — зеркала, так и преломляющие — линзы. Пример показан на



НАУЧНО-ИНЖЕНЕРНОЕ РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
“ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ” НАН БЕЛАРУСИ



рисунке 2, пример реализации — [3].

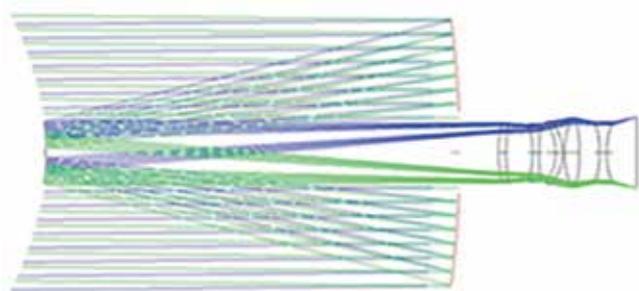


Рисунок 2 — Схема зеркально-линзового объектива

Зеркально-линзовые схемы могут обладать большой апертурой. Благодаря линзовому корректору достигается малая дисторсия, но появляется хроматизм. Обычно имеет небольшие поля зрения;

– зеркальные (рефлекторный) — оптическая система, которая собирает свет только с помощью светоотражательных элементов — зеркал. Пример показан на рисунке 3, пример реализации — [4].

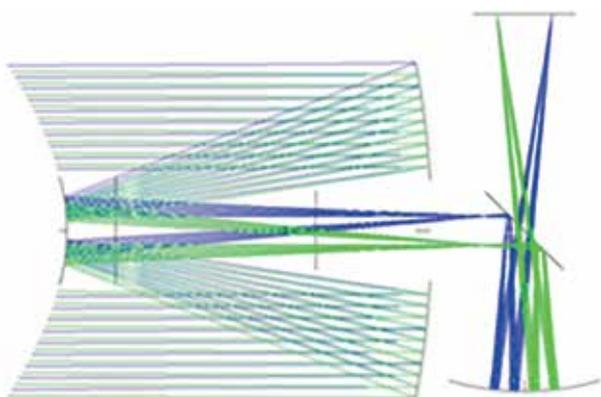


Рисунок 3 — Схема зеркального объектива

Такие системы чаще всего имеют большие апертуры и малые поля зрения. В них отсутствует хроматизм, но величина дисторсии больше, чем в линзовых. Обычно такая система строится по системе Ричи-Кретьена или Корша. Система Ричи-Кретьена хоть и является усовершенствованной системой Кассегрена и обладает более широким полем зрения, имеет полевые aberrации, в частности кому. Схема Корша представляет из себя трёхзеркальный анастигмат, т. е. практически лишена всех aberrаций. При этом такая система может иметь довольно большое поле зрения;

– внеосевой зеркальный — оптическая система, которая собирает свет с помощью зеркал, расположенных вне главной оси объектива. Пример

показан на рисунке 4, пример реализации — [5].

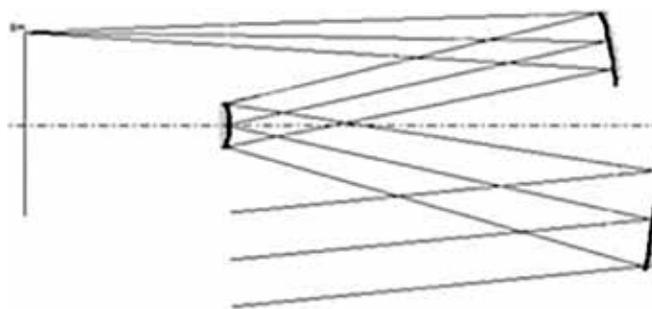


Рисунок 4 — Схема внеосевого зеркального объектива

Такие схемы обладают малой дисторсией и большим полем зрения, но при этом менее геометрически стабильны;

– система со сканирующим зеркалом — система при которой сбор света происходит с помощью зеркал в различных вариантах сканирования. В таких системах плоские зеркала являются подвижным элементом перед ОЭА. Такая схема требует геометрически точного сканирования плоскими зеркалами. Чаще всего используется на метеоспутниках.

Объективы дальномеров могут использовать аналогичные объективы, например [6].

Расположение фотоприёмников задаётся в системе координат фокальной плоскости. Эта система служит для определения положения изображения объекта в фокальной плоскости съёмочной системы. Одна из осей направлена вдоль столбцов фотоприёмника, является проекцией вектора скорости платформы учётом направления считывания. Другая ось направлена вдоль строк.

Вне зависимости от количества, фотоприёмники могут располагаться в фокальной плоскости по-разному: как в центре фокальной плоскости, определяемой пересечением с оптической осью, так и вне центра. Условный центр фотоприёмника или, если их множество, фотоприёмников определяет визирную ось. Проекции фотоприёмников могут быть совмещены или не совмещены оптически. Не совмещённый вариант обычно предполагает расположение фотоприёмников в шахматном порядке. Этот вариант легко реализуется конструктивно. Однако он имеет недостаток: расстояние между фотоприёмниками по вектору полёта. Из-за этого появляются дополнительные требования к стабилизации платформы.

Фотоприёмники специально располагаются таким образом, чтобы имелось небольшое перекры-

тие, необходимое для обеспечения изображения без разрывов. В случае шахматного расположения, фотоприёмники снимают одну и ту же местность не одновременно, и в случае каких-либо нестабильностей платформы, может привести к смещениям фрагментов изображений при сшивке полученных с фотоприёмников изображений. В варианте совмещённых фотоприёмников такой проблемы не встаёт, однако это требует сложной конструктивной реализации фокальной плоскости. В зависимости от типа объектива и величины дисторсии возможны следующие варианты:

- можно пренебречь исправление искажений;
- установить поправочные коэффициенты;
- полиномиально аппроксимировать.

В случае упрощённого представления дисторсии, она может быть представлена полиномом первой степени, то есть линейными коэффициентами, для каждого отдельного фотоприёмника.

Существуют особенности геометрических моделей съёмки для случая применения цветных фотоприёмников. Чаще всего используется фильтр Байера, в котором на один пиксель приходится 4 субпикселя — 2 зелёных и по одному на синий и красный каналы. Также применяются и другие схемы цветных фильтров, например, RGBE или RGBW. Недостающая информация интерполируется.

Геометрическая модель съёмки ОЭА применяется практически на всех этапах обработки. Окончательный результат обработки зависит от поставленной задачи. Специализированное ПО может предоставить, например, данные о геопривязке с или без изображения. Выполнить ортотрансформацию с данными высот или без них. Получить комплексированное цветное изображение Земли. Получить данные цифровой модели местности (ЦММ) / рельефа (ЦМР) по изображениям подстилающей поверхности Земли, снятой под разными углами (стереосъёмки).

Схема обработки целевой информации представлена на рисунке 5.

Во время «сшивки» — совмещения изображений, полученных разными фотоприёмниками, в одно бесшовное, учитываются почти все данные геометрической модели съёмки ОЭА. В начале вычисляются координаты объектов на снимке. При строгом подходе вычисляются вектора съёмки пикселей фотоприёмника. После чего считается пересечение этих векторов с эллипсоидом вращения того или иного датума. В расчёте также учитывается такой параметр, как вращение Земли во время съёмки. Далее эти координаты могут быть применены для ортотрансформации и совмещения изображений от-

дельных фотоприёмников в одно цельное.

Также на этом этапе могут быть учтены данные высоты снятой местности. Если необходимость в ортотрансформации отсутствует, то сшивка может быть выполнена с помощью данных паспорта калибровки элементов внутреннего ориентирования или используя специальные алгоритмы кросс-корреляции сигналов в перекрытиях фотоприёмников.

В операции паншарпенинга также участвуют алгоритмы повышения качества изображений. Эти алгоритмы обеспечивают улучшение пространственного разрешения, уменьшают шумы на изображении. Обеспечивают восстановление изображений путем компенсации функции рассеяния точки ОЭА. Обеспечивают атмосферную коррекцию. Также при совмещении проводится фильтрация мультиспектральных каналов, с целью избавления от цветового шума на изображении. В результате получается цветное изображение, сохранившее свои пространственные и спектральные характеристики в естественных цветах [7].

Для получения ЦМР, необходимым шагом является этап ректификации и получения фундаментальной матрицы. На этом этапе используются данные внутреннего и внешнего ориентирования. После чего выполняется задача автоматизированного построения ЦМР. В дальнейшем полученная модель может быть использованная для ортотрансформирования снимка.

Основным критерием точности геометрической модели съёмки может являться погрешность геопозиционирования снимков. Например, самые точные современные КА достигают точности геопозиционирования снимков без опорных точек порядка (0,5–1) м [8].

Типы представления геометрической модели съёмки

Данные дистанционного зондирования могут быть представлены как полными сведениями, в виде строгой модели, с полным математическим описанием, так и с некоторым приближением, в виде приближённой модели, с аппроксимированным представлением.

- Строгая модель.

В строгом подходе данные геометрической модели съёмки предоставляются совместно с телеметрией и являются частью поставляемых данных. Во время вычисления координат объектов эти данные могут быть применены к каждому пикселю снимка. В дальнейшем эти данные могут быть использованы при ортотрансформировании снимков или в задаче получения данных рельефа местности при

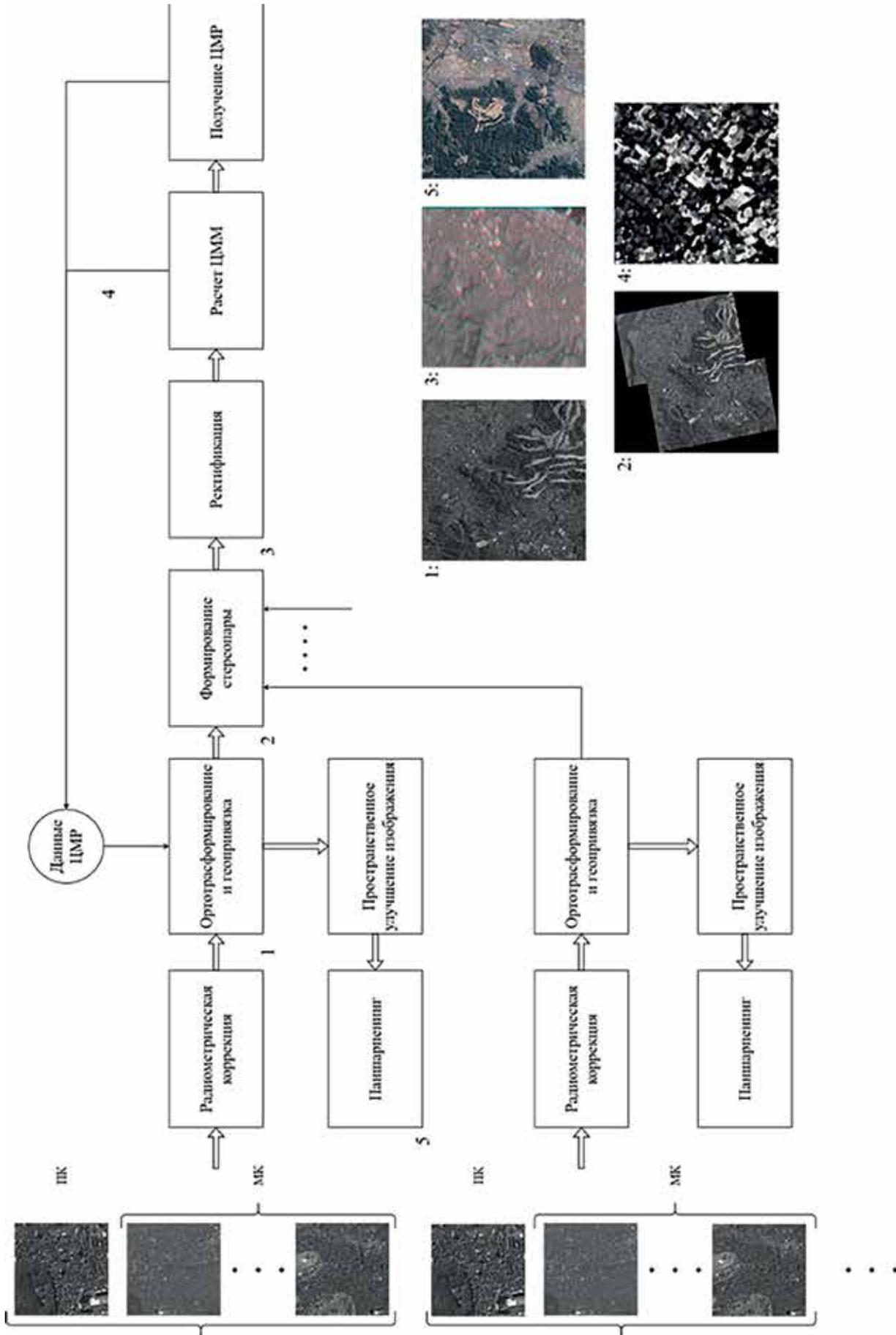


Рисунок 5 — Схема обработки целевой информации, с применением геометрической модели съёмки

ректификации стереоизображений.

Для формирования точных геометрических моделей съёмки, необходимы высокоточные системы измерения углового положения, например такие как [9].

– Полиномиальные коэффициенты.

В модели истинной замены или модели RPC, данные элементов внешнего и внутреннего ориентирования аппроксимируются полиномиальной моделью, коэффициенты которой передаются вместе со снимками. В этом случае дополнительная обработка проводится с помощью аппроксимации. Связь координат объекта и снимка задаётся степенным многочленом (RFM) и его коэффициентами (RPC) [10].

Заключение

Таким образом проведен анализ геометрических моделей съёмки аппаратов дистанционного зондирования Земли. Дано описание различных типов моделей и применение их элементов в обработке целевой информации. Также кратко описаны этапы постобработки изображений с использованием геометрической модели съёмки, полученных аппаратами ДЗЗ, что в целом может позволить систематизировать сведения о современных съёмочных аппаратах ДЗЗ.

Список источников

1. International Standard ISO 19130-1:2018, Geographic information – Imagery sensor models for georeferencing – Part 1: Fundamentals. – 152 p. / СТБ ISO 19130-1-2023, Дыстанцыйнае зандзіраванне Зямлі з космасу. Тэматычная апрацоўка даных МАДЭЛІ ЗДЫМАЧНЫХ СЭНСАРАЎ ДЛЯ ГЕАПАЗІЦЫЯНІРАВАННЯ Частка 1 Асноўныя палажэнні. – 147 с.

2. ВУ 20080501, RU 87545 U1, Светосильный объектив, ОАО "Пеленг" – 2008.06.18.

3. ВУ 20050741, RU 58231 U1, Космический зеркально-линзовый объектив, ОАО "Пеленг" – 2005.11.24.

4. ВУ 20200222, RU 209190 U1, Зеркальный объектив космического телескопа, ОАО "Пеленг" – 2020.09.10.

5. RU 106764 U8, Трехзеркальная оптическая система без экранирования, ОАО "Пеленг" – 2011.01.27.

6. ВУ 20100868, RU 118079 U1, Оптическая система приемного блока лазерного дальномера, ОАО "Пеленг" – 2010.10.19.

7. Старосотников, Н.О. Постобработка целевой информации оптико-электронной аппаратуры ДЗЗ, разработанной ОАО «Пеленг» / Старосотников Н.О., Зайцева В. А.; Чеботарёв А. В.; Сикорский Д. А.; Романов Д. В. // Восьмой белорусский космический конгресс, 25–27 октября 2022 г., Минск: материалы конгресса: в 2 т. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2022. – Т. 1. – С. 241–244.

8. Zhang, Y.; Wang, T.; Zheng, T.; Zhang, Y.; Li, L.; Yu, Y.; Li, L. On-Orbit Geometric Calibration and Performance Validation of the GaoFen-14 Stereo Mapping Satellite. *Remote Sens.* 2023, 15, 4256. <https://doi.org/10.3390/rs15174256>.

9. Марчик, В. А. Оптико-электронные системы измерения ориентации космических аппаратов по звёздному небу ОАО «Пеленг» / Марчик В. А., Метельская Е. А., Старосотников Н. О., Котов М. Н. // Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли. Материалы XIX научно-технической конференции. – Москва, Зеленоград: 2023. – С. 58–65.

10. Сонюшкин, А.В. Совершенствование технологии создания ортофотопланов по космическим изображениям высокого разрешения. / Сонюшкин А.В., Чибуничев А.Г. Диссертация на соискание ученой степени – Москва: 2015. – С. 13–15.

ЦКП "ИКИ-МОНИТОРИНГ" — ОСНОВНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И МНОГОЛЕТНИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ФЕДЕРАЛЬНОГО И РЕГИОНАЛЬНОГО УРОВНЕЙ

Е.А. Лупян, М.А. Бурцев
ИКИ РАН, Москва, РФ

В последние десятилетия наблюдается резкий рост научных и прикладных задач, для решения которых используются данные дистанционного зондирования Земли. Это связано с ростом количества и качества спутниковых систем наблюдения Земли, доступности получаемой с них информации, а также развитием методов и технологий их обработки. Это привело к взрывному (экспоненциальному) росту информации, доступной для решения научных и прикладных задач. Для обеспечения эффективного использования появившихся возможностей потребовалась разработка новых подходов, которые должны были обеспечить исследователям и разработчикам удобный доступ не только к спутниковым данным и результатам их обработки, но и к инструментам и мощным распределенным вычислительным ресурсам для их обработки и анализа. Как показал опыт последних лет, решение данных задач можно обеспечить за счет создания крупных (иногда распределенных) систем, которые обеспечивают сбор, архивацию, обработку и, главное, возможность распределенного анализа и обработки спутниковых данных с использованием вычислительных мощностей, предоставляемых этими системами. К наиболее известным зарубежным системам, которые развиваются в этом направлении, можно отнести Google Earth Engine или Microsoft Planetary Computer.

В России ярким примером успешного создания и работы таких систем является Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных Института космических исследований Российской академии наук для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды (ЦКП «ИКИ-Мониторинг», <http://ckp.geosmis.ru/>), созданный в 2012 году. В основе программной инфраструктуры Центра лежат разработанные ИКИ РАН технологии, обеспечивающие создание и поддержку систем работы со сверхбольшими распределенными архивами спутниковых данных и сформированные и постоянно обновляющиеся архивы данных различных спутниковых

систем (на сегодня их объем в непосредственном доступе превышает 7 Пб). За время работы ЦКП «ИКИ-Мониторинг» показал свою эффективность и востребованность. Его возможностями сегодня пользуются около 150 организаций.

Одной из основных особенностей ЦКП является возможность обеспечения создания и поддержки научных и прикладных информационных систем дистанционного мониторинга различного уровня от регионального до федерального. За счёт использования готовых технологических решений, инфраструктуры и накопленных долговременных архивов данных и результатов их тематической обработки по всей территории России цикл разработки специализированной информационной системы существенно сокращается и включает в себя в основном создание специфичных для поставленной задачи инструментов анализа или адаптацию к ней уже существующих. Благодаря такому подходу на сегодня на базе ЦКП «ИКИ-Мониторинг» либо с использованием его возможностей функционирует несколько десятков таких систем, среди которых можно выделить уникальную научную установку «Vega-Science» (<http://sci-vega.ru>), профессиональный информационный сервис анализа данных спутниковых наблюдений для оценки и мониторинга возобновляемых биологических ресурсов «Vega-PRO» (<http://pro-vega.ru>), Информационную систему дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства ИСДМ-Рослесхоз (<http://pushkino.aviales.ru>), и многие другие.

Доклад посвящен представлению основных возможностей ЦКП «ИКИ-Мониторинг», описанию его структуры и решений, положенных в его основу, а также обзору основных текущих возможностей центра, опыта его использования для создания и поддержки информационных систем дистанционного мониторинга различного уровня и перспективам его развития.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (тема «Мониторинг», госрегистрация № 122042500031-8).

СОЗДАНИЕ НОВЫХ ВИДОВ ЦИФРОВОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ, В ТОМ ЧИСЛЕ НА ОСНОВЕ ЕЭКО, С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ

Е.А. Бровко,

ППК «Роскадастр», МИИГАиК, Москва, РФ

В настоящее время в целях реализации нормативных правовых актов: норм ФЗ–431 [1] в редакции ФЗ 491 [2], Федерального проекта [3], специалистами ППК «Роскадастр» выполняются научно-исследовательской работы, в рамках НИР «Геокарта 2030», одной из основных задач которой является совершенствование: цифровой картографической продукции, создаваемой в том числе на основе единой электронной картографической основы (ЕЭКО), а также технологий её создания и поддержания на уровне современности.

Для решения данной задачи предусматривается формирование концепции по созданию новых видов ЦКП на основе данных ЕЭКО, основные аспекты которой приведены в настоящих тезисах доклада.

Актуальность выполнения данных работ, в контексте принятой Правительством Российской Федерации «Концепция технологического развития на период до 2030 года» [4] обусловлена также необходимостью поддержки приоритетных инновационных технологических проектов, в ключевой отрасли экономики страны — геодезия, картография, кадастра на основе комплексного системного подхода к разработке инновационной цифровой картографической продукции с использованием критических и сквозных технологий.

Концептуальными аспектами создания новых видов цифровой картографической продукции (ЦКП), в том числе на основе ЕЭКО, определяются цели и задачи; используемые методы и технологии; основные принципы классификации ЦКП, степень новизны содержания ЦКП, назначение и функциональные особенности новых видов ЦКП.

Цели и задачи создания новых видов ЦКП обусловлены необходимостью организации разработки и выпуска современной инновационной продукции, обладающей «потребительской новизной», конкурентоспособностью, возможностью эффективного использования для решения задач управления территориями регионов страны, а также получения прибыли от реализации ЦКП.

Разработка новых видов ЦКП, на основе применения: методов исследования — **картографического, географического, аэро-космического**; материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), отраслевых пространственных данных;

инновационных геоинформационных технологий, — в целях получения актуальных по содержанию новых видов цифровой картографической продукции, целевым образом ориентирована на оперативное картографическое обеспечения отраслей экономики, обороны страны, науки и образования.

Используемые в настоящем исследовании **понятия** конкретизируют (детализируют) термины и их определения, рекомендованные в Концепции [4], раздел II. К основным из них могут быть отнесены:

– «инновационная продукция» — новые или подвергавшиеся различным технологическим изменениям в разной степени, в течение последних 3-5 лет «виды цифровой картографической продукции»;

– «критические технологии», ориентированные на создание новых видов ЦКП, геоинформационные технологии, используемые в отрасли геодезии, картографии, кадастра, в космической отрасли, необходимые для производства и создания инновационных видов ЦКП и высокотехнологичных сервисов, имеющих системное значение для картографического обеспечения страны;

– «сквозные технологии» создания новых видов ЦКП — перспективные технологии межотраслевого назначения, обеспечивающие за счёт создания ЦКП, сервисов, и формирования государственных географических информационных ресурсов (отечественного научно-технологического задела) — достижение технологического лидерства отрасли геодезии, картографии и кадастра, как на российском, так и на международном уровне.

К сквозным технологиям, в рассматриваемой предметной области, с учётом данных, изложенных в приложении 2 [4], могут быть отнесены технологии:

– машинного обучения — при проведении автоматического дешифрирования материалов космической съёмки, с использованием искусственного интеллекта, с последующим использованием результатов дешифрирования при создании ЦКП различного тематического содержания;

– сбора, хранения и анализа больших данных [5] в базах данных, картографических сервисах и на геопорталах;

– создания специализированных видов ЦКП, отражающих состояние и изменения территории картографирования в результате воздействия негативных природных и природно-антропогенных факторов и обеспечивающих фактографической информацией принятие управленческих решений по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду;

– применения материалов космической съёмки (оптико-электронной и радиолокационной) с перспективных отечественных космических систем.

В приведённой Классификации основных новых видов ЦКП (Таблица, фрагмент), построенной с учётом степени новизны ЦКП, её содержания, методов и технологий создания, цифровая картографическая продукция подразделяется на: I — удовлетворяющую новым потребностям пользователей для решения отраслевых задач; II — удовлетворяющую

существующим потребностям, при использовании дополнительных приёмов и способов получения информации; III — обновлённую (улучшенная); IV — модернизированную, с улучшенными основными показателями (информативности, точности, качества и др.); V — усовершенствованную, с улучшенными неосновными характеристиками ЦКП.

Предлагаемые принципы классификации новых видов ЦКП, позволят оценивать научную ценность, значимость и новизну разрабатываемой и создаваемой, на основе новых методов и геоинформационных технологий, инновационной цифровой картографической продукции. При этом должны учитываться возможности производственной базы ППК «Роскадастр» для изготовления и тиражирования ЦКП, а также многофакторность её использования для решения отраслевых задач, связанных с территориальным управлением.

Таблица 1 — Классификация новых видов цифровой картографической продукции (фрагмент)

№ пп	Наименование цифровой картографической продукции	Планируемые исследования в сфере разработки элементов ЦКП	Методы и геоинформационные технологии, рекомендуемые для создания ЦКП
1	Мультимасштабные (внемасштабной) топографические карты (планы) (масштабный ряд: 1:2 000—1:1 000 000) переменной детализации — (II)	Разработка предложений по актуализации: <ul style="list-style-type: none"> – системы классификации пространственных картографической информации; – условных знаков для отображения пространственных объектов и т.п. 	Разработка экспериментальной технологии формирования на основе географической информационной системы с открытым кодом
2	Цифровая дежурная топографическая карта – цифровая топографическая карта в электронном виде, используемая в качестве документа, в котором систематически отмечаются происходящие на местности изменения, подлежащие учёту и отображению на обновляемых и вновь изготавливаемых цифровых картографических продуктах (I) [5]	Разработка видов обеспечений: <ul style="list-style-type: none"> – мониторинга актуальности и обновления ЕЭКО и её использование в качестве современной картографической основы для создания новых видов ЦКП; – регламентированного постоянного ведения ЦДТК; – поддержание на уровне на уровне современности содержания ЦТК (ЭТК) и ЕЭКО, находящихся на хранении в ГФПД, в том числе в ФФПД, ведомственных и региональных фондах пространственных данных; – формирование государственного географического информационного ресурса (системы государственного топографического мониторинга), используемого при создании и оперативном обновлении карт и планов на территорию. 	Методы и технологии детального топографического мониторинга, разрабатываемые в рамках: <ul style="list-style-type: none"> – проекта ГОСТ Р «Топографический мониторинг цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных. Основные положения» (ПНС—2023); – проекта ГОСТ Р «Методическое и организационное обеспечение детального топографического мониторинга при обновлении цифровых и электронных карт. Основные положения» (ПНС—2024).

№ пп	Наименование цифровой картографической продукции	Планируемые исследования в сфере разработки элементов ЦКП	Методы и геоинформационные технологии, рекомендуемые для создания ЦКП
3	Электронные карты (планы), карты местности и населённых пунктов в трёхмерной системе координат (3D планов) (III)	<p>Разработка информационно-картографического обеспечения электронных карт (планов) в трёхмерной системе координат:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проекта классификатора картографической информации типовых объектов; – проекта требований к правилам цифрового описания типовых объектов; – проекта условных знаков типовых объектов и т.п. 	Разработка экспериментальной технологии формирования электронных (планов) в трёхмерной системе координат с использованием данных лазерного сканирования.
4	Национальный атлас Российской Федерации (далее — Атлас) в графической, цифровой (электронной) и в мультимедийной формах (IV)	Актуализация: структуры и тематического содержания карт Атласа.	Технологии обновления элементов содержания карт Атласа и представления в электронном и мультимедийном виде, с использованием геоинформационных технологий
5	Цифровые (электронные) ортофотокарты, состоящих из ЦОФП (составной части ЕЭКО) с включённой в его состав: электронной картой рельефа, характеристик основных элементов объектов местности и элементов специального (тематического) содержания (I)	<p>Разработка:</p> <ul style="list-style-type: none"> – базовых элементов содержания ортофотокарт; – требований к электронной карте рельефа; – элементов специального содержания ортофотокарт; – программного обеспечения для создания ортофотокарт 	Технологии выполнения работ с использованием ЦОФП — составной части ЕЭКО, актуализированной по данным детального топографического мониторинга
6	Специализированные геоинформационные системы (различной тематической направленности) на основе ЕЭКО (V)	<p>Разработка (адаптация):</p> <ul style="list-style-type: none"> – специального содержания (различной тематической направленности); – программных средств; – инструментария для мультимедийных картографических приложений. 	Методы и геоинформационные технологии
продолжение следует...			

Основные результаты исследований в области создания новых видов цифровой картографической продукции направлены на обеспечение: технологического развития ключевой отрасли страны: геодезия, картография и кадастра; повышение её статуса на мировом уровне развития науки и технологий; эффективного решения задач секторов экономики, обороны и национальной безопасности Российской Феде-

рации.

Список литературы:

1. Федеральный закон от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ (ред. от 19 октября 2023 г.) «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (с изм. и доп., вступ. в силу с 1 апреля 2024 г.) в части реализации статей 4, 11, 16 (п.5), 17, 20

2. Федеральный закон от 4 августа 2023 г. № 491–ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации»

3. Федеральный проект «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС» государственной программы Российской Федерации «Космическая деятельность России» на 2021—2030 годы»

4. Концепция технологического развития на период до 2030 года, утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 мая 2023 г. № 1315-р

5. Бровко Е. А., Софинов Р. Э. «Разработка проекта национального стандарта в области геодезии и картографии: топографический мониторинг для обновления цифровых (электронных) топографических карт и актуализации пространственных данных// Геодезия и картография. — 2024. — № 6. — С. 21–30.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ПОСТРОЕНИЯ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ СО ВРЕМЕН БЕССЕЛЯ И ДО НАШИХ ДНЕЙ

М. В. Дробиз,

Филиал Публично-правовой компании «Роскадастр»
«Балтийское АГП», Калининград, РФ

В 2024 году отмечается 240-летний юбилей со дня рождения выдающегося астронома и геодезиста Ф. В. Бесселя (1784—1846), основателя и директора Кёнигсбергской обсерватории. Проведённая в г. Калининграде 19 июля 2024 г. научно-практическая Конференция, посвящённая этому юбилею Ф. В. Бесселя, воздаёт честь известному астрономо-геодезисту в городе, который великий учёный прославлял своими делами.

Его работам в отечественной литературе посвящено отдельное издание, которое в частности подробно описывает градусные измерения в Восточной Пруссии, послужившие основой создания модели Земли — «эллипсоида Бесселя». Данной моделью специалисты пользовались при создании топографических карт в нашей стране вплоть до 1946 г., а в некоторых странах Европы, Азии и Африки эллипсоид Бесселя применяется и до сих пор.

Упомянутые градусные измерения представляют собой значительный интерес в контексте проведения в 1830-е гг. совместных геодезических работ по Русско-Скандинавской дуге, выполненной В. Я. Струве и К. И. Теннером, образовав таким образом непрерывную сеть триангуляции на континенте от Дании на северо-западе до побережья Чёрного моря на юго-востоке. Для успешного проведения работ в Восточной Пруссии (сегодня Калининградская область Российской Федерации) Ф. В. Бесселем и И. Я. Байером было произведено измерение базисной линии протяжённостью 935 тазов (1 823 м) между населёнными пунктами Тренк и Медникен вблизи столицы провинции. В издании 1838 г. (переводное отечественное издание 1961 г.) подробно описана конструкция пунктов базиса и приводится схема их местоположения. С учётом использования топографических карт масштаба 1:25 000 1810—1944 гг. издания, полученных Балтийским аэрогеодезическим предприятием при выполнении грантового проекта Русского географического общества из архивов Берлинской государственной библиотеки в 2015 г., современное место расположения пунктов базиса Бесселя может быть установлено, а поиск нижних центров пунктов (подземной части) может привести к открытию свидетельств истории европейской и отечественной науки и практики, сравнимым с обнаружением сохранившихся пунктов Дуги Струве — единственно-

му инженерному сооружению Списка Всемирного наследия ЮНЕСКО. С данной целью в следующем году планируется провести экспедицию Русского географического общества с привлечением региональной геодезической общественности.

После 1945 г. северная часть Восточной Пруссии была передана Советскому Союзу, и первые десятилетия топографо-геодезическое сопровождение восстановления региона выполнялось с использованием довоенной базы, преимущественно силами профильных воинских частей. Лишь в 1977 г. была открыта Калининградская геодезическая контора минского Предприятия №5 Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР. За годы своего функционирования до 1992 г. были развито надёжное плано-высотное геодезическое обеспечение в Калининграде (единственный город в СССР, в котором за счёт федерального бюджета профинансировано создание топографических планов масштаба 1:500 на застроенную часть с подземными коммуникациями), в Калининградской области, в Литве и Латвии.

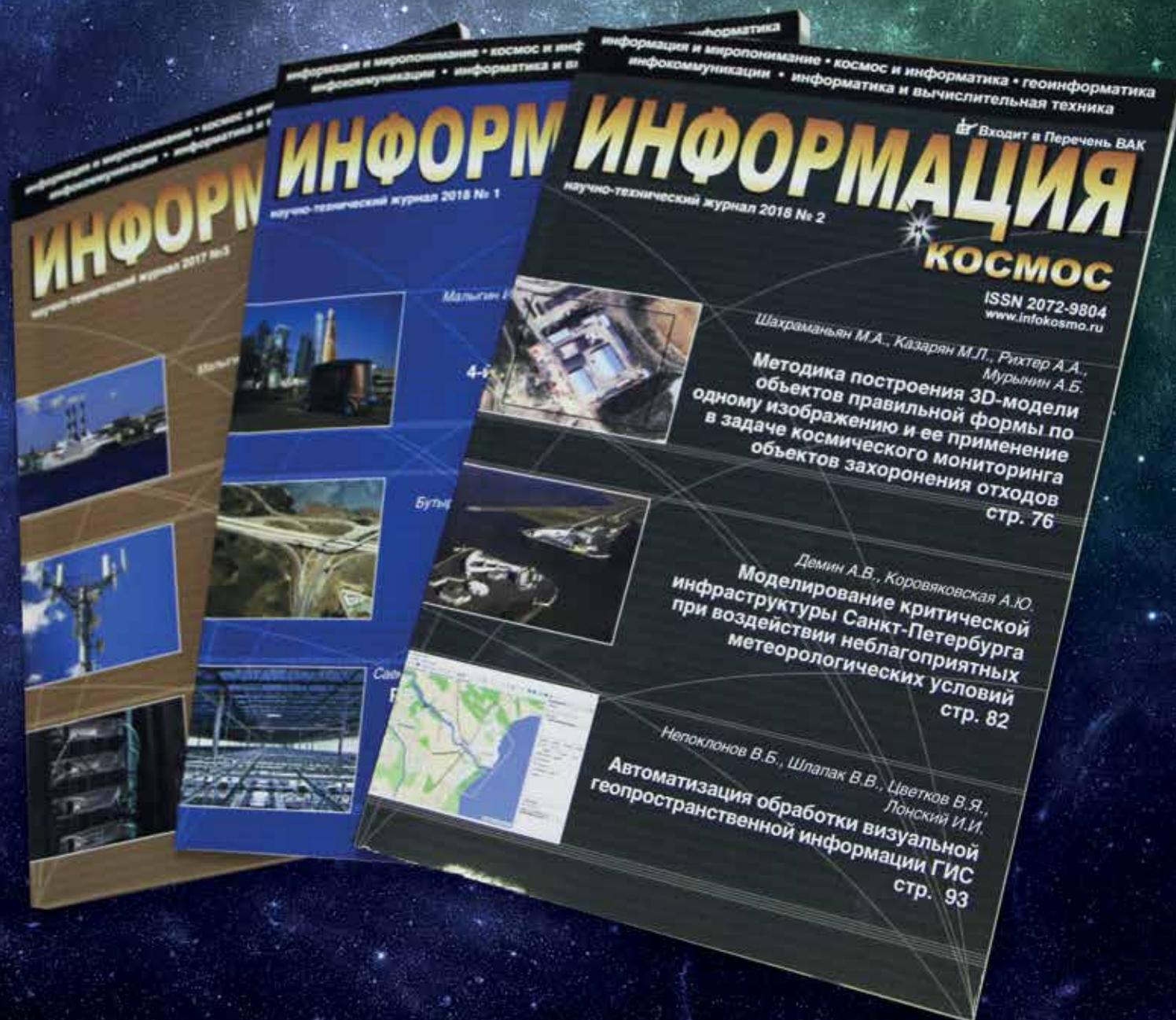
В российский период предприятием на территории Калининградской области создан пункт ФАГС, созданы пункты ВГС-1, Спутниковая геодезическая сеть СГС-1, восстановлены пункты Государственной геодезической сети, создана и продолжает расширяться сеть ФСГС, модернизирована Главная высотная основа, планируются работы по доугущению сети СГС-1, развитию и модернизации ФСГС.

В целом, ситуация с отсутствием финансирования для построения модели локального квазигеоида региона, который исторически послужил отправной точкой для близкого к современным представлениям расчёта модели земного эллипсоида, должна в ближайшее время разрешиться положительно, т.к. скорость утраты геодезических пунктов в Калининградской области превышает среднероссийские показатели. Кроме того, комплексного решения заслуживает и вопрос установления связи высокоточной нивелирной сети Калининградской области с нивелирной сетью основной территории Российской Федерации (Кронштадским футштоком), что в настоящее время не обеспечивает законодательно установленного единства измерений на всей территории страны.

Радиотехника и связь • Информатика, вычислительная техника и управление
Геоинформатика • Авиационная и ракетно-космическая техника • Философия информации



Журнал «Информация и Космос» входит в перечень
Высшей аттестационной комиссии (ВАК)



Оформи подписку на журнал «Информация и Космос»
Для связи с редакцией: marketing@itain.ru, тел. (812) 740-77-07, infokosmo.ru

ПРОФЕССИОНАЛЬНО ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ!

Электронная версия журнала
на расстоянии клика
на сайте и в социальных сетях

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ПО ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ И НАВИГАЦИИ

ГЕОПРОФИ

 www.GEOPROFI.RU

 vk.com/geoprofi_2003

 t.me/geoprofi_2003

Читайте журналы и отдельные статьи на компьютере и мобильных устройствах или подпишитесь на полиграфическую версию.

За 20 лет:

- 120+ выпусков журнала
- более 1300 авторов из России и других стран
- 1126 статей о технологиях, организациях, учебных заведениях и специалистах
- изданы шесть книг из серии «Библиотека научно-технического журнала по геодезии, картографии и навигации «Геопрофи»
- оказана информационная поддержка около 300 мероприятиям

ISSN 2306 8736



Почтовый адрес редакции:
117513, Москва,
Ленинский пр-т, 135, корп. 2
E-mail: info@geoprofi.ru

СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ НЕКОТОРЫХ ОБРАТНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЕОДЕЗИИ

А. Э. Дергилёва, В. В. Попадъёв,
ППК «Роскадастр», Москва, РФ

Введение

На фоне совершенствования измерительных технологий всё большую роль начинают играть обратные задачи. Информацию о гравитационном поле на морской и океанической поверхностях, широко используемую во множестве приложений наук о Земле, можно получить, в частности, при помощи определения высот такой почти уровенной поверхности с альтиметрического спутника. Рассматривая задачу согласуется с требованиями теоремы Стокса, а значит, возможно однозначное восстановление всех элементов поля силы тяжести над указанной поверхностью.

Для её решения применяются соответствующие интегральные формулы теории ньютонова потенциала, а точность оценивается по внутренней сходимости, при этом практически не уделено внимание исследованию методических ошибок, возникающих при реализации обозначенных формул. Вследствие чего, в данной работе рассматривается оценка точности восстановления смешанных аномалий силы тяжести при помощи двух обратных интегральных преобразований: на основе высот геоида и уклонений отвесных линий на геоиде.

Подготовка исходных данных

Для исследования собственной ошибки вычислительного алгоритма его реализация выполняется в модельных условиях при отсутствии шумов в исходных данных. Источником нормального поля послужил общеземной эллипсоид ПЗ-90.11, аномального — система ТМ-60 [1] (см. Рисунок 1). Предполагается, что вычисления проводятся на планете, поверхность которой полностью покрыта океаном.

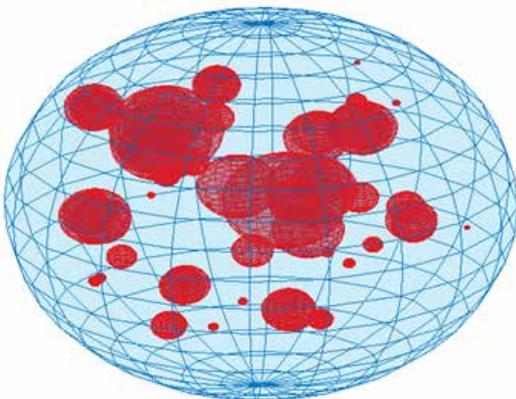


Рисунок 1 – Система ТМ-60

1. Определены необходимые геометрические и физические постоянные Нормальной Земли.

2. Вычислены высоты уровенной поверхности геоида ($W_0 = U_0$).

3. Определены составляющие уклонений отвеса в заданных точках по модели точечных масс [1]

$$\xi = -\rho'' \frac{GM}{\gamma_0} \sum_{i=1}^{60} \varepsilon_i \frac{\rho_i}{r_i^3} [\sin \varphi_i \cos \varphi - \cos \varphi_i \sin \varphi \cos(\lambda_i - \lambda)],$$

$$\eta = -\rho'' \frac{GM}{\gamma} \sum_{i=1}^{60} \varepsilon_i \frac{\rho_i}{r_i^3} \cos \varphi_i \sin(\lambda_i - \lambda),$$

здесь φ, λ — сферические широта и долгота заданной точки; $\varphi_i, \lambda_i, \rho_i$ — сферические широта долгота и радиус-вектор i -ой точечной массы, $\varepsilon_i = m_i/M$ — величина i -ой точечной массы (m_i), выраженная в единицах массы Земли (M), r_i — расстояние между i -ой точечной массой и рассматриваемой точкой; нормальная сила тяжести на поверхности эллипсоида, а также произведены контрольные вычисления

$$\xi = -\frac{\Delta N}{\Delta x} = -\frac{\Delta N}{R \Delta B},$$

$$\eta = -\frac{\Delta N}{\Delta y} = -\frac{\Delta N}{R \Delta L \cos B_{cp}},$$

здесь R — средний радиус Земли, ΔB и ΔL — приращения широты и долготы между двумя соседними точками соответственно, B_{cp} — широта центральной точки в ячейке.

4. Вычислены смешанные аномалии силы тяжести по модели точечных масс [2]

$$\Delta g = GM \sum_{i=1}^{60} \varepsilon_i \left(\frac{\rho - \rho_i \cos \psi}{r_i^3} - \frac{2}{\rho r_i} \right),$$

ψ — сферическое расстояние между i -ой точечной массой и исследуемой точкой, контрольные определения выполнены при помощи приближенной формулы

$$g \approx \left| \frac{W_{0-0,5} - W_{0+0,5}}{1 \text{ м}} \right|,$$

здесь $W_{0-0,5}$ — значение потенциала силы тяжести на высотах ниже поверхности геоида на 0,5 м; $W_{0+0,5}$ — значение потенциала силы тяжести на высотах 0,5 м над поверхностью геоида, откуда смешанная аномалия силы тяжести по определению может быть найдена по формуле

$$\Delta g = g - \gamma_0,$$

γ_0 — нормальная сила тяжести на поверхности эллипсоида.

Расхождения в вычислении составляющих уклонений отвеса между двумя подходами не превышают 0.004" для ξ и 0.012" — для η , а также 0.012 мГал для Δg .

Обратные формулы Стокса и Венинг-Мейнеса

В основе обратной формулы Стокса лежит необходимость знания высот геоида в заданной и определяемой точках [3]

$$\Delta g = -\frac{\gamma_0}{R} N - \frac{\gamma_0}{16\pi R} \iint_{\sigma} \frac{N_j - N}{\sin^3 \frac{\psi}{2}} d\sigma_j, \quad (1)$$

здесь индексом j обозначены параметры, относящиеся к элементарной площадке в заданной области интегрирования σ , не совпадающей с точкой вычислений; ψ — сферическое расстояние между j -ой переменной площадкой и точкой вычислений.

Исходными для обратной формулы Венинг-Мейнеса компонентами аномального поля являются уклонения отвесных линий в заданных точках [3]

$$\Delta g = \frac{\gamma_0}{4\pi} \iint_{\sigma} V(\psi) (\xi_j \cos \alpha + \eta_j \sin \alpha) d\sigma_j, \quad (2)$$

здесь α — азимут с элементарной площадки $d\sigma_j$ из области интегрирования на точку вычисления, а ядро подынтегрального выражения [3]

$$V(\psi) = 3 \csc \psi - \csc \psi \csc \frac{\psi}{2} - \tan \frac{\psi}{2}, \quad (3)$$

или [4]

$$H'(\psi) = -\frac{\cos \frac{\psi}{2}}{2 \sin^2 \frac{\psi}{2}} + \frac{\cos \frac{\psi}{2} (3 + 2 \sin \frac{\psi}{2})}{2 \sin \frac{\psi}{2} (1 + \sin \frac{\psi}{2})}, \quad (4)$$

путём несложных преобразований можно перейти от выражения (4) к выражению (3).

Для практического использования рассматриваемых формул прибегают к численному интегрированию, для этого дифференциал $d\sigma_j$ заменяют элементом площади:

$$d\sigma_j = \Delta B \Delta L \cos B_j,$$

где ΔB и ΔL — размеры блоков по широте и долготе соответственно, а индекс j отнесен к параметрам центральных точек образованных ячеек в заданной области интегрирования.

Тогда (1) будет иметь вид

$$\Delta g = -\frac{\gamma_0}{R} \left(N + \frac{\Delta B \Delta L}{16\pi} \sum_j \frac{N_j - N}{\sin^3 \frac{\psi}{2}} \cos B_j \right),$$

а (2)

$$\Delta g = \gamma_0 \frac{\Delta B \Delta L}{4\pi} \sum_j V(\psi) (\xi_j \cos \alpha + \eta_j \sin \alpha) \cos B_j.$$

Вычисления

Для выполнения вычислений в локальной области необходимо разбить земную поверхность на зоны, схема представлена на рисунке 2, при этом нулевой зоной условно назван сам исследуемый участок.

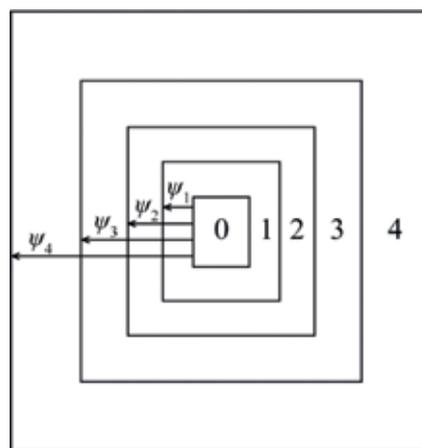


Рисунок 2 – Схема деления поверхности интегрирования на зоны.

В таблице 1 представлена информация о размерах ячеек в исследуемых участках и окаймляющих их зонах, а также о сферическом расстоянии ψ , на которое они удалены от границ области вычислений.

Территории были подобраны таким образом, чтобы были представлены различные по величине значения определяемых величин и отличающиеся рисунки изоаномал.

Таблица 1 – Зоны интегрирования

Расстояние, Блоки	Зоны					
	0	1	2	3	4	5
1 участок						
ψ		0,5°	5°	20°	40°	>40°
$\Delta B \times \Delta L$	1'×1'	1'×1'	5'×5'	15'×20'	1°×1°	5°×5°
2 участок						
ψ		2°	5°	25°	40°	>40°
$\Delta B \times \Delta L$	1,5'×1,5'	1,5'×1,5'	5'×5'	15'×15'	1°×1°	5°×5°
3 участок						
ψ		3°	5°	25°	40°	>40°
$\Delta B \times \Delta L$	2'×2'	2'×2'	5'×5'	15'×15'	1°×1°	5°×5°

Карты-схемы смешанных аномалий силы тяжести исследуемых участков представлены на рисунках 3–5.

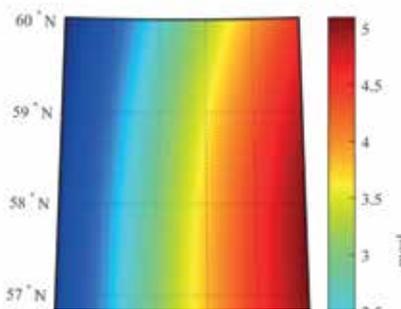


Рисунок 3 – Смешанные аномалии силы тяжести на первом участке

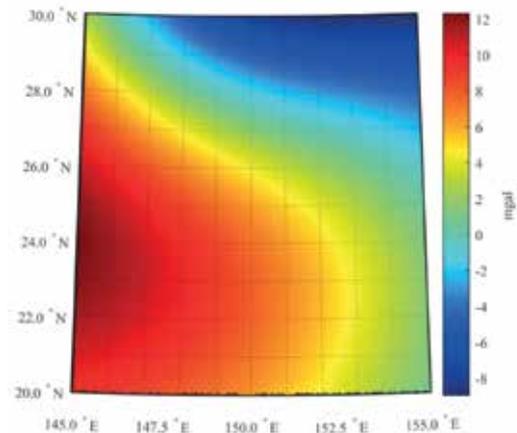


Рисунок 5 – Смешанные аномалии силы тяжести на третьем участке

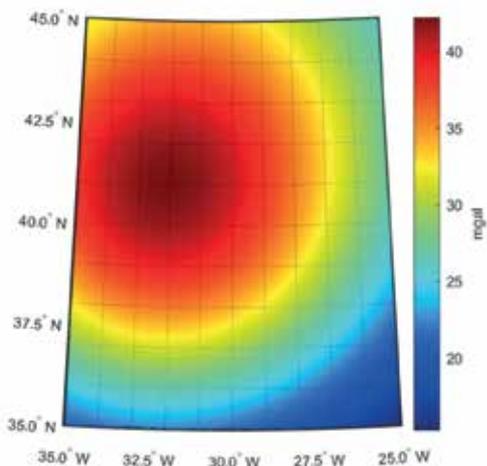


Рисунок 4 – Смешанные аномалии силы тяжести на втором участке

На рисунках 6–7, 8–9, 10–11 приведены карты-схемы абсолютных значений разностей истинных и вычисленных с использованием рассматриваемых формул смешанных аномалий силы тяжести для первого, второго и третьего исследуемых участков соответственно. На первом представлено самое «спокойное» поле: нет большой амплитуды изменений определяемых величин, или сложной формы поля. На втором участке алгоритмы проходят апробацию в условиях больших значений определяемых величин. На третьем участке представлен извилистый рисунок изоаномал.

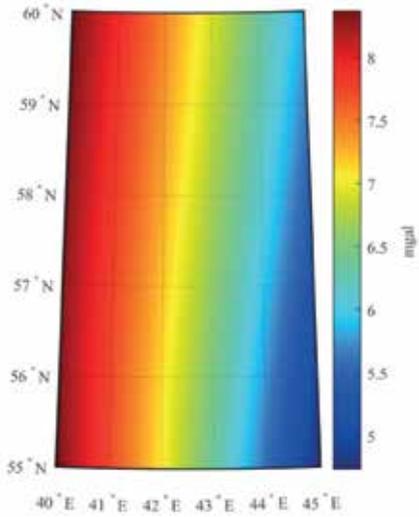


Рисунок 6 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ на первом участке (обратная формула Стокса)

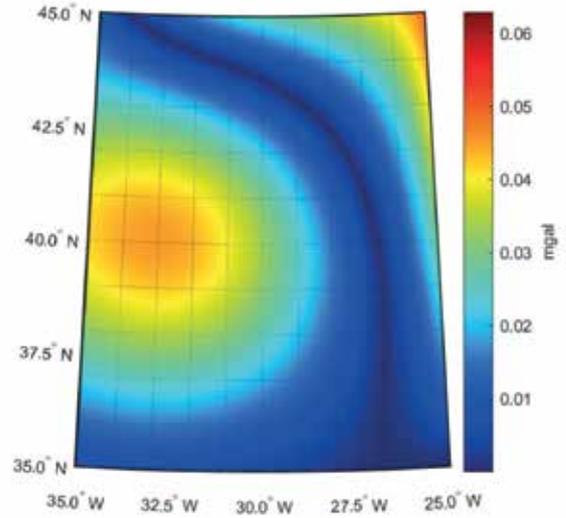


Рисунок 9 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ на третьем участке (обратная формула Венинг-Мейнеса)

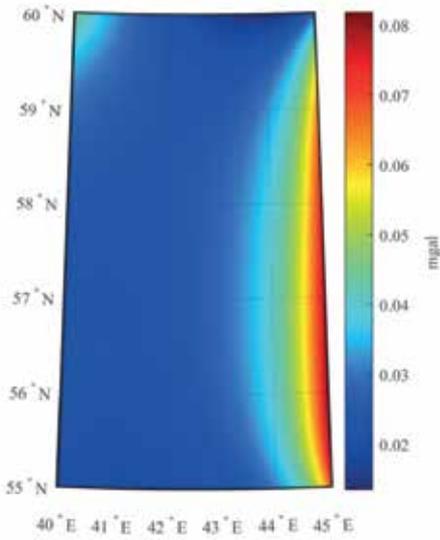


Рисунок 7 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ на первом участке (обратная формула Венинг-Мейнеса)

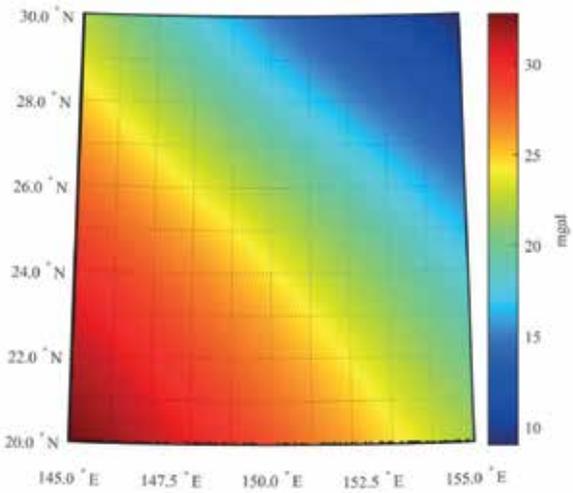


Рисунок 10 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ на третьем участке (обратная формула Стокса)

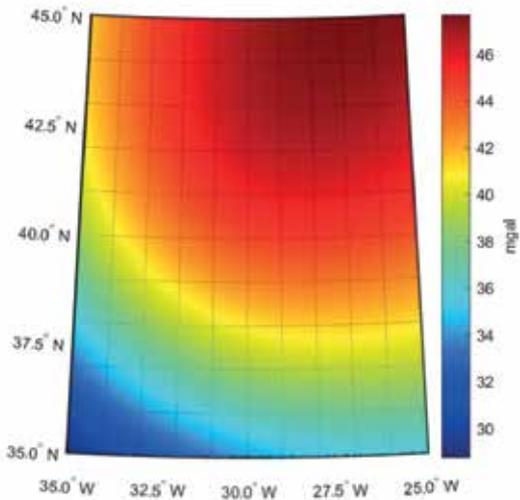


Рисунок 8 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ на втором участке (обратная формула Стокса)

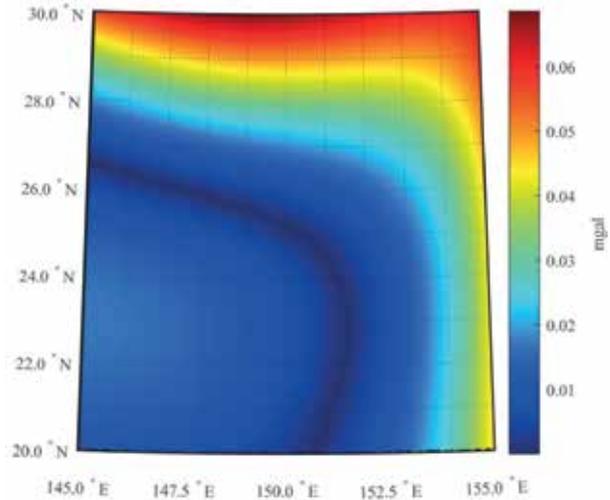


Рисунок 11 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ на третьем участке (обратная формула Венинг-Мейнеса)

Оценка точности полученных значений определяемых величин на рассмотренных территориях представлена в таблице 2

Таблица 2 – Оценка точности результатов вычислений в ограниченных областях

Ошибка	Значение в мГал	
	Обратная формула Стокса	Обратная формула Венинг-Мейнеса
1 участок		
Минимальная	4,735	-0,082
Максимальная	8,369	-0,014
Средняя	6,903	-0,030
Средняя квадратическая	6,958	0,033
2 участок		
Минимальная	28,759	-0,049
Максимальная	47,682	0,063
Средняя	42,046	0,011
Средняя квадратическая	42,258	0,024
3 участок		
Минимальная	9,008	-0,069
Максимальная	32,762	0,017
Средняя	22,324	-0,014
Средняя квадратическая	22,926	0,027

Очевидно, результат реализации обратной формулы Стокса находится в большой зависимости от высот геоида на рассматриваемом участке, это подтверждают и полученные карты-схемы: рисунок абсолютных значений уклонений вычисленных значений от истинных полностью повторяет рисунок высот геоида. Результат вычислений с использованием обратной формулы Венинг-Мейнеса, напротив, остаётся стабильными для всех исследуемых

территорий, вне зависимости от тех причин, которые характеризовали выбор каждого из этих участков.

На рисунках 12–13 приведены карты-схемы абсолютных значений разностей истинных и вычисленных с использованием рассматриваемых формул смешанных аномалий силы тяжести на сетке с шагом 12' по поверхности планеты ($-80^{\circ} \leq B \leq 80^{\circ}$, $-180^{\circ} \leq L \leq 180^{\circ}$).

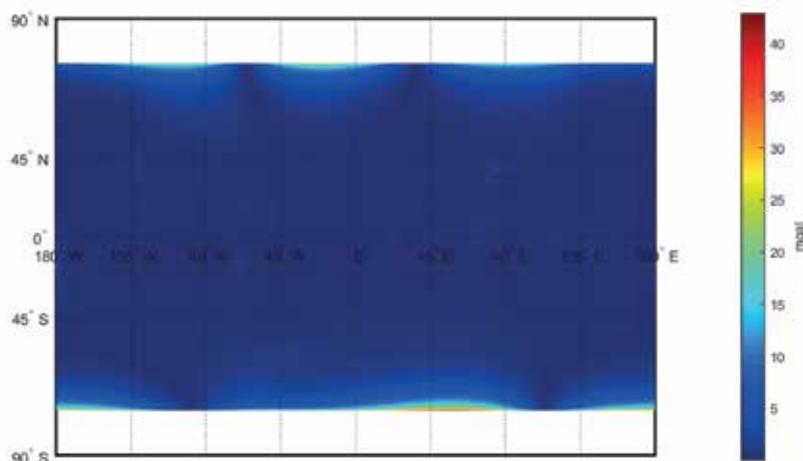


Рисунок 12 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ (обратная формула Стокса)

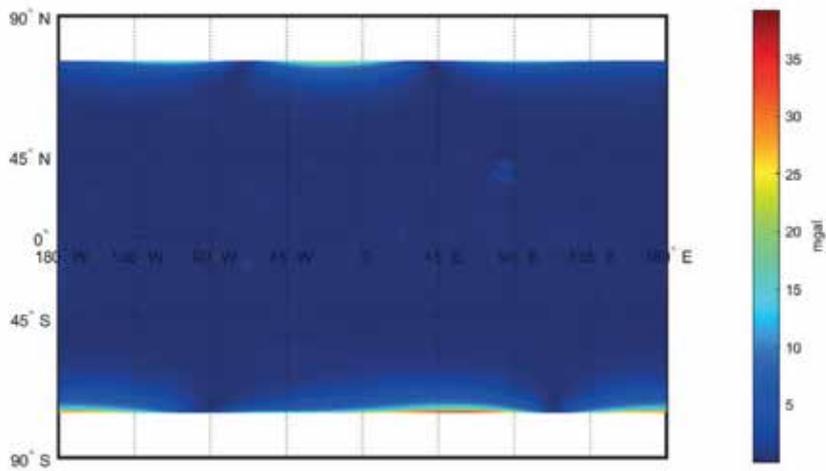


Рисунок 13 – Расхождения $|\Delta g^{\text{ист}} - \Delta g^{\text{выч}}|$ (обратная формула Стокса)

В Таблице 3 приведены результаты выполненной оценки точности.

Таблица 3 – Оценка точности результатов вычислений по поверхности планеты

Ошибка	Значение в мГал	
	Обратная формула Стокса	Обратная формула Венинг-Мейнеса
	1 участок	
Минимальная	-35,232	-34,790
Максимальная	42,939	39,172
Средняя	0,036	-0,005
Средняя квадратическая	2,437	2,116

В отличие от предыдущих экспериментов, здесь обратная формула Стокса оказалось вполне конкурентоспособной по отношению к обратной формуле Венинг-Мейнеса.

Выводы

1. Определение аномалий силы тяжести по высотам геоида на локальном участке приводит к результатам очень низкой точности, при этом соответствующие вычисления по уклонениям отвесной линии являются куда более устойчивой задачей, полученные расхождения с модельными значениями не вышли за пределы сотых долей мГал.

2. Определение аномалий силы тяжести при проведении глобальных вычислений в обоих случаях было выполнено успешно, однако результаты вычислений с использованием обратной формулы Венинг-Мейнеса всё же оказались качественнее определений на основе обратной формулой Стокса.

3. В выполненных экспериментах уклонения отвеса были рассмотрены в роли непосредственно

измеренных величин, однако на практике они определяются дифференциально по тем же высотам геоида, которые задействованы в реализации обратной формулы Стокса, откуда можно предположить, что в таком случае вряд ли стоит ожидать результата, аналогичного полученному здесь. Тем не менее, следует отметить, что не было замечено зависимости полученных ошибок от величины значений высот геоида, чего нельзя сказать о результатах вычислений по обратной формуле Стокса, или сложности характера поля.

P.S. Таблицу значений ускорений силы тяжести приводить не предполагается.

Список литературы

1. «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11) Специализированный справочник. М.: ВТУ ГШ ВС РФ. 2020. 64 с.
2. Бровар Б.В. Формулы вычисления основных характеристик поверхности и гравитационного поля

Земли по тестовым моделям в виде пар точечных масс. Научно-технический сборник по геодезии, аэрокосмическим съёмкам и картографии // Физическая геодезия. М.: ЦНИИГАиК, 2004. 184–210 с.

3. Молоденский М.С., Еремеев В.Ф., Юркина М.И. Труды ЦНИИГАиК. Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли. Вып.

131. М.: Издательство геодезической литературы, 1960. 251 с.

4. Hwang C. Inverse Vening Meinesz formula and deflection-geoid formula: applications to the predictions of gravity and geoid over the South China Sea // Journal of Geodesy. 1998. Vol.72. P.304–312. <https://doi.org/10.1007/s001900050169>

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ ПО МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЁМКЕ НЕЙРОННЫМИ СЕТЯМИ

Д. В. Сарычев, А. А. Юдин,

ООО «АЙТИ-ТЕМАТИК», Воронежский государственный университет, Воронеж, РФ

Для выделения пахотных земель по мультиспектральным космическим снимкам в настоящее время часто используют свёрточные нейронные сети (СНС). В большинстве решений на вход СНС подаются RGB-композиции «естественные цвета», поскольку такие изображения не требуют специальной подготовки. Однако, использование цветосинтезированных и индексных изображений, особенно разновременных, способно обеспечить существенно большую точность распознавания пашни.

Цель исследования состояла в разработке новых методических подходов для повышения эффективности распознавания пашни с помощью СНС. В задачи входило:

I. Подготовка синтезированных изображений на основе мультиспектральной космической съёмки, оптимальных для дешифрирования пахотных земель.

II. Создание обучающих и тестовых наборов данных путём разметки пахотных земель на синтезированных изображениях.

III. Подбор оптимальной архитектуры СНС для семантической сегментации пашни, её обучение и тестирование.

Рассмотрим методику и результаты исследования в соответствии с данными задачами.

I. В целях оптимизации распознавания пашни, учитывая особенности технологии СНС, можно сформулировать следующие требования к входным изображениям на основе мультиспектральной съёмки:

– Изображения должны повышать контрастность, то есть в результате преобразований исход-

ных каналов мультиспектральной съёмки яркость пикселей целевых объектов (участков пахотных земель) по отношению к яркостям фоновых пикселей на производных синтезированных изображениях должна изменяться в обратной зависимости — так, что целевые объекты становятся лучше различимыми визуально.

– В целях минимизации объёмов данных и ускорения работы нейросетевых моделей, синтезированные изображения должны кодироваться в 8-ми битную шкалу и иметь минимальное количество каналов, но при этом сохранять максимальную информативность исходных каналов мультиспектральных снимков для выявления целевых объектов.

– Изображения должны обеспечивать масштабируемость нейросетевых моделей, то есть сравнимость результатов распознавания целевых объектов при работе в разных географических зонах/ландшафтах и на разных временных срезах.

– Изображения, синтезируемые на основе временных рядов снимков с разных съёмочных систем космических аппаратов серий Ресурс, Канопус, Метеор, Sentinel-2, Landsat и др., должны быть сравнимы.

– Способ формирования входных изображений из исходных каналов мультиспектральной съёмки должен иметь возможность полной автоматизации.

Отличительной особенностью пахотных земель являются ежегодные резкие изменения индексов зеленой биомассы в ходе вегетационных сезонов, главным образом из-за распашки, культивации, севооборота и уборки урожая. Поэтому для распознавания

мы предлагаем использовать композиты на основе коэффициентов вариаций вегетационного индекса NDVI (или EVI, SAVI, GRVI, CVI и др.), которые можно подготовить по следующему алгоритму:

1. Сформировать временные ряды растров NDVI за интересующий интервал (вегетационный сезон или серию вегетационных сезонов).

1. Разделить интересующий интервал на три периода и по соответствующим сериям NDVI и для каждого периода вычислить по одному растру коэффициентов вариации NDVI.

1. Полученные растры коэффициентов вариаций NDVI объединить для интересующего периода в «RGB»-композит.

В качестве примера на рисунке показаны разные способы агрегации временных рядов NDVI по серии снимков с аппаратов Sentinel-2 за вегетационные сезоны 2021–2023 гг. на территорию южнее г. Воронежа.

Визуальное сравнение позволяет установить, что трёхлетние цветосинтезированные композиты на основе внутрисезонных коэффициентов вариаций вегетационного индекса (рис. 1D) отличаются повышенной контрастностью целевых объектов: усиливают яркость культивируемых с.-х. полей, при этом снижают яркость фона — объектов, стабильных во времени. Контрастность также возрастает и у других объектов с выраженной внутрисезонной динамикой, например, у мелководных водоёмов, прибрежных зон, участков активного строительства и др., но алгоритмы СНС, как правило, способны отличить их от полей по форме и интервалам яркостей, сводя к минимуму ложноположительные срабатывания. Кроме того, композиты коэффициентов вариаций NDVI устойчиво воспроизводятся в разных географических зонах, а также на разных временных срезах обеспечивая хорошую масштабируемость СНС-моделей. К минусам данных композитов можно отнести чувствительность к облачности, поэтому при создании таких изображений необходима предварительная процедура вырезания облаков и дымки из исходных снимков.

II. В целях апробирования предлагаемых композитов для распознавания пашни СНС-моделями были подготовлены обучающий, проверочный и тестовый наборы данных. Для этого в границах РФ были выбраны участки с целью охватить основные виды пахотных земель по типам почв, форме, размерам и плотности полей в контексте разных природных зон и ландшафтов. На текущий момент подготовлены данные на 18 таких участках средней площадью 230 тыс. га., расположенных в 14 субъектах страны. Для каждого участка на основе мультиспектральной съёмки Sentinel-2 A/B L2A с помощью сервиса Mapdev ERS Loader (<https://it-thematic.ru/>) были созданы многовременные (трёхлетние) (2021–2023 гг.) цветосинтезированные композиты коэффициентов вариаций NDVI с пространственным разрешением 10 м/пиксель. Далее для каждого композита была вручную подготовлена разметка пахотных земель, то есть создан полигональный векторный слой с контурами культивируемых в обозначенные три года сельскохозяйственных полей. Всего было размечено 29 160 сельскохозяйственных полей общей площадью 16 185 км². Подготовленные композиты с соответствующими слоями разметки были конвертированы в формат «Классифицированные тайлы» размером 512x512 пикселей с 10 % перекрытием. На местности, с учётом пространственного разрешения композитов, такие тайлы приблизительно соответствует участкам 5x5 км с зонами их взаимоналожения шириной 1 км, что как правило, достаточно для запечатления даже крупных с.-х. полей в виде целых объектов внутри тайлов. Созданный таким образом набор данных был случайным образом разделён в два поднабора — собственно обучающий (тренировочный) и проверочный (валидационный), в соотношении 80 и 20 % тайлов от исходного набора, соответственно. Аналогичным образом, то есть путём создания композитов и их разметки с последующей конвертацией в тайлы, был подготовлен тестовый (удержанный) набор данных. Он включил 5 участков с 579 с.-х. полями и общей площадью пашни — 384 км². Тестовый набор не использовался в обучении и валидации СНС-моделей, а только для независимой оценки их точности. Подготовленная разметка композитов, с учётом наличия нарезки пахотных земель на поля в зависимости от их цвета, определяемого с.-х. культурой, стадиями вегетации и севооборота, позволяет обучать СНС-модели как для задач семантической, так и задач инстанс-сегментации. Исходя из контекста нашего исследования — задачи выделения пашни без её фрагментирования на отдельные поля — мы ограничились моделями семантической сегментации.

III. Обучение и тестирование СНС-моделей выполняли в среде Python. Для определения модели, которая наилучшим образом подойдёт к подготовленным данным, использовали библиотеку автоматизированного глубокого обучения (AutoDL), с помощью которой можно подобрать оптимальную архитектуру нейросети и настройки её гиперпараметров в зависимости от задачи и особенностей входных данных. Выбор производился среди 20 моделей свёрточных нейронных сетей популярных для сегментации изображений, включая фрейм-

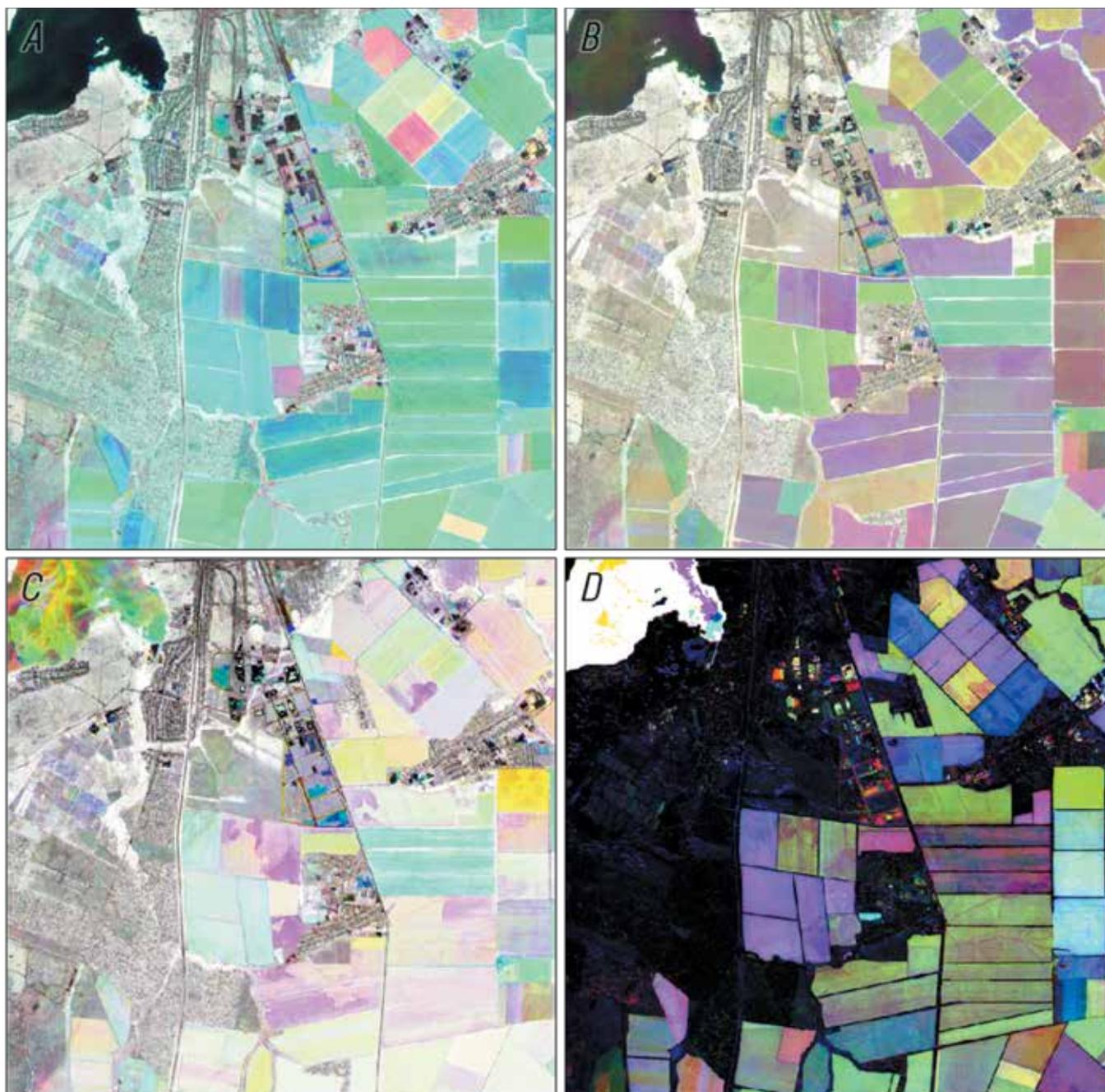


Рисунок 1 – Примеры трёхлетних цветосинтезированных композитов NDVI по серии мультиспектральных снимков: А – композит с использованием случайных снимков; В – композит средних значений NDVI; С – композит максимальных значений NDVI; D – композит коэффициентов вариаций NDVI (гистограммы всех изображений для обеспечения сравнимости настроены по методу «срез с накоплением 2–98%»).

ворки DeepLab, UNet, PSPNet, HRNet, FCN, OCRNet и др. Данные СНС были обучены на одном и том же поднаборе данных, в качестве которого использовали по 5 % случайно отобранных тайлов обучающего и проверочного наборов данных. При обучении каждой модели производился мониторинг метрики ошибки (Loss) во избежание переобучения моделей: обучение останавливали, если ошибка по про-

верочной подвыборке начинала существенно расти при стабильной или снижающейся ошибке по тренировочной выборке. Также обучение завершалось, если показатели модели не улучшались более пяти эпох подряд, не дожидаясь переобучения. Сравнение эффективности обучения СНС велось на основе их способности правильно классифицировать пиксели тестовых тайлов по метрике средневзвешенной

точности (AP). Для двух моделей, показавших наилучшие результаты, тест повторяли с целью подбора их оптимальных гиперпараметров – модели свёртки, темпа обучения и др. Таким образом, проведённый посредством подхода AutoDL двухэтапный тест позволил выявить оптимальную модель СНС и её гиперпараметры для рассматриваемой конкретной задачи. Этой модели далее «скармливали» весь объём обучающего набора данных, переобучение предотвращали вышеописанным путём. Обученную таким образом модель проверяли по тестовому набору данных, при этом использовали стандартные метрики: точность (ACC), правильность (P), полноту (R), f-меру (F1) и коэффициент Жаккара (IoU).

По версии AutoDL, наилучшей архитектурой СНС для распознавания пахотных земель из 20 конкурировавших моделей по всем четырём видам композитов стала PSPNet, наиболее удачной моделью свёртки при этом являлась ResNet-101. Обучение оптимальной модели PSPNet ResNet-101 на полном наборе данных, проведённое по вышеописанной методике, заняло 250 эпох в результате чего модель достигла следующих показателей качества распознавания на тестовой выборке: ACC = 0,965, P = 0,932, R = 0,927, F1 = 0,949, IoU = 0,955. Таким образом, мы получили модель СНС с точностью распознавания пахотных земель более 90%. Стоит отметить, что сегодня активно применяются решения уровня «продакшн» для распознавания с.-х. полей с точностью 64% (<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=eb5f896bf88b46af8252e17fa404a73d>). В таком контексте

полученные нами результаты выглядят впечатляюще.

Большинство исследований, связанных с распознаванием пашни по мультиспектральной съёмке, фокусируются на улучшениях архитектур применяемых моделей машинного обучения. В нашей работе исходя из особенностей задачи мы сделали акцент на предварительной подготовке оптимальных для распознавания изображений, а уже следом — на вопросах подбора наилучшей архитектуры СНС-модели и её обучении, что позволило добиться высокой точности распознавания целевых угодий.

Таким образом, для оптимизации распознавания пахотных земель по данным ДЗЗ можно сделать следующие выводы по результатам исследования:

1. Разработаны специальные многовременные композиты коэффициентов вариаций вегетационных индексов, позволяющие максимально эффективно «подсветить» участки пахотных земель и при этом минимизирующие вес изображений. Также разработан специальный сервис Mapdev ERS Loader для формирования таких изображений.

2. Создан набор данных для обучения и тестирования нейросетевых алгоритмов семантической сегментации пашни по многовременным композитам коэффициентов вариаций вегетационных индексов.

3. Выявлена оптимальная архитектура модели глубокого обучения на основе свёрточной нейронной сети PSPNet, проведено её обучение и тестирование — точность полученной модели распознавания пахотных земель превысила 90 %.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И НОВЫЕ РЕШЕНИЯ В ТЕМАТИЧЕСКОЙ КАРТОГРАФИИ

А. И. Игонин¹, Д. А. Чебышева², С. В. Кривов²

1 — Филиал ППК «Роскадастр» «Омская картографическая фабрика», г. Омск, РФ,

2 — ППК «Роскадастр», Москва, РФ

Тематические карты показывают разнообразные природные и общественные явления их сочетания и комплексы. Эти карты могут изображать любые явления географической оболочки, но они всегда локализируются на карте относительно земной поверхности. Среди них выделяют карты природных и карты общественных явлений. Тематическое картографирование должно обеспечивать как эффективное комплексное изучение природных и общественных явлений для всей территории страны, и отдельных её регионов, так и конкретные запросы

рядового потребителя.

Современная российская тематическая картография практически не имеет поддержки государства, не говоря уже об отсутствии государственного заказа на комплексные атласы и серии карт. Оставшиеся «ареалы» существования мелкомасштабного картографирования не оставляют попыток удержаться за счёт учебной картографической продукции, «точечных» корпоративных заказов и розничного рынка картографической продукции. Атласное картографирование, как стройная отрасль традиционной

картографии, остаётся в прошлом. Национальный атлас России создан в соответствии с поручением Правительства Российской Федерации от 26 мая 2000 г. № АГ-П9 14991 в 2004–2009 годах — таким образом с момента издания первого тома прошло 20 лет, а с момента старта работ и сбора информации значительно больше. За это время произошли существенные административно-территориальные изменения и социально-экономические трансформации. Необходимость создания комплексного картографического произведения как в печатном, так и в электронном виде особенно остро встаёт с учётом потребности в фиксации в сознании официальных кругов и всего населения пространственного положения страны в мире.

Важнейшим импульсом развития печатной тематической картографической продукции является цифровизация продаж. Комплексное использование цифровых технологий в маркетинге и реализации

продукции приводит к значимым трансформациям в тематическом картографировании, а именно переформатирует ассортимент и установки издателей. Рынок интернет-торговли очень гибко реагирует на новые продукты. В связи с этим при создании тематических карт вместе с формализацией процесса и использованием новых цифровых ресурсов следует учитывать эстетическую составляющую результата: композицию, колористику, типографику. Существенный элемент развития — это формирование прямого контакта с потребителем и работа с отзывами, которые в том числе позволяют реагировать на запросы потребителей тематической продукции. Цифровизация продаж расширяет присутствие издателя на всю территорию страны и позволяет комплексно анализировать потребности и отклик у клиента на ту или иную картографическую продукцию.

Одно из развивающихся направлений тематической картографии отраслевые и специальные карты

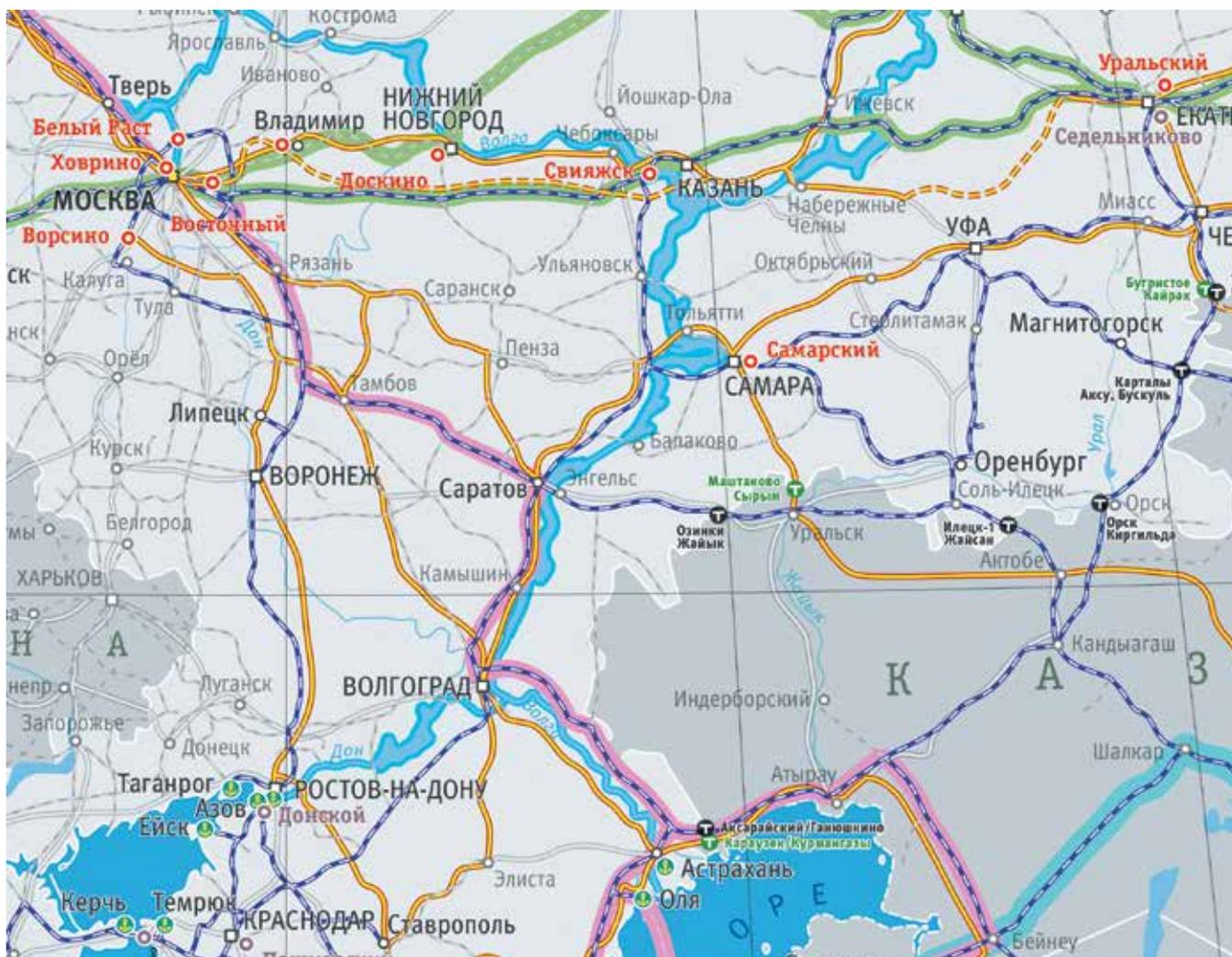


Рисунок 1 – Фрагмент карты «Международные транспортные коридоры»

с элементами информационного дизайна. Разработка таких решений даёт значимый импульс в развитии новаций в мелкомасштабном картографировании территории.

В решении логистических задач, а также при планировании организации транспортно-логистической инфраструктуры возникает потребность в ряде карт, имеющих большой охват территории. Исходя из задачи показать на одной карте начальные и конечные точки грузоперевозок, межгосударственные транспортные связи, такие карты охватывают, как правило, большую часть континента. Так, карты, отображающие международные транспортные коридоры на территории Российской Федерации, также покрывают ряд сопредельных государств, которые могут предоставлять свою территорию для организации альтернативных маршрутов или участвовать в совместных проектах с Россией, государств, являющихся основными гру-

зотоправителями, логистическими хабами и грузополучателями.

Карты транспортной тематики могут иметь как общее содержание, отображающее транспортную инфраструктуру в той или иной степени детализации, показывая, как отдельные объекты и их характеристики, так и административно-территориальное подразделение транспортных сетей, так и составляться непосредственно под задачи отдельных заказчиков и использоваться для показа планируемых и текущих мероприятий в рамках конкретных проектов.

При составлении таких карт особое внимание уделяется наглядности тематической информации. Учитывая большой территориальный охват и соответственно ограниченное пространство для детальной визуализации, когда большое количество объектов необходимо разместить в пределах одного картографического произведения особую роль



Рисунок 2 – Фрагмент карты «Проекты Евразийской экономической комиссии»

играет вопрос генерализации тематической нагрузки карты. Так, при составлении изучается важность для каждого конкретного случая отдельных элементов, таких как дороги, порты, транспортно-логистические центры и т. п., создаются условные знаки в соответствии с назначением каждой карты и требованием к её графическому оформлению и восприятию. Немаловажным является и вопрос выбора картографической проекции, так как при оценке логистических маршрутов требуется избежать искажения линейных размеров, а именно, визуально оцениваемых пользователем карты расстояний, возможности сопоставления протяжённости маршрутов на разных широтах.

Создание и постоянное обновление научно-справочных тематических карт природы, населения и хозяйства на территорию всей страны, федераль-

ных округов и отдельных регионов — это основа картографического обеспечения страны, ключевой информационный ресурс анализа и обеспечения принятия решений как на государственном, так и на корпоративном уровне. Такие картографические работы, как и разработка и создание комплексных атласов должны быть систематизированы и организованы государством, в том числе для формирования целостной объективной характеристики страны и её регионов на внутригосударственном и международном уровнях. Разработка единой системы автоматизированных банков данных позволит решить задачи временной сопоставимости и обновления тематических карт и атласов, а по ряду направлений — и осуществлению мониторинга развития природных и социально-экономических явлений.

ОПЫТ ОБРАБОТКИ АРХИВНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С ПУНКТОВ ГГС АБСОЛЮТНЫМ СПОСОБОМ (PPP)

И. И. Меженова, Е. Бекчанова, Ф. Бахарев
ППК «Роскадастр», Москва, РФ

Введение

В данном исследовании рассматриваются основные этапы подготовки большого массива спутниковых измерений прошлых лет, начиная с 1999 года, для дальнейшего переопределения координат пунктов ГГС на основе данных глобальных навигационных спутниковых систем. Также отмечаются основные ошибки и проблемы материалов спутниковых измерений на пунктах Государственной геодезической сети (ГГС), которые были обнаружены при разборе и анализе имеющегося архива данных.

Работа, представленная в данном докладе, выполняется в рамках раздела «Выполнение комплекса научно-технологических работ по уравниванию государственной геодезической сети с опорой на спутниковую геодезическую сеть» НИР «Геокарта–2030». Целью выполнения данной работы является анализ, систематизация, оценка состояния и полноты измерений перед последующей обработкой и уравниванием данных спутниковых измерений с пунктов ВГС и СГС–1 за период 1999–2022 гг.

Массив данных

Перед началом проведения основных видов работ (обработка и уравнивание) проводится подготовка

массива данных с материалами спутниковых измерений и сопутствующей информацией, т.е. формирование единого внутреннего архива данных отчётных материалов по выполненным полевым работам прошлых лет.

Стоит определить сначала, что конкретно входит в подготовку массива и что представляет собой этот самый «массив». Под массивом данных в нашем случае подразумевается, во-первых, измерения спутниковых наблюдений на электронных носителях в виде RINEX-файлов и в формате аппаратуры, которой выполнялись измерения; во-вторых, сопутствующие материалы, такие как технические отчёты, журналы спутниковых наблюдений и пояснительные записки на электронных носителях, а также в бумажном виде. Нередко происходит так, что часть материалов полевых измерений находится на дисках, а отчётные материалы к ним в печатном виде, которые так же необходимо сначала разобрать, отсканировать и разложить по папкам. Так же к массиву данных относятся ведомости предварительной обработки (при наличии) и фотофиксация высоты антенны (при наличии, касается более новых данных).

В разбор и подготовку массива к обработке входит:

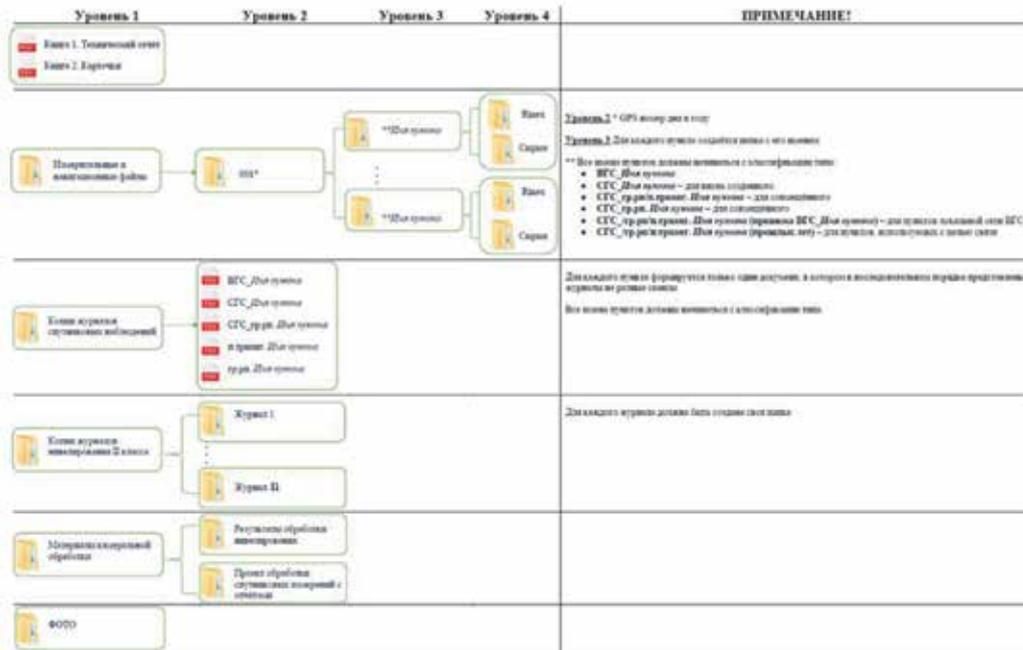


Рисунок 1 – Структура формирования отчётных материалов по пунктам

- систематизация данных по Контрактам и в чётко выстроенную структуру (структура на Рисунок 1) для удобства дальнейшего использования данных для обработки;
- идентификация (если есть такая возможность) пунктов по названиям, ID, регионам;
- сопоставление разрозненных данных полевых измерений и отчётной документации (технические отчёты, журналы спутниковых наблюдений);
- отбор полноценных файлов измерений с пунктов ИГС и СГС–1, оценка их состояния и полноты для дальнейшей обработки в дифференциальном режиме.

Применяемые программы

Поскольку массив имеющихся данных довольно

большой, это порядка 27 лет измерений, перебрать вручную все эти материалы является довольно трудоёмкой и затратной по времени задачей, поэтому был написан скрипт для внутреннего пользования, для упрощения поиска и разбора RAW и RINEX-файлов — RinexAutoProcessFiles(RAPF). Внешний вид программы и output-файл представлены на Рисунках 2 и 3.

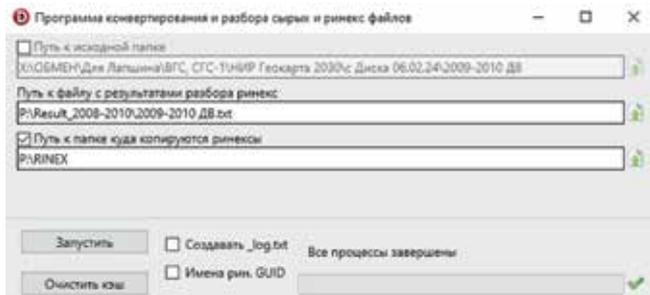


Рисунок 2 – Внешний вид программы RAPF

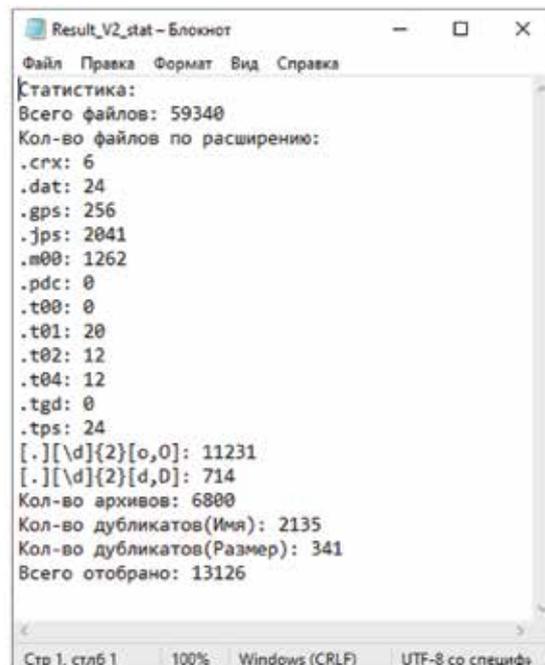


Рисунок 3 – Внешний вид программы RAPF

RinexAutoProcessFiles(RAPF) — это программа для автоматического поиска файлов ГНСС измерений. Приложение, работающее под операционными системами Windows и Linux. Предназначена для автоматического поиска файлов измерений по расширению с последующим конвертированием в формат Rinex 2.11 и формированием сводной таблицы данных из него. Программа работает в несколько этапов:

1. Сканирование директории с отбором ГНСС файлов по расширению и внесению их в результирующий список. При нахождении архивов производится распаковка, после чего выполняется дальнейшее сканирование.

2. Чтение результирующего списка ГНСС файлов с последующим преобразованием в формат Rinex 2.11.

3. Формирование общей таблицы с указанием полного пути к исходному и преобразованному файлам после считывания данных в RINEX-файлах (год, день в году, имя файла без расширения, маркер имя, маркер номер, номер приёмника, тип приём-

ника, тип антенны, значение высоты антенны, дискретность записи, время начала, типы сигналов).

Дальнейшая обработка найденных файлов спутниковых измерений с пунктов ВГС и СГС–1 выполняется в относительном/дифференциальном и в абсолютном режиме (PPP режим), в зависимости от полноты и качества сопутствующих материалов.

В результате предварительной PPP обработки ГНСС наблюдений в первую очередь выявляются те, которые выполнялись на пунктах ГГС, если в процессе подготовки их идентифицировать не удалось.

Обработка в режиме PPP выполнялась в программе gLAB (Рисунок 4) с загрузкой сопутствующих исходных данных из открытых источников (файлы антенн, файлы поправок часов clk, файлы орбит sp3, файлы ионосферных задержек uuy, файлы межканальных задержек dcw. Применение исключительно относительного метода обработки препятствует отсутствию полного массива измерений на пунктах ФАГС за период 1999–2014 года, нарушается цепочка и невозможно привязать пункты ВГС

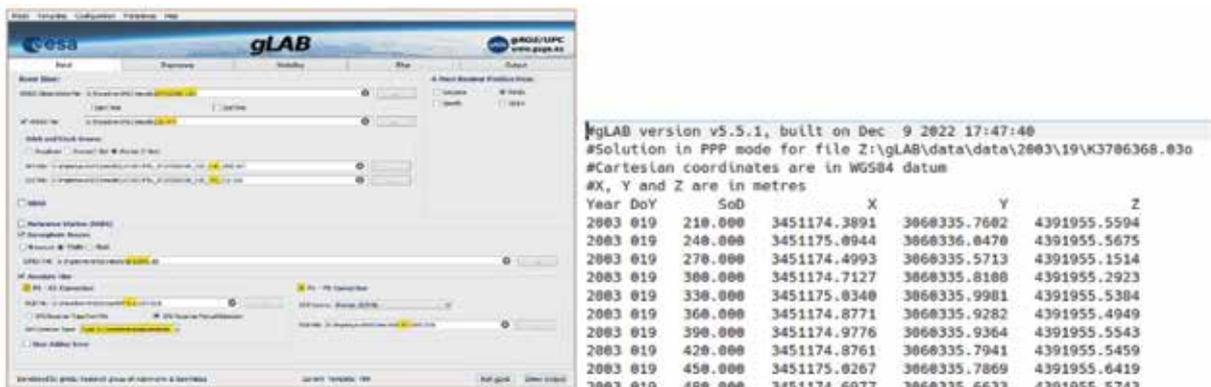


Рисунок 4 – Графический интерфейс программы gLAB и фрагмент выводного txt-файла с результатами обработки

вместе с фрагментами СГС–1 тех лет.

Обработка спутниковых измерений в относительном/дифференциальном режиме на пунктах СГС–1 выполняется по фрагментарно в несколько этапов в прикладном софте Leica Infinity (Рисунок 5) с контролем выполненной обработки в «две», а иногда и в «три» руки с опорой на пункты ВГС, обработка которых в свою очередь выполняется в софте научного класса Bernese, GeoMaster и GAMIT, так же с контролем выполненной обработки в «две» руки.

Перед началом камеральной обработки спутниковых наблюдений проводится проверка качества полевых измерений и исходных измерительных фай-

лов на соответствие формату RINEX стандартам IGS и полноту представленной информации, необходимой для корректной обработки (идентификатор пункта, тип антенны, высота антенны над маркой и т.д.)

Не зависимо от версии RINEX-файлов, важно отметить, что заголовок RINEX-файла часто содержит неверную или неполную информацию, не соответствующую правилам, прописанным в IGS. Таким образом, тщательное редактирование очень важно для последующей работы и для избежания путаницы и ошибок в результатах вычислений. Обеспечение корректности информации в заголовках RINEX-файла — это не только хорошая практика, но и до-

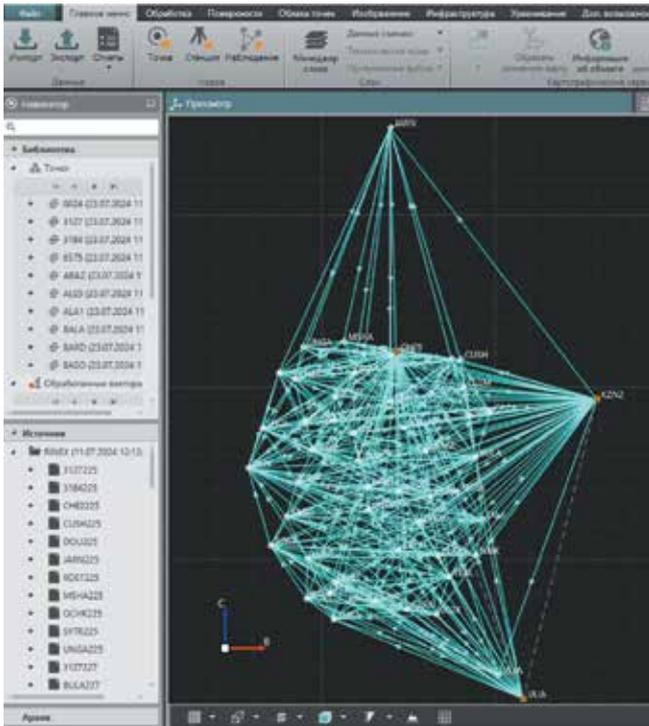


Рисунок 5 – Графический интерфейс программы Leica Infinity

вольно ценный способ анализа данных спутниковых наблюдений.

Открытые сервисы для обработки PPP

За последнее десятилетие абсолютный метод измерения (PPP режим) получил широкое распространение в виду своей простоты, так как в отличие от относительного метода, здесь не требуется вторая, то есть, опорная станция. И если в первое время этот метод считался мало точным, то сейчас его используют повсеместно, даже при высоких требованиях к точности на усмотрение пользователя. Поэтому в рамках данной работы были опробованы открытые онлайн-сервисы и один программный пакет дополнительно, как контроль и проверка данного метода.

Среди онлайн-сервисов были рассмотрены IBGE-PPP¹ от Бразильского института географии и статистики ((порт.) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) и CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning).

CSRS-PPP — это онлайн-приложение для последующей обработки данных ГНСС, использует точные спутниковые поправки на орбиту, часы и смещение, полученные из глобальной сети приёмников, для точного определения местоположения пользователя в любой точке земного шара, независимо от близости к опорным станциям.

¹ <https://www.ibge.gov.br/>

Принимает данные наблюдений в формате RINEX в формате, независимом от приёмника, с одно- или двухчастотных приёмников, работающих в статическом или кинематическом режиме, через Интернет.

Онлайн-сервис IBGE-PPP больше направлен на использование местных жителей и получения координат в геоцентрической системе отсчёта для северной и Южной Америк (SIRGAS2000). Создан на основе программ CSRS-PPP. Пользователю необходимо только предоставить файл наблюдений в формате RINEX или NATANAKA, указать, проводилась ли съёмка в статическом или кинематическом режиме, модель и высоту используемой антенны, а также действующий адрес электронной почты. По окончании обработки будет доступна ссылка для получения файлов с результатами. Неудобством в использовании является вывод всей информации на португальском, в том числе в pdf-файле, что несколько затрудняет прочтение, однако основные термины относительно координат и оценки точности не сложно обнаружить.

Программный пакет PRIDE-PPPAR создан в Исследовательском центре GNSS Уханьского университета, в результате усилий доктора Маоронга, позже разработан и усовершенствован командой доктора Цзянхуэя Гена. Это пакет программного обеспечения с открытым исходным кодом, доступный для скачивания на github. Открытость программного кода аргументируется желанием помочь создателям в начале их карьеры, а также с целью продвинуть геодезические и геофизические приложения GNSS PPP-AR, таких как исследования движения земной коры и зондирования тропосферы. Есть и консольная и графическая версии для Linux, Windows и Mac платформ.

Применение описанных сервисов имело лишь ознакомительный характер и не даёт возможности в рамках данного исследования провести сравнение на большом наборе данных. Однако, по результатам исследования среди открытых сервисов по обработке методом PPP лидер PRIDE-PPP, а CSRS-PPP на третьем месте, программа gLAB на седьмом месте.

Встречающиеся ошибки в цикле работы

В процессе первичного анализа данных выявлялись следующие нарушения в исходных данных спутниковых наблюдений и сопутствующих материалах:

1. отсутствие «сырых/RAW» измерений,
2. неверная конвертация из RAW в RINEX-файл,
3. неверно введённая высота антенны в RINEX-файл, либо неверно измеренная высота. Отсутствие

The image displays two side-by-side web forms for geodetic data processing. The left form is for CSRS-PPP, featuring a required email field, a 'Processing mode' section with radio buttons for 'Static' and 'Kinematic', and a 'Vertical datum' dropdown set to 'CGVD2013'. It also includes a checkbox for 'Contribute to passive control maintenance?' and a 'Submit to PPP' button. The right form is for IBGE-PPP, titled 'Seja um colaborador do Sistema Geodésico Brasileiro!'. It includes a 'Código' field and a 'Seleção o Modo de Processamento' section with radio buttons for 'Estático' and 'Cinemático'. Below this is a 'Seleção um arquivo RINEX' section with a file upload button and a 'Processar' button.

Рисунок 6 – Онлайн-страницы CSRS-PPP (слева) и IBGE-PPP (справа)

фотофиксации, достоверного подтверждения правильности измерения высоты.

4. Неверно указанный тип ГНСС антенны и приёмника в имеющихся RINEX-файлах (типа UNKNOWN),

5. неверно указанное имя (ID) пункта в RINEX-файле,

6. неверная структура RINEX файла,

7. неверный год измерения в RINEX-файле, нулевые и неправильные навигационные координаты,

8. отсутствие журналов полевых наблюдений.

Часть найденных ошибок исправлялось инженерами вручную, а для части ошибок были написаны скрипты для автоматического исправления.

Выводы

1. Первые проанализированные данные спутниковых наблюдений с 1999 года показали, что приёмник может выдавать «не те координаты», наблюдатель может неправильно выбрать место для наблюдений, может нажать «не ту кнопку» (неверно задать режим работы), не разобраться с конвертером — неправильно перевести данные измерений из «сырого» в формат RINEX. Таких ошибок «наблюдателя» встретилось довольно много в ходе разбора материалов спутниковых наблюдений прошлых лет, неучет которых мог иметь серьёзные последствия.

2. При использовании спутниковых методов определения координат на пунктах ГГС до завершения полевых работ необходимо выполнение

контрольных вычислений с целью выявления и исключения грубых ошибок, а также оценка качества и подготовка всей измерительной информации до начала окончательной обработки

3. Результат проведения глобальной работы по анализу и систематизации материалов спутниковых наблюдений прошлых лет будет использоваться для дальнейшего составления и заполнения базы данных каталога пунктов ГГС по международной системе IGS с сопутствующими каждому пункту метаданными, такими как: индекс, название пункта, тип знака, тип центра, номер марки, класс, состояние наружного знака, состояние центра, год обследования, субъект, для возможности использования в автоматическом режиме накопленных за все года наблюдений.

4. Автоматический анализ и переобработка больших массивов измерений стал возможен только сейчас, что было более затруднительно 20 лет назад.

5. Программы по обработке продолжают совершенствоваться, выпускаются новые уточнённые эфемериды и сопутствующие спутниковые данные, поэтому тема данного исследования не теряет актуальности с годами. И чтобы обеспечить надёжную обработку накапливаемому набору данных, следует формировать программы для пользователей в консольном и в графическом исполнении, так как для обработки большого набора данных за раз требуется консольная поддержка, а для единичной обработки и для знакомства с программой удобен именно графический вид.

СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ. ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РЕШЕНИЯ

Г.Г. Побединский,

Российское общество геодезии, картографии и землеустройства, Москва, РФ

Аннотация. Приведена информация об истории развития системы обеспечения пространственными данными (ПД) в экономически и информационно развитых странах, история создания отечественной системы обеспечения ПД. По результатам рассмотрения современного состояния отечественной системы обеспечения ПД рассмотрены роль государственных органов управления системой, основные проблемы, сдерживающие её развитие.

Учитывая мировые тенденции в области управления геопространственной информацией, изложенные в Докладах Генерального секретаря ООН по вопросам управления глобальной геопространственной информацией [27, 2], докладе руководителя, созданной по инициативе Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (ISPRS) и отдела статистики Секретариата экспертной комиссии ООН по управлению глобальными геопространственными данными (UNGGIM), Рабочей группы ISPRS IV/2 — «Общее состояние картографирования и обновления баз геоданных» [36] были сформулированы два направления в области управления геопространственной информацией:

- сбор и обновление геопространственных данных, выполняемое в основном национальными агентствами по геопространственной информации;
- использование геопространственных данных государственным и частным сектором, в основном с использованием рыночных механизмов.

Взаимодействие этих двух направлений связано в основном с решением вопросов доступности и совместимости (интероперабельности) государственных геопространственных данных, условий лицензионных соглашений, размеров платы за использование государственных геопространственных данных и ограничений, связанных с вопросами безопасности [14].

По мере перехода отрасли геодезии и картографии на цифровые технологии создания и обновления геопространственных данных одним из ключевых понятий системы обеспечения геопространственными данными стал термин «инфраструктура пространственных данных».

Историческим фактом считается, что лидирующее положение в развитии инфраструктуры пространственных данных в 90-е годы занимали США, где распоряжением президента Б. Клинтона от 11 апреля 1994 г. [8] была утверждена Национальная программа по созданию инфраструктуры про-

странственных данных (NSDI). Под национальной инфраструктурой пространственных данных США в соответствии с принятым распоряжением, циркуляром А-16 [33] и Законом о геопространственных данных [35] подразумевалась совокупность технологий, политики, стандартов и людских ресурсов, направленных на сбор, накопление, хранение и доведение данных до потребителей [34]. Несколько позже инфраструктура пространственных данных начала формироваться в Европейском союзе. Необходимость геоинформационного обеспечения совместной экономической, экологической и др. деятельности в едином информационном поле определило формирование межнациональной инфраструктуры пространственных данных INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in the European Community, INSPIRE) [31, 32].

Принято считать, что работы по формированию инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации (ИПД РФ) начались с утверждения Правительством Российской Федерации в 2006 году «Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации» [7, 29]. Но утверждению Концепции предшествовали многочисленные обсуждения направлений развития ИПД РФ, а также различных вариантов проекта Концепции. Так на 8-й Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы ввода и обновления пространственных данных», проведённой в Москве 4–6 марта 2003 г. Федеральной службой геодезии и картографии России и ГИС-Ассоциацией, были представлены следующие доклады:

- «О разработке концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных в Российской Федерации» [1];
 - «Региональные аспекты реализации единой инфраструктуры пространственных данных» [12].
- Доклад «Концепция создания инфраструктуры пространственных данных в Российской Федерации» был представлен на Международном научно-

промышленном форуме «Великие реки'2003», проходившем в Нижнем Новгороде, 20–23 мая 2003 г. [22], а в 2004 году статья «Инфраструктура пространственных данных в Российской Федерации» была опубликована во втором номере журнала «Геодезия и картография» [21].

Началом работ по созданию отечественной системы обеспечения геопространственными данными следует считать разработку ГИС ОГВ [4, 5]. В середине 1990-х годов, практически одновременно с развёртыванием работ по созданию ИПД в США, в Российской Федерации были начаты работы по созданию геоинформационной системы для органов государственной власти — ГИС ОГВ и государственной распределённой базы геопространственных данных, на основании постановления Правительства Российской Федерации «Об организации работ по созданию геоинформационной системы органов государственной власти» [19]. Государственным заказчиком и головным исполнителем этих работ в Российской Федерации была определена Федеральная служба геодезии и картографии России. Во исполнение указанного постановления в 1995 году организациями Роскартографии, ФАПСИ, Минэкономики России, Гостехкомиссии России, Госкомстата России, Минприроды России, Госкомимущества России, Миннауки России, Минсвязи России, Роскоминформа, Росгидромета, Госкомзема России, РАН и других был разработан системный проект геоинформационной системы для органов государственной власти, который был рассмотрен и принят Межведомственной комиссией по геоинформационным системам. В ходе работ был определён перечень основных задач, решаемых геоинформационной системой, который был утверждён распоряжением Правительства Российской Федерации «Об утверждении Перечня основных задач, решаемых геоинформационной системой органов государственной власти» [9].

К сожалению, работы по созданию ГИС ОГВ были прекращены в 1998 году в связи с очередной реорганизацией отрасли геодезии и картографии — упразднением Федеральной службы геодезии и картографии России и передачей её функций во вновь образованное Министерство по земельной политике, строительству и жилищно-коммунальному хозяйству [11, 26].

Принятие в 2006 году «Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации» [7] ознаменовало новый этап создания территориально распределённой системы сбора, обработки, хранения и предоставления потребителям пространственных данных.

В более современном определении по ГОСТ «Инфраструктура пространственных данных. Общие требования» [3] — информационно-телекоммуникационной системы, обеспечивающей доступ граждан, хозяйствующих субъектов, органов государственной и муниципальной власти к распределённым ресурсам пространственных данных, а также распространение и обмен данными в общедоступной глобальной информационной сети в целях повышения эффективности их производства и использования.

Реализацию Концепции предусматривалось осуществить в 3 этапа:

- I этап подготовительный (2006–2007 годы);
- II этап организационный (2008–2009 годы);
- III этап завершающий (2010–2015 годы).

Попытка построения отечественной ИПД на основе «Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации» [7], из-за ряда причин была неудачной, намеченные мероприятия Концепции в полном объёме не были выполнены [30]. Не последней в ряду причин было упразднение в 2008 году Федерального агентства геодезии и картографии [11, 24, 25].

В последние годы были приняты стратегические нормативные акты по вопросам обеспечения пространственными данными. К таким документам относятся программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [23] и государственная программа Российской Федерации «Национальная система пространственных данных» [17].

В рамках программы «Цифровая экономика Российской Федерации» выполнена разработка и ввод в эксплуатацию государственной информационной системы ведения Единой электронной картографической основы (ГИС ЕЭКО) и государственной информационной системы Федерального портала пространственных данных (ГИС ФППД). Предполагается, что результаты этих отдельных разработок могут войти в качестве составных элементов системы пространственных данных Российской Федерации, планируемой к созданию в соответствии с государственной программой Российской Федерации «Национальная система пространственных данных».

В ГИС ЕЭКО потребителю предлагается «новый» вид пространственных данных с названием единая электронная картографическая основа (ЕЭКО). Однако ЕЭКО предлагается отдельными номенклатурными листами, идентичными по содержанию с цифровой топографической картой открытого применения (ЦТК ОП), которая создаётся и поступает в федеральный фонд пространственных

данных вместе с цифровым ортофотопланом. ЕЭКО по-прежнему не имеет сплошного мультимасштабного покрытия территории Российской Федерации, отсутствуют рекомендации по программам ГИС, в которые может быть интегрирована ЕЭКО. Более того, карта покрытия портала Спутниковой системы точного позиционирования (ССТП), ссылка на который приведена на сайте ППК «Роскадастр», в качестве картографической основы использует сервис Яндекс.Карты [16].

Разработанная ГИС ФППД представляет собой эффективный информационный интернет-вход к информации федерального фонда пространственных данных. Вместе с тем доступность к данным ФППД в части оперативности получения открытых данных, а особенно государственных топографических карт и планов полного объектового содержания остаётся на уровне прошлого века. Суммарное значение времени получения пространственных данных может составлять от нескольких дней до одного месяца и более [15].

На первый взгляд, по своему названию государственная программа «Национальная система пространственных данных» направлена на разработку системы обеспечения пространственными данными. Однако в документе декларируется то, что «национальная система пространственных данных включает в себе данные об объектах недвижимости, пространственные данные, сведения о зарегистрированных правах на недвижимое имущество и государственной кадастровой оценке». При этом реализация государственной программы, в основном, направлена на достижение целевых показателей по увеличению доли услуг в электронной форме и достижению «цифровой зрелости» ключевых отраслей экономики и социальной сферы. И почему-то в государственной программе, нет ни чего о «цифровой зрелости» пространственных данных и системы обеспечения этими данными.

В целом же основными задачами государственной программы является повышения качества государственных услуг по кадастровому учёту и реги-

страции недвижимого имущества с организацией и проведением так называемых «комплексных кадастровых работ». Таким образом, в государственной программе под привлекательным названием «Национальная система пространственных данных» проводится очередной «кадастровый поход» с новым многомиллиардным финансовым обеспечением и исключением решения проблемных вопросов построения государственной инфраструктуры пространственных данных с разработкой современной системы оперативного обеспечения качественными пространственными данными отраслей экономики, обороны и безопасности государства.

Под реализацию мероприятий данной «кадастровой» программы создана новая структура — публично-правовая компания (ППК) с нужным для такой программы названием «Роскадастр» [18, 28]. В состав ППК «Роскадастр» вошли и растворились в интересах выполнения кадастровых мероприятий последние работоспособные организации отрасли геодезии и картографии ФГБУ «Центр геодезии и картографии» и АО «Роскартография». Очевидно, результатом всех этих реорганизаций стала окончательная ликвидация отрасли геодезии и картографии с последующим свёртыванием проблемных задач научного, технологического и производственного развития государственной системы обеспечения пространственными данными, что приведёт и уже привело к негативным последствиям в экономической и оборонной деятельности страны [11, 15]. Проиллюстрируем это утверждение примерами полученными на официальном сайте ППК «Роскадастр» [20].

На сайте ППК «Роскадастр» в разделе «СТРУКТУРА» <https://kadastr.ru/about/nablyudatelnyy-sovet/rpk.php> структура организации отсутствует, есть упоминание о том, что ППК «Роскадастр» создана «путём реорганизации с одновременным сочетанием преобразования и присоединения четырёх подведомственных Росреестру организаций».

Разумеется, нас интересует инфраструктура пространственных данных, ранее реализуемая



«преобразованными и присоединёнными» Роскартографией и Центром геодезии, картографии и ИПД.

В разделе «О НАС» <https://kadastr.ru/about/> декларируются 7 основных видов деятельности:

- геодезическая и картографическая деятельность;
- предоставление пространственных данных;
- метрологическое обеспечение геодезической и картографической деятельности;

- кадастровые работы;
- землеустроительные работы;
- ведение единого государственного реестра недвижимости;
- научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Но это декларация. Перечень сервисов и услуг ППК «Роскадастр», из раздела «Сервисы и услуги» <https://kadastr.ru/services/> сайта приведён в таблице.

№	Название сервиса и услуги	№	Название сервиса и услуги
1	Заказать выписку из ЕГРН (Получить выписку об объекте недвижимости)	18	Юридические и консультационные услуги (Для правообладателей объектов)
2	Удостоверяющий центр (Получить электронную подпись)	19	Генеральный план (Разработка генерального плана)
3	Ведомственный центр телефонного обслуживания (Проверить статус документов)	20	Землеустроительная экспертиза (Заказать экспертизу)
4	Аналитический центр (Предоставление аналитической информации ЕГРН в новом формате)	21	Иные услуги
5	Отчёт об оценке (Услуга по подготовке отчёта об оценке или иного справочного документа)	22	Акт обследования (Услуги по подготовке акта обследования объекта капитального строительства)
6	Публичная кадастровая карта (Найти объект недвижимости)	23	Межевой план (Услуга по подготовке межевого плана земельного участка)
7	Проектная документация (Разработка проектной документации)	24	Правила землепользования и застройки (Разработка правил землепользования и застройки)
8	Выездное обслуживание (Заказать доставку документов)	25	Схема на кадастровом плане территории (Услуга по подготовке схемы на КПТ)
9	Невостребованные документы (Заказать доставку документов)	26	Технический паспорт (Услуга по подготовке технического паспорта)
10	Комплексные кадастровые работы (Осуществляется уточнение местоположения)	27	Технический план (Услуга по подготовке технического плана объекта капитального строительства)
11	Оформить недвижимость (Подать документы на кадастровый учёт и регистрацию прав)	28	Описание местоположения границ (Подготовка описания местоположения границ населенных пунктов и границ территориальных зон)
12	Проект планировки и межевания территории (Разработка ППТ и ПМТ)	29	Материалы и данные ФФПД (Предоставление пространственных данных и материалов из ФФПД заявителям)
13	Комплексные кадастровые и инженерные изыскания	30	Сведения ЕЭКО (Предоставление пространственных данных и материалов из ФФПД заявителям)
14	Получить консультацию (Проконсультироваться со специалистом по вопросам сделок)	31	Сведения об операторах дифференциальных геодезических станций (Предоставление сведений об операторах дифференциальных геодезических станций)
15	Кадастровые работы (Заказать кадастровые работы)	32	Конвертация данных (Пересчёт координат)
16	Услуги высокоточного позиционирования (24 часа в сутки 7 дней в неделю)	33	Метрология. Стандартизация (Поверка геодезического оборудования и средств измерений, калибровка геодезических приборов)
17	Внесения сведений в реестр границ (Заказать подготовку документов)	34	Государственный каталог географических названий

Из 34 сервисов и услуг ППК «Роскадастр» 6 позиций (29—34) являются сервисами и услугами в сфере геодезии и картографии, наименования географических объектов, которые согласно Конституции Российской Федерации [6] находятся в ведении Российской Федерации (Статья 71). Тогда, как вопросы владения, пользования и распоряжения землёй, разграничение государственной собственности, земельное законодательство находятся в совместном ведении Российской Федерации и субъектов Российской Федерации (Статья 72). Поэтому представляется несколько странным порядок перечисления сервисов и услуг с точки зрения их государственной значимости.

Вопросы о значимости для ППК «Роскадастр» работ в сфере геодезии и картографии, наименований географических объектов неоднократно звучали на различных форумах. Доступность геопространственных данных по-прежнему остаётся основной проблемой, сдерживающие развитие системы обеспечения этими данными. Нужны ли ППК «Роскадастр» исследования потребностей органов государственного и муниципального управления, предприятий и отраслей экономики в геопространственных данных? Или достаточно обеспечения геопространственными данными кадастровой деятельности [10, 11, 13, 15].

Режимные ограничения доступа к геопространственным данным давно являются предметом дискуссий. Отсутствие какого-либо прогресса в последовательном снижении режимных ограничений на основе анализа доступных данных ГНСС, глобальных моделей геопотенциала и данных ДЗЗ, являются существенным тормозом использования фондов данных. Попытки обойти режимные ограничения путём введения местных, а по сути региональных систем координат, ничего не принесли кроме снижения точности и финансовых затрат.

К сожалению, выполнение мероприятий государственной программы «Национальная система пространственных данных» и очередное административное реформирование с созданием новой структуры ППК «Роскадастр», функционально нацеленных на решение задач кадастра не вызывает оптимизма по успешному развитию системы обеспечения ПД. В этой связи требуется более комплексное развитие системы обеспечения пространственными данными.

Основными направлениями деятельности по обеспечению потребителей современными, достоверными, доступными геопространственными данными должны быть следующие:

- повышение доступности геопространствен-

ных данных путём создания современных сервисов доступа к ЕЭКО;

- повышение доступности геопространственных данных путём последовательного снижения режимных ограничений;

- создание программ ГИС, желательно с открытыми кодами, в которых может быть интегрирована ЕЭКО;

- поддержание на современном уровне созданных объёмов геопространственных данных;

- повышение достоверности геопространственных данных путём последовательного перехода к более крупным масштабам государственных топографических карт и базового масштаба ЕЭКО.

Список литературы:

1. Александров В. Н., Миллер С. А. О разработке концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных в Российской Федерации // Проблемы ввода и обновления пространственных данных: Тезисы докладов 8-й Всероссийской научно-практической конференции. Москва, РАГС, 4–6 марта 2003 г. — М. — ГИС-Ассоциация. — 2003. — <http://www.gisa.ru/infrastructure.html>

2. Будущие тенденции в области управления геопространственной информацией / Доклад Генерального секретаря ООН на второй сессии Комитета экспертов по вопросам управления глобальной геопространственной информацией. — Нью-Йорк, 13–15 августа 2012 года (E/C.20/2012/3). — http://ggim.un.org/2nd%20Session/E-C20-2012-3%20Future%20Trends_r.pdf

3. ГОСТ Р 58570—2019 Инфраструктура пространственных данных. Общие требования

4. Жалковский Е. А. Состояние и тенденции геоинформационного обеспечения органов государственной власти Российской Федерации // Геодезия и картография. — 1998. — № 5. — с. 15-20.

5. Жалковский Е. А., Пьянков Г. А. О концепции ГИС СНГ // Геодезия и картография. — 1997. — № 4. — с. 46—50.

6. Конституция Российской Федерации. Принята всенародным голосованием 12.12.1993 с изменениями, одобренными в ходе общероссийского голосования 01.07.2020.

7. Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации. Одобрена распоряжением Правительства Российской Федерации от 21 августа 2006 г. № 1157-р <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXR&n=372580#02076350790620518>

8. Координация в области получения и доступа к данным: Национальная инфраструктура про-

пространственных данных. Распоряжение Б. Клинтона, президента США от 11 апреля 1994 г. — <http://www.gisa.ru/8393.html>

9. Перечень основных задач, решаемых геоинформационной системой органов государственной власти. Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 4 декабря 1995 г. № 1686-р

10. Побединский Г.Г. Исследование динамики потребностей органов государственного и муниципального управления, предприятий и отраслей экономики в геопространственных данных // Россия: тенденции и перспективы развития : Ежегодник. XXII Национальная научная конференция с международным участием, Москва, 14–16 февраля 2023 года. Выпуск 18 Часть 2. — Москва: ИНИОН РАН, 2023. — С. 100–117. — EDN: ADPQDR

11. Побединский Г.Г. Ликвидация геодезической и картографической службы страны через призму времени // Вестник СГУГиТ. — 2022. — Том 27. — № 4 (274). — с. 16–30. DOI 10.33764/2411–1759–2022–27–4–16–30. — EDN: KFQUZG.

12. Побединский Г.Г. Региональные аспекты реализации единой инфраструктуры пространственных данных // Проблемы ввода и обновления пространственных данных: Тезисы докладов 8-й Всероссийской научно-практической конференции. Москва, РАГС, 4–6 марта 2003 г. — М. — ГИС-Ассоциация. — 2003. — <http://www.gisa.ru/infrastructure.html>

13. Побединский Г.Г. Современные проблемы правового и технического регулирования геодезической и картографической деятельности, создания и обновления геопространственных данных // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2024. — Т. 1. — С. 3–21. — DOI 10.33764/2618–981X–2024–1–3–21.

14. Побединский Г.Г., Прусаков А.Н., Протопова И.В. Государственные геопространственные данные Российской Федерации. Вопросы создания и использования // Науки о Земле. — 2017. — № 1. — с. 22–35. — EDN: ZBGGMT.

15. Побединский Г.Г., Яблонский Л.И. Оценка современного уровня и основных направлений развития инфраструктуры пространственных данных // Инженерные изыскания. — 2022. — Том XVI, № 4. — с. 8–16. — DOI: 10.25296/1997–8650–2022–16–4–8–16. — EDN: AAADLG

16. Портал Спутниковой системы точного позиционирования. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://гнсс.рф/maps>

17. Постановление Правительства Российской Федерации от 01 декабря 2021 г. № 2148 «Об утверждении государственной программы Россий-

ской Федерации «Национальная система пространственных данных»

18. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 июля 2022 г. № 1359 «О публично-правовой компании «Роскадастр»

19. Постановление Правительства Российской Федерации от 16 января 1995 г. № 40 «Об организации работ по созданию геоинформационной системы органов государственной власти»

20. ППК «Роскадастр». Сайт. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://kadastr.ru/>

21. Прусаков А.Н. Инфраструктура пространственных данных в Российской Федерации // Геодезия и картография. — 2004. — № 2. — с. 6–15. — EDN: XQIQBV

22. Прусаков А.Н. Концепция создания инфраструктуры пространственных данных в Российской Федерации // Великие реки'2003: Генеральные доклады, тезисы докладов Международного научно-промышленного форума, Нижний Новгород, 20–23 мая 2003 г. — Нижний Новгород. — ННГА-СУ. — 2003. — с. 406–407.

23. Распоряжение правительства Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р «Цифровая экономика Российской Федерации». <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHj4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf>

24. Указ Президента Российской Федерации от 12 мая 2008 г. № 724 «Вопросы системы и структуры федеральных органов исполнительной власти»

25. Указ Президента Российской Федерации от 25 декабря 2008 г. № 1847 «О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии»

26. Указ Президента Российской Федерации от 30 апреля 1998 г. № 483 «О структуре федеральных органов исполнительной власти»

27. Управление глобальной геопространственной информацией/Доклад Генерального секретаря ООН на основной сессии Экономического и Социального Совета (The United Nations Economic and Social Council ECOSOC). — Женева, 4–29 июля 2011 года (E/2011/89). — <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N11/335/34/PDF/N1133534.pdf?OpenElement>

28. Федеральный закон от 30 декабря 2021 г. № 448-ФЗ «О публично-правовой компании «Роскадастр»

29. Шевин А.В. Сравнительный анализ отечественного и зарубежного подходов к формированию инфраструктур пространственных данных. // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2016. Том: 1. Номер: 1 — с: 94–99. — EDN: VVZYDZ.

30. Яблонский Л. И. Инфраструктура пространственных данных (ИПД): возникновение понятия, современное состояние и основные направления развития // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: Материалы XV Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций, Москва, 26–29 ноября 2019 года. — Москва. — Геомаркетинг. — 2019. — С. 519–524. — EDN: NGRUGF

31. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). [Electronic resource.] — URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2007/2/2019-06-26>

32. INSPIRE Geoportal [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://inspire-geoportal.ec.europa.eu/index.html>

33. OMB Circular No. A–16 Revised. Циркуляр A–16 «Координация географической информации

и соответствующей деятельности в области пространственных данных» 16 января 1953 г. Пересмотренный 06 мая 1967 г., 19 октября 1990 г., 19 августа 2002 г. [Electronic resource.] — URL: <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2017/11/Circular-016.pdf>

34. The Federal Geographic Data Committee (FGDC). National Spatial Data Infrastructure (NSDI). [Electronic resource.] — URL: <https://www.fgdc.gov/nsdi>

35. The Geospatial Data Act of 2018 (GDA). Закон о геопрограмственных данных 2018. [Electronic resource.] — URL: <https://www.fgdc.gov/gda>

36. The Status of Topographic Mapping in the World. A UNGGIM — ISPRS Project 2012–2014 / G. Konecny, U. Breitkopf, A. Radtke, K. Lee. — Global Geospatial Information and High Resolution Global Land Cover/Land Use Mapping. Resources: Proceedings of ISPRS WG IV/2 workshop, 21 Apr. 2016 y. — Novosibirsk: SSUGT, 2016. — pp 4–44.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ДАННЫХ ДЗЗ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПУТНИКОВОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ТЕРРИТОРИЙ

Е.Ф. Чичкова,

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

Спутниковый мониторинг является составной частью экологического мониторинга территорий, выполнение которого регламентируется в соответствии с требованиями природоохранного законодательства РФ (федеральный закон от 10 января 2002 года № 7-ФЗ в ред. от 25 декабря 2023). В центре космических услуг «КосмоИнформ-Центр» ГУАП (ЦКУ) по данным многоспектрального спутникового зондирования проводится мониторинг потенциально опасных зон (ПОЗ), представляющих собой явления и процессы в различных средах, например, грозовые очаги, загрязнения водной поверхности взвешенными веществами, экзогенные процессы земной поверхности, степень антропогенной нарушенности территорий. В настоящее время на первый план выходит решение прикладных экологических задач отраслей первичного сектора экономики, требующих выявления ПОЗ на заданных территориях промышленного и сельскохозяйственного назначения.

Проведение производственного экологического мониторинга ЦКУ, как правило, базируется на ис-

пользовании геопрограмственных данных в виде многоспектральной съёмки космических аппаратов (КА) высокого и среднего пространственных разрешений, картографических материалов, данных маршрутных обследований территорий.

Для аналитической обработки данных дистанционного зондирования и наземных обследований в ЦКУ был разработан информационно-аналитический сервис. Функционально сервис может быть отнесён к информационно-аналитическим системам в области экологического мониторинга регионального масштаба. Основой сервиса является геопортал, включающий в себя ряд сервисов получения, предварительной и тематической обработки, хранения геоданных, а также доступа к ним. Результаты экологического мониторинга в геопортале представляют собой специализированные карты и слои информации в векторных и растровых видах, а также атрибутивную информацию расчёта линейных, площадных и статистических характеристик заданных параметров ПОЗ.

Основные целеуказания производственного экологического мониторинга: идентификации ПОЗ и отслеживание их временной и пространственной динамики. При проведении данного вида мониторинга используются такие параметры контроля, как например: наличие эрозионных процессов, процессов заболачивания и подтопления, состояние растительного покрова. Процедура мониторинга включает в себя получение и предварительную обработку данных дистанционного зондирования, тематическую обработку с привлечением вспомогательной информации, верификацию результатов, представление информации в цифровом и графическом виде для решения задач заказчиков. Технологии обработки данных содержат программное обеспечение и программные модули как собственной разработки, основанные на собственных инновационных методах и способах обработки спутниковых данных, так и лицензионные и свободно распространяемые. Был разработан и запатентован способ оценки динамики ареалов борщевика Сосновского по космическим данным (патент на изобретение № 2657363 С1). На его основе проводится мониторинг территорий различных областей и регионов РФ. Ареалы борщевика Сосновского относятся к ПОЗ из-за широкого распространения и опасности этого сорнякового растения.

Наиболее эффективно проведение мониторинга ПОЗ при использовании разработанной технологии эшелонированного мониторинга, когда применяются

три уровня синхронных (по возможности) измерений и наблюдений: космическими аппаратами, аппаратурой воздушных судов и полевыми обследованиями. В качестве аналоговых моделей параметров контролируемых ПОЗ применяются цифровые карты геопространственных слоёв информации, что позволяет оперативно отслеживать динамику ПОЗ.

Результаты спутникового мониторинга содержат дешифрованные (типы ПОЗ, линейные и площадные размеры) или рассчитанные по спектральным характеристикам параметры, характеризующие состояние или изменение компонентов земной поверхности и водной среды (индексы состояния, тепловые характеристики поверхностей и пр.).

В докладе изложен подход проведения спутникового мониторинга заданных территорий, основанный на многолетнем опыте выполнения прикладных исследований ЦКУ ГУАП в Северо-Западном регионе РФ. Рассмотрены технологии мониторинга и методы идентификации различных типов подстилающих поверхностей, применяемые при аналитической работе, в том числе метод эшелонированного мониторинга. Приведены примеры выполнения прикладных исследований при проведении спутникового производственного экологического мониторинга с указанием особенностей и проблем использования различных данных дистанционного зондирования. Дан краткий анализ результатов выполнения работ по оказанию услуг и текущих НИР.

ОПЫТ СОЗДАНИЯ ЭТАЛОННОГО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА ДЛЯ ПОВЕРКИ БОРТОВОГО ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И КАЛИБРОВКИ АЭРОСЪЁМОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Л. А. Мицевич, Е. А. Прус,

Топографо-геодезическое республиканское унитарное
предприятие «Белгеодезия», г. Минск, Республика Беларусь

Введение

С расширением возможностей беспилотных авиационных систем (БАС) и разнообразием моделей высокоточного съёмочного оборудования, всё более перспективным является их использование в процессе создания топографо-геодезической и картографической продукции. Вместе с тем возникает острая необходимость определения и поверки метрологических характеристик бортового навигационного и аэросъёмочного оборудования, а также оценки ме-

трических свойств продукции, созданной на основе данных аэросъёмки с БАС — стереоскопических моделей, цифровых моделей рельефа, местности, ортофотопланов, являющихся в свою очередь пространственной основой для аэрофототопографической съёмки.

В связи с необходимостью обеспечения единства измерений в процессе производства и отсутствием эталонной базы в данной области, в предприятии «Белгеодезия», совместно с Белорусским государственным институтом метрологии (БелГИМ) было

принято решение создать эталонный метрологический полигон (ЭПП) с установленными наземными пунктами геодезической сети, с координатами точек, определёнными с использованием данных спутниковой сети точного позиционирования Республики Беларусь (ССТП Республики Беларусь), являющейся эталонным средством измерения в топографо-геодезическом производстве. По окончании проведения метрологической экспертизы БелГИМ ЭПП будет использоваться в качестве рабочего эталона для определения и поверки параметров бортового геодезического оборудования и

фотограмметрической калибровки фотокамер беспилотных авиационных систем на территории Республики Беларусь.

Проектирование и выполнение работ по созданию эталонного пространственного полигона

Обязательные метрологические требования к эталонному геопространственному полигону, согласно нормативным документам, определяющим единство измерений, должны соответствовать значениям, приведённым в таблице 1.

Таблица 1

Наименование	Значение
Пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения координат пунктов в системе ITRS (ITRF2005 на эпоху 2008,31) в плане, мм	$\pm(5+0,1 \cdot L \cdot 10^{-6})$
Пределы допускаемой абсолютной погрешности воспроизведения координат пунктов в системе ITRS (ITRF2005 на эпоху 2008,31) по высоте, мм	$\pm(5+0,1 \cdot L \cdot 10^{-6})$

где L – числовое значение, совет-ствующее расстоянию от базовой доподвижной станции в км

В процессе проектирования был выбран участок в Логойском районе Минской области, наиболее полно отвечающий требованиям к метрологическим характеристикам для целей фотограмметрической калибровки фотокамер. Для обеспечения решения геодезических задач определены участки с прямой видимостью между 6 и более опорными пунктами на возвышенностях, состав грунтов и глубины залегания грунтовых вод. Так, рельеф местности в пределах полигона представлен равнинными и холмистыми участками. Перепады высот на участке достигают 37 м (Рисунок 1, 2).

Почвы преобладают дерново-подзолистые, местами эродированные на средних и легких маренных суглинках. На территории полигона расположен пруд, образованный плотиной на реке Логозинка. Через территорию полигона проходит автомагистраль Р–66 Калачи-Логойск (Рисунок 2). Работы выполнялись в цифровой фотограмметрической системе Photomod 7.4.4157x64 (Ракурс, РФ) по материалам аэросъёмки с разрешением 5–15 см и ориентированным стереомоделям территории полигона.

В процессе создания ЭПП были выполнены следующие работы: изготовление, транспортировка, рекогносцировка и закладка опорных пунктов (28 шт), с определением их трёхмерных координат по программе СГТС, а также определены трёхмерные координаты 50 контрольных точек (чётких кон-

туров местности) в режиме RTK.

Постобработка результатов спутниковых наблюдений и уравнивание сети выполнено с помощью программного обеспечения Pinnacle, версия 1.0,

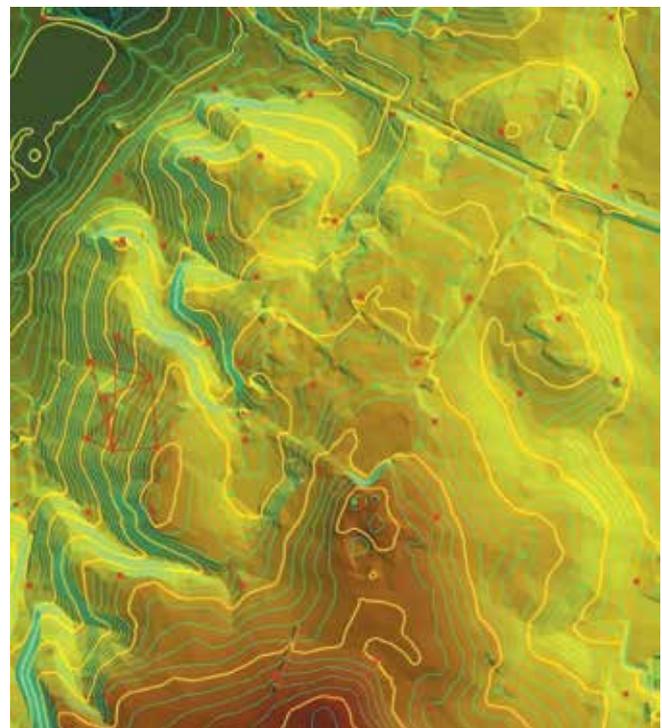


Рисунок 1 – Цифровая модель рельефа территории ЭПП Логойский

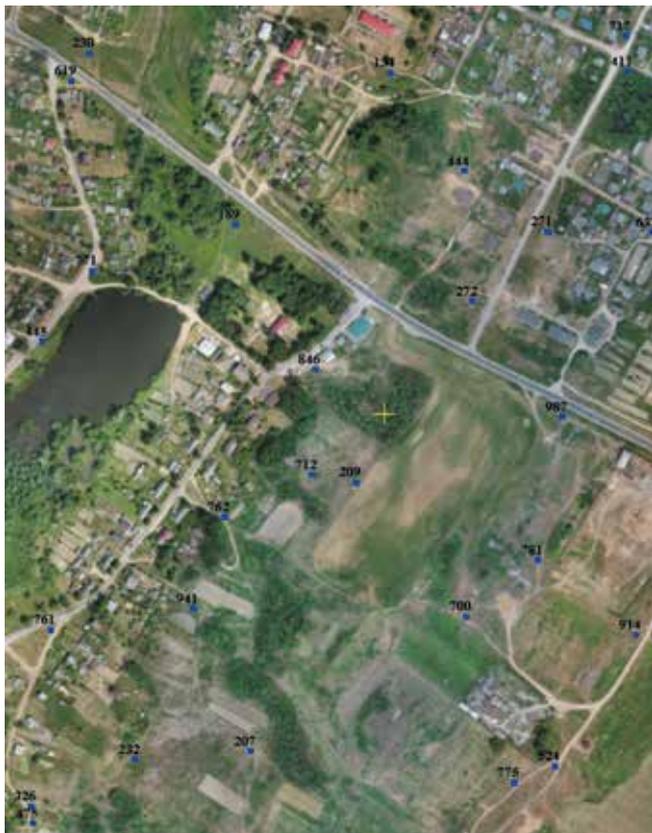


Рисунок 2 – Ландшафт и местоположение опорных пунктов на территории ЭПП Логойский

Javad Positioning Systems, 1998 г., позволяющего подключить точные эфемериды, выполнить оценку вычисленных векторов путём замыкания цепочек векторов, урванять сеть, образованную векторами по базовым линиям сети, вычисленными из решений разных сеансов. Обработка результатов выполнялась

с использованием точных эфемерид спутников.

Все опорные пункты закреплены нестандартными центрами. Марка центра, закладываемая в бетонном монолите расположена точно в уровень с землей. Центры заложены на глубину 1,3 м. В верхнюю грань каждого центра впрессовано 2 шпильки М8, на которые навинчиваются гайки. Дополнительно изготовлены пластиковые пластины размером 50х50 см, которые устанавливаются на центры при производстве работ по оценке пространственных данных БАС и демонтируются по окончании работ.

При монтаже пластин пластиковый центр перекрестия точно совмещается с маркой и закрепляется болтами (Рисунок 3).

Заключение

В результате работ создан эталонный пространственный полигон, отвечающий техническим требованиям проектирования и точности передачи единиц измерений прямым методом. Технический паспорт и документация ЭПП Логойский передана в БелГИМ для согласования и утверждения. Для предварительной оценки метрологических характеристик были выполнены полёты на БАС с установленными мультиспектрными бортовыми геодезическими приёмниками, аэрофотокамерами, воздушными лазерными сканерами.

Программа испытаний, схемы и методики поверки бортового геодезического и съёмочного оборудования БАС в настоящее время дорабатываются. Для достижения целей требуются дополнительные полевые испытания и экспериментальные результаты определения метрологических характеристик раз-

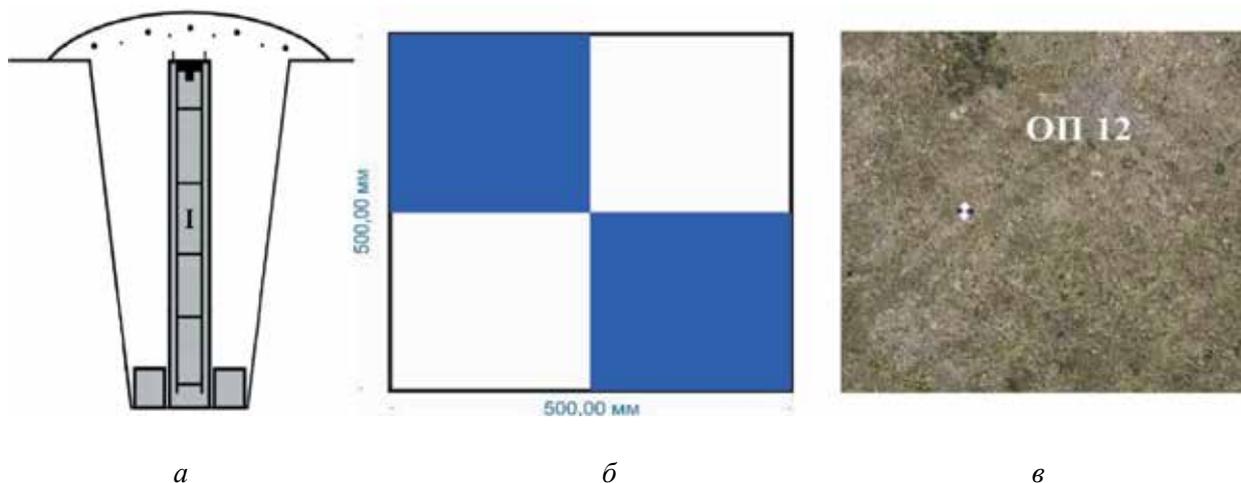


Рисунок 3 – а) чертёж центра опорного пункта, б) внешний вид пластиковой пластины для установки на пунктах при выполнении аэросъёмочных работ; в) вид опорного пункта на аэроснимке.

личных типов бортового геодезического и аэрофотограмметрического оборудования.

Основными сложностями являются государственное регулирование и формирование единых требований к навигационному и съёмочному оборудованию БАС и его метрологическим характеристикам при их использовании в топографо-геодезическом производстве, а также различие в методиках фотограмметрической обработки материалов аэрофотограмметрии и программного обеспечения у пользователя.

Как многолетние пользователи

ЦФС «PHOTOMOD» специалисты государственного предприятия «Белгеодезия» искренне признательны разработчикам за высокотехнологичный продукт и его постоянное развитие, за оперативную техническую поддержку и решение текущих вопросов, благодаря чему наше предприятие имеет возможность расширить диапазон деятельности и решать как топографо-геодезические так и межатраслевые задачи с высокой степенью уверенности в точности и достоверности предоставляемых данных.

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Чэнь Лун,

Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Москва, РФ

Показано понятие дистанционного зондирования поверхности Земли, присущие ему проблемы и трудности и необходимость разработки программ управления положением и движением космической системы дистанционного зондирования Земли. Для сканирования геометрически сложных криволинейных траекторий, повторяющих особенности рельефа, необходимо разрабатывать новые методы и алгоритмы управления космической системой ДЗ (спутника), включая перенацеливание зондирующей аппаратуры. Рассмотрена общая модель перенацеливания-сканирования и проблемы ее оптимизации, связанные с синтезом оптимальных планов зондирования. Показана необходимость дальнейшей оптимизации схемы перенацеливания-сканирования, что позволит повысить качество получаемых данных и эффективность работы космической системы ДЗ на заданной траектории полёта. В целом, это может привести к разработке общего алгоритма решения задачи оптимизации схемы перенацеливания-сканирования, актуального и в случае сканирования геометрически сложных областей.

Деятельность по дистанционному зондированию поверхности Земли с помощью космических систем дистанционного зондирования является важным аспектом для получения информации о земной поверхности, что имеет большое значение для военной, экономической и геологической отраслей. После 1962 года термин «дистанционное зондирование» прочно вошёл в научный оборот, стал популярным и обычно обозначает бесконтактное наблюдение Земли с помощью электромагнитных волн с платформы, находящейся на некотором расстоянии в космосе от объекта исследования [1]. Дистанционное зондирование подразумевает измерение, выполненное не контактным датчиком, а неким косвенным или «дистанционным» способом. Платформа, или космическая система дистанционного зондирования, служит для зондирования с помощью датчиков. Существует два типа датчиков — активные и пассивные, датчики, которые используются для дистанционного

зондирования Земли с космической системы дистанционного зондирования или, говоря по-другому, со спутника дистанционного зондирования (ДЗ).

Дистанционное зондирование определяется по-разному следующим образом:

- наука о получении, обработке и интерпретации изображений, которые регистрируют взаимодействие между электромагнитной энергией и материей [2];
- искусство анализа данных, полученных устройством, которое не находится в контакте с исследуемым объектом, областью или явлением [3];
- наблюдение земной поверхности на расстоянии и интерпретация изображений или числовых значений, полученных с помощью приборов, технологий и методов для получения значимой информации о конкретных объектах на Земле.

Дистанционное зондирование в основном опирается на отражённое или испущенное электромагнит-

ное излучение Земли (оптическое и микроволновое), для получения заключений и выводов об изменениях на поверхности Земли или в вышележащей атмосфере при использовании спутниковой и авиационной аппаратуры. Дистанционное зондирование также требует анализа полученных данных и изображений. Интерпретация данных также является важным требованием дистанционного зондирования. В целом дистанционное зондирование включает в себя следующие шесть компонентов: солнце; поверхность Земли; датчик и платформа; наземная приёмная система; аналитик, который преобразует с помощью визуальных и/или цифровых методов информацию, извлечённую из исходных данных для широкого спектра применений [4].

Дистанционное зондирование с помощью спутников это обширная, бесконечная и быстро меняющаяся область. Помимо прочего, деградация аккумуляторных батарей электропитания, непредвиденные сбои, истощение ракетного топлива являются проблемами, которые делают срок службы спутников (космических систем) очень коротким. Например, геосинхронные спутники нуждаются в топливе для удержания на орбите и поддержания высоты, чтобы правильно направить солнечные батареи и антенны. Поэтому из-за отсутствия топлива срок службы гео-синхронных спутников составляет в среднем около 15 лет. Кроме того, некоторые спутники с полярными орбитами, запланированные на несколько лет и несущие сложное оборудование для дистанционного зондирования, проработали менее двух лет из-за отказов системы питания или приборов. С аналогичными проблемами сталкиваются и спутники связи.

Поэтому, в силу вышеназванных причин и обстоятельств очень важно владеть разработкой программ управления положением и движением космической системы (спутника) дистанционного зондирования Земли.

Для реализации плана зондирования на многооборотных интервалах полёта используются интегральные (непрерывные) программы управления положением спутника дистанционного зондирования (СДЗ) [5], включающие последовательность пар связанных подинтервалов управления положением СДЗ. В каждой паре, во-первых, спутник ДЗ перенацеливается на начало следующей траектории из плана зондирования, а, во-вторых, осуществляется управление положением СДЗ при сканировании этой траектории. Эти взаимосвязанные манёвры в рамках интегральной программы управления представляют собой элементарную операцию, моделируемую схемой управления, далее называемой схемой

перенацеливания-сканирования (СПС). СПС должна быть доработана для оптимизации интегральной программы управления на заданном интервале полёта. Для сканирования геометрически сложных траекторий (таких как криволинейные траектории и траектории, повторяющие особенности рельефа) необходимо разрабатывать новые методы и алгоритмы управления спутником ДЗ, включая перенацеливание зондирующей аппаратуры. Эта необходимость обусловлена тем, что существующие методы съёмки с использованием оптико-электронной аппаратуры (ПЗС-матрица (сокр. от «прибор с зарядовой связью»)) вдоль трека движения в режиме «толкающей метлы» [6] предназначены в основном для сканирования линейных траекторий, равноудалённых от маршрута СДЗ. Более сложные методы были впервые применены на борту космического аппарата «Ресурс-ДК» для сканирования так называемых азимутальных траекторий [7, 8]. Разработка новых методов необходима для оптимизации планов зондирования и, в более широком масштабе, для улучшения качества зондирования и характеристик СДЗ. С иерархической точки зрения оптимизация плана зондирования является задачей более высокого уровня, но её эффективное решение в основном определяется согласованной оптимизацией манёвров управления схемы перенацеливания-сканирования (СПС).

Оптимизация СПС имеет следующие особенности. Во-первых, она связана с координацией процессов управления спутником ДЗ при перенацеливании зондирующей аппаратуры и дальнейшем сканировании заданной траектории. В простейшем случае это согласование осуществляется путём постановки граничных условий для кинематических характеристик углового движения спутника ДЗ. Недостатком такого согласования является то, что иногда в программе возникают разрывы первого порядка, приводящие к негативным эффектам, связанным с расчётной динамикой и аварийными режимами работы системы управления положением спутника ДЗ. Это ухудшает скорость и точность управления положением, а также сильно сказывается на работе СПС при интенсивных сменах траекторий.

Во-вторых, манёвры управления СПС в рамках интегральной программы имеют разные функции, и их согласованная оптимизация в рамках схемы перенацеливания-сканирования (СПС) может потребовать дополнительных данных об оптимальности сформированного плана зондирования.

Поэтому важно рассмотреть общую модель перенацеливания-сканирования и проблемы её оптимизации, связанные с синтезом оптимальных планов

зондирования. Проблема оптимизации СПС является достаточно новым вопросом в прикладной теории управления движением спутника ДЗ.

Модель перенацеливания-сканирования включает в себя уравнения углового движения спутника ДЗ и модель интервала управления в схеме перенацеливания-сканирования (СПС). Параметрами модели перенацеливания-сканирования являются характерные моменты времени на интервале управления и значения кинематических параметров углового движения спутника в эти моменты. Кроме того, модель перенацеливания-сканирования включает в себя геометрические характеристики траектории и некоторый закон сканирования.

Сначала рассмотрим модель углового движения спутника ДЗ, состоящую из динамических уравнений Эйлера и кинематических связей для системы параметров ориентации относительно опорной системы координат. Первая группа уравнений (для полюса центра инерции спутника в точке С имеет вид [9])

$$J_C \frac{d\omega}{dt} + \omega \times J_C \omega = M_C \quad (1)$$

где J_C — матрица тензора инерции спутника ДЗ в точке С, $\omega = \text{col}(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$, ω_k , $k=x,y,z$ — вектор абсолютной угловой скорости спутника ДЗ — проекции ω на систему отсчёта спутника (СС), M_C — проекции на РТ. Если в качестве системы отсчёта используется орбитальная система (ОС), то

$$\omega = \tilde{\omega} + \omega_{OC} \quad (2)$$

где $\tilde{\omega} = \text{col}(\tilde{\omega}_x, \tilde{\omega}_y, \tilde{\omega}_z)$ вектор угловой скорости спутника относительно ОС, вращающегося с угловой скоростью ω_{OC} в инерциальной системе; здесь из-за орбитального движения спутника $\omega_{OC} = \omega_{OC}(t)$ орбитальное движение является известной векторной функцией времени. Главный момент относительно С для всех сил M_C , действующих на RSS, может быть представлен как сумма M_{Ctrl} — вектора моментов управляющих сил и M_D — вектора внешних возмущающих сил: $M_C = M_{Ctrl} + M_D$. С учётом (2) и $\frac{d\omega_{OC}}{dt} = \varepsilon_{OC}$ уравнение (1) может быть сведено к

$$\frac{d\tilde{\omega}}{dt} = J_C^{-1} M_{Ctrl} + J_C^{-1} [M_D - (\tilde{\omega} + \omega_{OC}) \times J_C (\tilde{\omega} + \omega_{OC})] - \varepsilon_{OC} \quad (3)$$

где $J_C^{-1} M_{Ctrl} = \varepsilon_{Ctrl}$ — вектор углового ускорения спутника относительно ОС, вызванного управляющими силами, моделируемыми матрицей $M_{Ctrl} = D u$, $D = \text{diag}(a_x, a_y, a_z)$ — матрица эффективности управляющих моментов. Если оси ОС — главные центральные оси инерции спутника, а a_k , $k=x,y,z$ — заданные коэффициенты, тогда мож-

но принять $\varepsilon_{Ctrl} = J_C^{-1} D u$, где $J_C^{-1} D = B = \text{diag}(b_x, b_y, b_z)$, $b_k = a_k / J_k$, $k=x,y,z$ и J_k — главные центральные моменты инерции спутника ДЗ; $u = \text{col}(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$, u_k , $k=x,y,z$ — управляющие параметры. Оставшиеся слагаемые правой части в (3) далее рассматриваются как вектор-функция

$$f_\omega = J_C^{-1} [M_D - (\tilde{\omega} + \omega_{OC}) \times J_C (\tilde{\omega} + \omega_{OC})] - \varepsilon_{OC} \quad (4)$$

С учетом (4) уравнения (3) могут быть переписаны следующим образом

$$\frac{d\tilde{\omega}}{dt} = B u + f_\omega. \quad (5)$$

Поскольку в общем случае $M_D = M_D(t, \sigma, \omega)$, то в (5) $f_\omega = f_\omega(t, \sigma, \omega)$, где σ — вектор ориентации спутника ДЗ.

Кинематические связи, входящие в систему уравнений, описывающих угловое движение спутника ДЗ относительно его центра инерции, связывают производные по времени параметров установки спутника (здесь и далее относительно ОС) с проекциями вектора углов установки спутника, которые могут быть выбраны, например, в соответствии со следствием углов поворота осей ОС относительно управляющих каналов: тангажа, крена и рыскания, до совмещения их с идентичными осями СС. Проецируя на оси СС, получаем [9]:

$$\tilde{\omega}_x = -\frac{d\vartheta}{dt} \cos\gamma \sin\varphi + \frac{d\gamma}{dt} \cos\varphi, \quad \tilde{\omega}_y = -\frac{d\vartheta}{dt} \sin\gamma +$$

$$\frac{d\varphi}{dt}, \quad \tilde{\omega}_z = \frac{d\vartheta}{dt} \cos\gamma \cos\varphi + \frac{d\gamma}{dt} \sin\varphi$$

Введение вектора параметров ориентации RSS $\sigma = \text{col}(\theta, \gamma, \varphi)$ и решение системы с учётом производных даёт кинематические соотношения, которые можно представить в векторно-матричной форме следующим образом:

$$\frac{d\sigma}{dt} = N(\sigma) \tilde{\omega}, \quad (6)$$

$$\text{где } N(\sigma) = \begin{bmatrix} -\frac{\sin\varphi}{\cos\varphi} & 0 & \frac{\cos\varphi}{\cos\gamma} \\ \cos\varphi & 0 & \sin\varphi \\ \frac{\sin\varphi \sin\gamma}{\cos\gamma} & 1 & \frac{\cos\varphi \sin\gamma}{\cos\gamma} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Таким образом, модель углового движения спутника ДЗ при манёврах по схеме перенацеливания-сканирования представлена системой уравнений (5), (6) с учётом выражений (4), (7).

Для описания маневров СПС необходимо ввести модель интервала его управления

$$[t_{-1}, t_f] = [t_{-1}, t_0] \cup [t_0, t_f] \quad (8)$$

где $[t_{-1}, t_0]$ — подинтервал управления перенацеливанием, $[t_0, t_f]$ — подинтервал управления сканированием, $t=t_0$ — точка катенации.

Тогда манёвр перенацеливания описывается двухточечной краевой задачей для системы (5), (6) с заданными краевыми условиями на $[t_{-1}, t_0]$:

$$\begin{aligned}\sigma(t_{-1}) &= \sigma_{-1}, \tilde{\omega}(t_{-1}) = \tilde{\omega}_{-1}, \sigma(t_0) = \sigma_0, \\ \tilde{\omega}(t_0) &= \tilde{\omega}_0\end{aligned}\quad (9)$$

где $\sigma_{-1}, \tilde{\omega}_{-1}, \sigma_0, \tilde{\omega}_0$ — векторные константы, определяющие кинематическое состояние спутника ДЗ для его углового движения в начале манёвра и в начале сканирования траектории. Конечные условия для маневра перенацеливания в (9) являются начальными условиями на интервале для маневра сканирования. В двухточечной краевой задаче (5), (6), (9) цель управления манёвром перенацеливания задаётся некоторым минимизируемым функционалом.

Модель манёвра управления спутником ДЗ на субинтервале может быть представлена моделью сканирования траектории, в которой учитывается работа оптико-электронной аппаратуры спутника. После решения задачи управления положением спутника при сканировании в схеме перенацеливания-сканирования модель этого маневра может быть представлена как решение задачи Коши для системы (5), (6) [9]:

$$\begin{aligned}\sigma(t) &= \sigma_{scan}(t), \tilde{\omega}(t) = \tilde{\omega}_{scan}(t), \mathbf{u}(t) = \\ \mathbf{u}_{scan}(t), \forall t \in [t_0, t_f]\end{aligned}\quad (10)$$

Начальные условия задаются:

$$\sigma_{scan}(t_0) = \sigma_0, \tilde{\omega}_{scan}(t_0) = \tilde{\omega}_0 \quad (11)$$

где $\sigma_0, \tilde{\omega}_0, t_0$ — параметры манёвра сканирования траектории, найденные путём решения соответствующей задачи управления с учётом ограничений на полученные данные зондирования. Следует отметить, что в общем случае момент времени может изменяться в зависимости от условий зондирования с помощью так называемых питч-предсказаний. В свою очередь, момент времени определяется не только выбранным, но и общепринятым законом сканирования.

Очевидно, что кинематические характеристики углового движения спутника ДЗ, приведённые в (9), (11), характерные моменты времени на интервале управления схемы перенацеливания-сканирования, то есть, t_{-1}, t_0, t_f и программа управления сканированием $\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}_{scan}(t)$ в (10) являются основными параметрами модели перенацеливания-сканирования.

Поэтому с учётом уравнений углового движения спутника (5), (6) и структуры интервала управления (8), модель перенацеливания-сканирования строится в виде моделей её манёвров: манёвра перенацеливания зондирующей аппаратуры в виде двухточечной краевой задачи (5, (6), (9) и маневра сканирования, представляемого решением задачи Коши для системы (5), (6) с начальными условиями (11) и заданной программой управления $\mathbf{u}(t) = \mathbf{u}_{scan}(t)$ в (10).

В заключение, резюмируя и обобщая выводы, следует отметить, что в рамках общей задачи синтеза интегральных программ управления космической системой ДЗ на длительных (многооборотных) интервалах полёта рассмотрена задача оптимизации схемы, состоящей из пар манёвров управления спутником при перенацеливании оптико-электронной аппаратуры зондирования и сканировании произвольных траекторий в режиме «push broom». Дело в том, что оптико-электронная аппаратура наблюдения, видео- и фотосъёмки движется вместе со спутником по орбите, любая новая строка полученной видео- и фото-информации соответствует другому участку местности. Длина информационной строки в проекции на местности называется полосой захвата. В большинстве космических систем ДЗ такой режим съёмки является основным, особенно в системах высокого разрешения и называется «заметанием» или, по-английски «push broom». Основное условие проведения съёмки в режиме «push broom» — это чтобы за время экспозиции перемещение линии визирования местности не превышало проекцию одного фоточувствительного элемента на местность в направлении полёта.

Рассмотренная схема сканирования с перенацеливанием является моделью элементарной операции управления положением спутника в рамках интегральной программы управления. Дальнейшая оптимизация этой схемы позволит повысить качество получаемых данных и эффективность работы космической системы ДЗ на заданной траектории полёта. Задачу оптимизации можно сформулировать следующим образом, во-первых, решить задачу оптимального управления переориентацией спутника с произвольными граничными условиями при перенацеливании зондирующей аппаратуры, во-вторых, решить задачу оптимального интегрирования управляющих программ для манёвров перенацеливания-сканирования. Решения этих задач необходимо разработать метод пошаговой аппроксимации. Эффективность метода, его высокая скорость сходимости, могут быть подтверждены математическим моделированием, и в целом, это может привести к разработке общего алгоритма решения задачи оп-

тимизации схемы перенацеливания-сканирования, актуального и в случае многолучевого сканирования геометрически сложных областей.

Список литературы

1. Wagh Sharad. The development of the earth remote sensing from satellite/Mechanics of gyroscopic systems, 2021, pp. 46–54.
2. Ulrik Mårtensson. Introduction to Remote Sensing and Geographical Information Systems/ Department of Physical Geography and Ecosystems Sciences Lund University, S–223 62 Lund, Sweden, 2011, 55 p.
3. S. Nakasuka, N. Sako, H. Sahara, Y. Nakamura, T. Eishima, and M. Komatsu. Evolution from education to practical use in university of tokyo's nano-satellite activities. Acta Astronautica, 66(7–8):

1099–1105, 2010.

4. E. Chuvieco. Fundamentals of satellite remote sensing: An environmental approach. CRC press, 2016.

5. Безняков А. М., Горбулин В. И., Каргу Д. Л., Фадеев А. С., Щербаков В. И. Методика оптимального планирования применения космических аппаратов дистанционного зондирования Земли в обзорном режиме/Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва (национального исследовательского университета), 2013, № 1 (39), С. 39–45.

6. Бакланов, А. И. Системы наблюдения и мониторинга: учебное пособие/А. И. Бакланов. – Москва: Бином. Лаб. знаний, 2009. — 234 с.

7. Демин А. В., Денисов А. В., Методы и средства моделирования систем дистанционного зон

ПРОГЕОСЕТЬ — УПРАВЛЕНИЕ СЕТЯМИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ ГНСС СТАНЦИЙ

А. И. Разумовский,
АО «НИИМА «Прогресс», Москва, РФ

Современным методом высокоточных координатных определений с помощью спутниковых приёмников геодезического класса является кинематика реального времени (RTK — Real Time Kinematic). Данные базовых станций передаются на приёмник пользователя по мобильной связи с использованием сети Интернет. В повседневной практике пункты государственных геодезических сетей используются преимущественно для контроля полученных координат. Установка базового приёмника в необорудованном месте на самом пункте встречается в геодезической практике реже.

Десятки постоянно действующих сетей ГНСС станций обеспечивают потребности в определениях координат и навигации на значительной части территории РФ, где ведётся активная производственная и хозяйственная деятельность. В последние годы количество операторов сетей и размеры областей покрытия сервисом дифференциальных коррекций сократилось из-за прекращения действия лицензий на зарубежное программное обеспечение и нехватки специализированных спутниковых приёмников для непрерывной работы в течение продолжительного времени.

Программный комплекс ПроГеоСеть предназначен для обеспечения полнофункциональной деятельности сетей станций дифференциальных коррекций.

Он включает следующие модули;

- NTRIP caster
- Мониторинг базовых станций
- Сервис виртуальной станции VRS
- Базу данных систем координат.

Основные опции NTRIP caster: личный кабинет, где происходит регистрация, авторизация, отображается актуальная информация о трафике данных и балансе денежных средств; карта постоянно действующих базовых станций; список кастеров, таблица подключений для выбора необходимой базовой станции; список подключённых спутниковых приёмников; каталог файлов данных базовых станций в формате RTCM; статистики и графики мониторинга координат базовых станций. В соответствии с правами пользователю предоставляется доступ к определённым опциям, кастерам и точкам подключения, а также возможность скачивания файлов исходных ГНСС данных в форматах RTCM или RINEX 2.11-3.05. Предполагается хранение архива RTCM данных в течение длительного времени.

Контроль поступающей на сервер информации необходим для своевременного выявления отключений или проблем функционирования базовых станций, прогноза периодичности радиопомех от внешних устройств. Первичный анализ качества данных, отбраковка грубых измерений улучшают точность

и оперативность расчёта метеопараметров и позволяет сохранить непрерывность пространственного поля корректирующей информации при изменениях конфигурации сети и временного графика ухудшения качества данных на отдельных станциях.

Расчёт векторов сети базовых станций, выполняемый в режиме реального времени в кинематическом режиме необходим для своевременного выявления неблагополучных станций. Оптимальная конфигурация геодезической сети задаётся путём предварительных испытаний и настройки сценария обработки.

Среднесрочные характеристики качества данных и возможных смещений пунктов, на которых установлены антенны базовых ГНСС, осуществляется путём регулярной, один раз в четыре часа, постобработки векторов и уравнивании сети. На основе χ^2 — теста уравнивания и t-теста для рёбер сети формируется отчёт о функциональности станций сети.

Ежедневно, по мере доступности данных о точных координатах и часах спутников, по методу PPP (Precise Point Positioning) в системе координат ITRF2014 производится вычисление координат станций московской сети, у которых отмечается наиболее устойчивый приём радиосигнала. Такие станции сети используются в качестве опорных при уравнивании

Данные базовых станций обрабатываются в режиме реального времени с целью определения ионос-

ферных и тропосферных задержек радиосигналов, которые используются для построений пространственных метеополей в технологиях NRTK(VRS). Виртуальная станция создаётся на расстоянии нескольких метров от полевого приёмника, поэтому алгоритм RTK игнорирует самостоятельное вычисление ионосферных и тропосферной поправок. Из-за меньшего количества неизвестных и, соответственно размера ковариационной матрицы фильтра Калмана, алгоритм работает более устойчиво, выше вероятность получения достоверного фиксированного решения в неблагоприятных условиях городской застройки или под густыми кронами деревьев.

Использование отечественной программной разработки ПроГео для обеспечения работы сервисов RTK на территории РФ имеет приоритетное значение. В последние годы было обнаружено значительное количество реестровых ошибок, обусловленных трудностями освоения зарубежных ГНСС технологий, недостаточной технической поддержкой компаний-производителей и дилеров на ранних этапах деятельности компаний-провайдеров сервиса. Устранение ошибок также, как и координация сервисов различных операторов и обеспечение их устойчивого развития на современном уровне являются задачами программного комплекса ПроГеоСеть. Техническая поддержка осуществляется квалифицированными специалистами.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ЦЕЛЯХ КРУПНОМАСШТАБНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И КАДАСТРА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

С. С. Нехин, А. Н. Рубенок, Н. М. Бабашкин,
ППК «Роскадастр», Москва, РФ

1 Общие положения

В свете Распоряжения Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р «Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации РФ на период до 2030 г. и на перспективу до 2035 г. и плана мероприятий по её реализации» отрасль беспилотной авиации рассматривается не только в разрезе рынка изготавливаемых беспилотных авиационных систем, но и рынка оказываемых с использованием беспилотных авиационных систем услуг. Структуру рынка беспилотной авиации в большей части формирует сектор оказания услуг с помощью беспилотных авиационных систем.

Национальный проект «Беспилотные авиационные системы» охватывает самые различные сферы разработки, внедрения и эксплуатации БАС и включает целый ряд федеральных проектов:

- «Стимулирование спроса на беспилотные авиационные системы»;
- «Стимулирование разработки и серийного производства беспилотных авиационных систем и комплектующих»;
- «Развитие инфраструктуры для эксплуатации беспилотных авиационных систем и обеспечение безопасности полётов»;
- «Повышение эффективности системы сертификации и стандартизации беспилотных авиационных систем»;
- «Кадры для беспилотных авиационных систем».

2 Задачи по расширению применения БАС в области картографирования и кадастра

На российском рынке работы в области картографирования и кадастра являются одними из значимых среди других видов работ, осуществляемых с помощью беспилотных авиационных систем (топографическое картографирование, кадастровая, контрольная (надзорная) деятельность в области использования земель). Их целью является создание новой конкурентоспособной на внутреннем и глобальном рынках отрасли российской экономики в секторе эксплуатации беспилотных авиационных систем для обеспечения потребите-

лей пространственной информацией и аналитическими сервисами.

Экономические факторы во многом ускоряют тенденцию перехода от пилотируемых систем к беспилотным, несмотря на меньшую производительность и относительную точность последних.

Одним из этих немаловажных факторов является общая стоимость затрат на закупку, содержание и эксплуатацию БВС, а также сокращение финансовых и временных затрат на подготовку операторов (внешних пилотов) и их работу. При этом беспилотные системы обладают большей оперативностью получения и использования пространственной информации по сравнению с пилотируемыми, особенно для ограниченных по площади объектов работ.

Устанавливаемое на БВС бортовое оборудование и ПО также требуют существенно меньших затрат на их закупку и обслуживание и более короткий срок их окупаемости. Поэтому ситуация постепенно меняется в сторону опережающего развития аэросъёмки с БВС, чему наряду с прогрессом в развитии этих систем способствует складывающаяся в стране сложная ситуация с сокращающимся количеством пилотируемых воздушных судов, используемых для АФС (критическое техническое состояние аэросъёмочного самолета АН-30 ФК, отсутствие возможности закупки импортных носителей и их комплектующих, прекращение сервисного обслуживания иностранными производителями воздушных судов, приостановка эксплуатации двухмоторных самолётов Л-410 до выяснения причин их катастроф).

С учётом осложнений в геополитической сфере, выражающихся в санкционных ограничениях прямых поставок высокотехнологичного оборудования и ПО, элементов компонентной базы, комплектующих и материалов, существенно ограничены или отсутствуют возможности трансфера зарубежных технологий. Все перечисленное усложняет реализацию бизнес-процессов отрасли беспилотной авиации. Вместе с тем, если рассматривать проблему широко (с учётом использования технологий и пилотируемой авиации) ситуация должна измениться в сторону опережающего развития технологий аэросъёмки с БВС.

Следует обратить внимание на то, что современные цифровые аэрофотокамеры, воздушные лазерные сканеры, другие системы, необходимые для оснащения БАС при аэрофотосъёмке, на настоящий момент отечественной промышленностью не производятся.

При этом планируемая потребность в БАС для целей картографирования и кадастра на ближайшие три года составляет более ста единиц для целей топографического картографирования и около четырёх сотен — для целей исправления реестровых ошибок и выполнения комплексных кадастровых работ.

Важными условиями и основными факторами, стимулирующими спрос на БАС, для их успешного внедрения и использования должны являться:

- повышение качества, надёжности, безопасности и гарантийного срока эксплуатации БВС;
- разработка и выпуск аэросъёмочного оборудования БАС отечественного производства на основе импортозамещения;
- изменения в законодательстве (Воздушный кодекс, СТГМ–90, Федеральные авиационные правила по использованию воздушного пространства и др.), благоприятствующие использованию БАС;
- частичная замена стареющего парка пилотируемой авиации, используемой для выполнения аэросъёмочных работ, беспилотными системами.

При этом успешное внедрение БАС в практическую деятельность во многом зависит от повышения надёжности и безопасности разрабатываемых БВС, о чём неоднократно указывалось при обсуждении федеральных проектов (протокол совещания у Первого заместителя Председателя Правительства Российской Федерации А.Р. Белоусова от 10 марта 2023 г.). В частности, мероприятия федеральных проектов должны предусматривать существенное повышение сроков гарантийной эксплуатации БВС (которые в настоящее время в большинстве случаев ограничиваются 70–100 полётами), что необходимо для гармонизации со сроками использования дорогостоящего бортового аэросъёмочного оборудования, сроки гарантийной эксплуатации которого составляют порядка 7 лет.

Для обеспечения надёжности и безопасности эксплуатации разрабатываемых БАС должны также предусматриваться меры их обязательного оснащения системой автоматического предупреждения столкновений («каждый видит всех, и все видят каждого»), помехоустойчивого ГНСС оборудования.

3 Оснащение БАС бортовым аэросъёмочным оборудованием на основе импортозамещения.

Для обеспечения технологического суверенитета в области топографической аэрофотосъёмки на базе беспилотных воздушных судов планируется постановка и выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, организация серийного производства целого ряда бортового оборудования и специализированного программного обеспечения:

- цифровых аэрофотокамер;
- воздушных лазерных сканеров;
- инерциальных систем и ГНСС-оборудования;
- бортового оборудования и специализированного программного обеспечения (транспондер, система предотвращения столкновений и др.);
- систем управления полетом;
- программного обеспечению обработки бортовых данных аэросъёмки.

Реализация импортозамещения должна выполняться на основе участия в кооперации с другими участниками рынка путём организации и производства отечественных БАС, бортового оборудования и ПО, включая:

- определение приоритетных направлений отечественных разработок оборудования и программного обеспечения;
- выработку предложений по техническим вопросам открытия отечественной линии создания и обслуживания приборного парка;
- создание новых и совершенствования существующих российских программных продуктов для основных направлений деятельности;
- обеспечение технологического суверенитета путём развития отечественных разработок на период до 2030 года в области бортового аэросъёмочного оборудования и программных продуктов автоматизированной фотограмметрической обработки на основе искусственного интеллекта (ИИ).

В таблице 1 приведены основные характеристики БВС лёгкого и среднего типа, необходимые для обеспечения решаемых производственных задач в области картографирования и кадастра.

В таблицах 2–4 приведены основные характеристики бортового оборудования для БВС лёгкого и среднего типа, необходимые для обеспечения производственных задач.

В таблице 5 приведены основные технические требования к программному обеспечению БАС лёгкого и среднего типа.

Таблица 1 — Основные характеристики БВС лёгкого и среднего типа

№ пп	Наименование характеристики БВС	Значение характеристики для БВС	
		Лёгкого типа	Среднего типа
1	Тип БВС	VTOL	VTOL
2	Тип двигателей	гибридный, электрический	гибридный, электрический
3	Максимальная полезная нагрузка	5 кг	30 кг
4	Максимальная взлётная масса	до 30 кг	85–100 кг
5	Максимальная высота полёта	не менее 3 000 м	не менее 5 000 м
6	Крейсерская скорость	60–120 км/ч	не менее 120 км/ч
7	Максимальное время полёта	6 ч	не менее 6 ч
8	Дальность действия радиоканала	не менее 100 км	не менее 200 км
9	Максимальный боковой ветер	до 12 м/с	до 15 м/с

Таблица 2 — Основные технические характеристики аэрофотокамеры

№ пп	Наименование характеристики камеры	Значение характеристики камеры для БВС	
		Лёгкого типа	Среднего типа
1	Класс аэрофотокамеры	малый формат	средний формат
2	Тип и размер сенсора	КМОП, 40–100 Мп	КМОП, не менее 100 Мп
3	Масса вместе с объективом	не более 1 кг	не более 4 кг
4	Размер пиксела	не более 6 мкм	не более 5 мкм
5	Разрядность изображения	12 бит	12 бит
6	Максимальная частота кадров	не менее 2 кадр/с	не менее 1 кадр/с
7	Устройство КСИ	опционно	имеется
8	Тип затвора	электронный или центральный механический	электронный
9	Тип бортовых накопителей	SSD/карта памяти SDX	SSD

Таблица 3 — Основные технические характеристики аэрофотокамеры

№ пп	Наименование характеристики камеры	Значение характеристики камеры для БВС	
		Лёгкого типа	Среднего типа
1	Класс аэрофотокамеры	малый формат	средний формат
2	Тип и размер сенсора	КМОП, 40–100 Мп	КМОП, не менее 100 Мп
3	Масса вместе с объективом	не более 1 кг	не более 4 кг
4	Размер пиксела	не более 6 мкм	не более 5 мкм
5	Разрядность изображения	12 бит	12 бит
6	Максимальная частота кадров	не менее 2 кадр/с	не менее 1 кадр/с
7	Устройство КСИ	опционно	имеется
8	Тип затвора	электронный или центральный механический	электронный
9	Тип бортовых накопителей	SSD/карта памяти SDX	SSD

Таблица 4 — Основные технические характеристики ГНСС/ИИУ

№ пп	Наименование характеристики ГНСС/ИИУ	Значение характеристики ГНСС/ИИУ для БВС	
		Лёгкого типа	Среднего типа
1	Тип инерциального устройства	волоконно-оптическое	электронно-оптическое
2	Мультисистемность ГНСС	ГЛОНАСС, GPS, BEIDOU, GALILEO	ГЛОНАСС, GPS, BEIDOU, GALILEO
3	Масса	не более 3 кг	30 кг
4	Точность позиционирования	0,05 @ 350 м	0,005 @ 150 м
5	Точность по крену и тангажу	0,01°	0,003°
6	Точность по курсу	0,02°	0,006°
7	Габариты (Д x Ш x В)	100 x 60 x 20 мм	120 x 115 x 150 мм
8	Объём внутренней памяти	не менее 64 Гб	не менее 64 Гб
9	Тип внешней памяти	SD Card	SD Card или SSD
10	Частота записи данных ИИУ	не менее 400 Гц	не менее 400 Гц

Таблица 5 — Основные технические требования к программному обеспечению БАС

№ пп	Основные технические требования к программному обеспечению БВС
1	Планирование съёмки
2	Выполнение съёмки
3	Копирование данных съёмки с бортовых носителей
4	Послеполётная обработка и контроль результатов съёмки:
4.1	Обработка ГНСС/ИНС-данных;
4.2	Расчёт и вывод облака ТЛО в формате LAS;
4.3	Уравнивание облаков ТЛО;
4.4	Отчёт контроля качества ТЛО;
4.5	Конвертация фотоснимков в формат TIF;
4.6	Радиометрическая коррекция фотоснимков;
4.7	Расчёт элементов внешнего ориентирования аэрофотоснимков.

4 Нормативное правовое и нормативно-техническое обеспечение внедрения БАС

4.1 Нормативное правовое регулирование

В настоящее время нормативное правовое регулирование отстаёт от современных требований, предъявляемых к эксплуатации БАС в части устранения или ограничения организационных барьеров.

Актуальными задачами, требующими оперативного решения, по мнению многих эксплуатантов БАС должны являться:

- исключение органов государственной власти и ведомств, включая ППК «Роскадастр», из списка субъектов геодезической деятельности, которым при выполнении авиационных работ в целях реше-

ния государственных задач необходимо проходить мероприятия по процедуре сертификации эксплуатанта БАС;

- упрощение процедуры выполнения мероприятий, связанных с установлением требований к оснащению БАС соответствующим оборудованием, в том числе средствами криптографической защиты информации, получаемой в результате дистанционного зондирования Земли, ввиду того, что эта информация не передается по каналам связи, а непосредственно записывается на бортовые накопители, защищенные от внешнего воздействия в процессе полета;

- упрощение мероприятий по осуществлению воздушной съёмки с БАС, касающихся:

- порядка получения разрешений на проведение воздушной съёмки и (или) других способов дистанционного зондирования земли с борта беспилотного воздушного судна, получения и использования результатов такого дистанционного зондирования земли;

- установления случаев, при которых для выполнения воздушной съёмки и (или) других способов дистанционного зондирования земли с борта беспилотного воздушного судна не требуется получения разрешений и при которых не обязательно прохождение процедуры «контрольного просмотра»;

- сокращения времени проведения мероприятий, ограничивающих использование цифровых пространственных данных, получаемых с применением беспилотных авиационных систем путём установления перечня территорий, отображение которых на фото-, видео- и иных материалах, получаемых в результате выполнения воздушной съёмки и (или) других способов дистанционного зондирования земли с борта беспилотного воздушного судна не требует прохождения процедуры контрольного просмотра и получения разрешений на проведение воздушной съёмки и (или) других способов дистанционного зондирования земли с борта беспилотного воздушного судна;

- упрощения процедуры согласования использования воздушного пространства при производстве работ по федеральным программам и в интересах государства.

В целях повышения эффективности применения БАС для топографической аэросъёмки необходимо обеспечить их постоянный неограниченный доступ к использованию воздушного пространства РФ за пределами прямой видимости (расстояние 400–600 км) и совершенствовать законодательство в области эксплуатации беспилотных авиационных систем физическими и юридическими лицами на предмет возможности введения уведомительного порядка аэросъёмочных полётов за 30–60 минут до их начала, а также в области использования и оборота материалов получаемых в результате выполнения воздушной съёмки и (или) других способов дистанционного зондирования земли в части повышения оперативности прохождения контрольного просмотра.

4.2 Обеспечение нормативно-техническими документами

Действующие национальные стандарты [1–3], а также подготовленный проект ГОСТ Р «Фототопография. Лазерное сканирование. Общие положения»

достаточно детально регламентируют требования для выполнения аэрофотосъёмки и воздушного лазерного сканирования с БВС в части: технических требований к аэрофотосъёмочной системе, её составу и техническим характеристикам; к проектированию аэросъёмки и её параметрам; к программно-аппаратному комплексу обработки материалов аэросъёмки; к фотографическому и фотограмметрическому качеству материалов аэрофотосъёмки и лазерного сканирования; к комплектности и оформлению материалов топографической аэросъёмки.

4.3 Использование средств измерений

Используемые в БАС ГНСС-система и система лазерного сканирования должны быть внесены в реестр средств измерений Росстандарта и проходить поверку в соответствии с [4]. Их метрологическое обеспечение осуществляется с использованием государственных рабочих эталонов, выбираемых в строгом соответствии с требованиями Государственной поверочной схемы для координатно-временных средств измерений и необходимым запасом метрологической точности.

Что касается необходимости поверок комплексов аэрофототопографических ПАК Геоскан Gemini и ПАК Геоскан 201, включённых в утверждённый список описания типа средства измерений, то изготовителю необходимо предусмотреть их сопровождение обязательными свидетельствами о первичной поверке с указанием спецификаций конкретных фотокамер и бортовых ГНСС-приемников. В противном случае они не должны рассматриваться в качестве средств измерений, т.к. необходимо полное соответствие в названии утвержденного описания типа средства измерений и названия изготавливаемой продукции.

5 Подготовка квалифицированных кадров

Реализация программы подготовки специалистов в области беспилотных авиационных систем базируется на системном интегрированном подходе на основе федерального проекта «Кадры для беспилотных авиационных систем». Участие большого числа организаций, осуществляющих образовательную деятельность, предполагает необходимость гармонизации и координации совместной деятельности, которая может быть реализована в части:

- разработки модулей по беспилотным авиационным системам с обеспечением их внедрения в образовательные программы высшего и среднего профессионального образования и соответствующие

дополнительные профессиональные программы, а также основные программы профессионального обучения;

- унифицированной подготовки внешних пилотов для БАС в любой образовательной организации, обладающей необходимой материальной базой по утверждённым Минтрансом России типовым программам подготовки внешних пилотов для БВС с массой менее 30 кг;

- создания регулярно обновляемого перечня профессий, навыков, профессиональных и образовательных стандартов, а также механизмов оценки и признания квалификаций в сфере эксплуатации беспилотных авиационных систем.

По экспертным оценкам спрос на кадры в отрасли беспилотной авиации может достичь миллиона специалистов в области разработки, производства и эксплуатации беспилотных авиационных систем к 2030 году. Из них большая часть — операторы беспилотных авиационных систем, руководители проектных команд, специалисты прикладных научно-производственных и технических направлений, специалисты по эксплуатации и обслуживанию беспилотных авиационных систем, а также внешние пилоты.

Для удовлетворения кадровых потребностей в области применения беспилотных авиационных систем помимо существующих программ высшего и среднего профессионального образования со сроком реализации 3–5 лет в ППК «Роскадастр» создаётся центр компетенций для реализации комплекса мер с целью повышения квалификации действующих работников Росреестра, а также переподготовки специалистов, уже обладающих прикладным опытом деятельности в области геодезии, картографии и кадастра.

Заключение

Совершенствование БВС для целей топографического картографирования и кадастра должно идти по пути:

- увеличения продолжительности полёта;
- повышения грузоподъёмности;
- увеличения гарантированного ресурса эксплуатации;
- повышения автономности и помехозащищённости.

Актуальной задачей является разработка и оснащение БВС отечественным бортовым оборудованием на основе импортозамещения, включая аэрофотокамеры среднего формата с системой управления полётом, компактного воздушного ла-

зерного сканера с инерциальной системой и ГНСС-оборудованием, программного обеспечения планирования, управления и обработки бортовых данных аэросъёмки с БВС.

Эффективное применение БАС в целях получения исходной пространственной информации для топографического картографирования и кадастра связано с актуальной задачей нормативно-технического обеспечения технологий их использования, в том числе нормирования временных и материальных затрат на технологические процессы работ [1–5].

Опережающими темпами должно развиваться нормативное правовое сопровождение внедрения и эксплуатации БАС, адаптированное к современным условиям в части устранения или ограничения организационных барьеров.

В условиях массового использования БАС на первый план выходят вопросы безопасности их эксплуатации, обусловленные как объективными факторами (отключение сигнала ГНСС), так и субъективными факторами, связанными с качеством подготовки внешних пилотов.

Важная роль при этом отводится подготовке квалифицированных кадров в области эксплуатации БАС, в том числе через повышение квалификации действующих работников Росреестра, а также переподготовки специалистов, уже обладающих прикладным опытом деятельности в области геодезии, картографии и кадастра.

Список литературы

1. ГОСТ Р 59328–2021 Аэрофотосъёмка топографическая. Технические требования.
2. ГОСТ Р 59562–2021 Съёмка аэрофототопографическая. Технические требования.
3. ГОСТ Р 70078–2022 Программно-аппаратный комплекс аэрофототопографической съёмки с использованием беспилотного воздушного судна. Технические требования.
4. Приказ Минпромторга от 31 июля 2020 г. №2510 «Об утверждении порядка проведения поверки средств измерений, требований к знаку поверки и содержанию свидетельства о поверке».
5. Nekhin S., Rubenok A., Kovrov A. Research on the Effectiveness of Lidar Survey for Large Mapping. In The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLVIII-1-2024, 529-534, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-1-2024-529-2024>, 2024.



ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ
ПО ИМУЩЕСТВУ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ



Національная акадэмія наук Беларусі



ОРГАНИЗАТОРЫ:



НАН
БЕЛАРУСИ



ГОСКОМИМУЩЕСТВО РБ



РОСКОСМОС



РАКУРС

ПРИ ПОДДЕРЖКЕ:

АГАТМ

ПРИ ИНФОРМАЦИОННОЙ ПОДДЕРЖКЕ:



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
ИНФОРМАЦИЯ
КОСМОС

НУЗ.С
НОВАЯ ОБОРОННАЯ ЗАКАЗ. СТРАТЕГИИ

ГЕОПРОФИ



ГЛОНАСС/ГНСС
Форум



<https://conf.racurs.ru/>
+7 495 720 51 27
conference@racurs.ru