Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное

учреждение высшего образования

«Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»

(ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»)

УДК 631.1

№ госрегистрации ААА-А17-117050510002-0

Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной деятельности

д.м.н., профессор

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ А. В. Кубышкин

«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ г.

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

**«**Развитие и трансфер технологий освоения ресурсов мирового океана, агробиотехнологий, биомедицинских технологий, технологий инновационного судостроения и цифровой навигации»: в части «программного обеспечения технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии эксплуатируемых участниками НОЦ виноградников и садов»

Руководитель НИР

Директор

Центра искусственного

интеллекта и анализа

больших данных

к.т.н., доцент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.А.Руденко

Симферополь 2022

**СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Руководитель НИР, директор, к-т тех. наук, доц. | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  подпись, дата | М.А. Руденко  (введение, заключение) |
| Исполнитель, специалист по управлению проектами  к-т геогр. наук | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  подпись, дата | В.О. Смирнов  (раздел 1-5) |
|  |  |  |
| Нормоконтроль | \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  подпись, дата | С.В. Пищаль |

**РЕФЕРАТ**

Отчет 52 с., 25 источн.

ТЕХНОЛОГИЯ, МОНИТОРИНГ, ЦИФРОВИЗАЦИЯ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, БЕСПИЛОТНЫЕ ВОЗДУШНЫЕ СУДА, САДЫ, ВИНОГРАДНИКИ, РЕСПУБЛИК КРЫМ

В рамках исследования проведена разработка технического задания для технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ, включая разработку описания технологии и обоснование принимаемых при разработке технических решений в части автоматической предварительной обработки собранных данных с применением специализированного программного обеспечения.

**СОДЕРЖАНИЕ**

[ВВЕДЕНИЕ 7](#_Toc120762584)

[1 Аналитический обзор существующих методов, способов и алгоритмов сбора, обработки, хранения, представления и использования цифровых данных о состоянии сельскохозяйственных объектов беспилотными авиационными системами 10](#_Toc120762585)

[2 Разработка общих требований к технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ 13](#_Toc120762586)

[2.1 Разработка требований к аппаратным средствам и средствам связи в составе БАК аэромониторинга 13](#_Toc120762587)

[2.2 Разработка требований к вычислительным средствам в составе БАК аэромониторинга, обеспечивающим предварительную обработку собранных цифровых данных 20](#_Toc120762588)

[2.3 Разрабатываемая программа мониторинга и технология регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ 21](#_Toc120762589)

[2.4 Ограничения, определяемые техническими характеристиками применяемых для реализации технологии аппаратных и вычислительных средств. 24](#_Toc120762590)

[2.5 Временные ограничения в получении результатов мониторинга садов и виноградников участников НОЦ 25](#_Toc120762591)

[2.6 Постановка задач для БВС ВВП, контроль и приемка услуг производится в соответствии с «Инструкцией о порядке контроля и приемки геодезических работ, топографических и картографических работ» ГНИНП (Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила)-17-004-99. 26](#_Toc120762592)

[3 Разработка требований к программному обеспечению технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии эксплуатируемых участниками НОЦ виноградников и садов 28](#_Toc120762593)

[3.1 Разработка требований к ПО, предназначенному для управления БАК аэромониторинга и его составными частями и системами при осуществлении сбора данных о состоянии виноградников и садов 28](#_Toc120762594)

[3.2.Разработка требований к ПО, предназначенному для предварительной обработки собранных данных 30](#_Toc120762595)

[3.2.1 Базовая оболочка программы 30](#_Toc120762596)

[3.2.2 Модуль первичной обработки аэрофотоснимков и создания ортофотопланов 31](#_Toc120762597)

[3.2.3 Геоинформационный модуль 33](#_Toc120762598)

[3.2.4 Модуль визуализации данных (демонстрационный модуль) 38](#_Toc120762599)

[3.2.5 Мобильная версия ПО 38](#_Toc120762600)

[4 Разработка критериев сравнения применимости и оптимальности различных методов сбора данных и алгоритмов предварительной обработки данных. 43](#_Toc120762601)

[4.1 Разработка критериев сравнения применимости и оптимальности методов сбора данных и алгоритмов предварительной обработки данных для последующей разработки ПО агромониторинга виноградников и садов 43](#_Toc120762602)

[4.2 Оценка и обоснование практической применимости разработанных критериев 44](#_Toc120762603)

[5 Технико-экономическая оценка ожидаемых эффектов от внедрения разрабатываемой технологии предприятиями – участниками НОЦ 47](#_Toc120762604)

[ЗАКЛЮЧЕНИЕ 49](#_Toc120762605)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 50](#_Toc120762606)

**ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ**

В настоящем отчете о НИР применяют следующие сокращения и обозначения:

|  |  |
| --- | --- |
| НОЦ | – научно образовательный центр |
| БВС | – беспилотные воздушные суда |
| БВС ВВП | – беспилотные воздушные суда вертикального взлета и посадки |
| БПЛА | – беспилотные летательные аппараты |
| БАК | – беспилотный авиационный комплекс |
| БАС | – беспилотная авиационная система |
| ЦМР | – цифровая модель рельефа территории |
| ОФП | – ортофотоплан |
| АСУ | – автоматизированными системами управления |
| ПДУ | – пункт дистанционного управления |

# **ВВЕДЕНИЕ**

Анализ материалов современных исследований в области применения беспилотных авиационных систем для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий на сегодня является устоявшимся трендом в цифровизации сельского хозяйства, что соответствует национальным приоритетам развития данной отрасли экономики.

Для условий Республики Крым данные исследования особо актуальны, так как на территории угодий участников НОЦ данные технологии применены не в полной мере и используются на сегодня только в научно-исследовательском формате в опытных хозяйствах.

Цель исследования состоит в разработке технического задания для технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ, включая разработку описания технологии и обоснование принимаемых при разработке технических решений в части автоматической предварительной обработки собранных данных с применением специализированного программного обеспечения.

Задачи исследования:

– Аналитический обзор существующих методов, способов и алгоритмов сбора, обработки, хранения, представления и использования цифровых данных о состоянии сельскохозяйственных объектов беспилотными авиационными системами.

– Разработка общих требований к технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ.

– Разработка требований к аппаратным средствам и средствам связи в составе БАК аэромониторинга.

– Разработка требований к вычислительным средствам в составе БАК аэромониторинга, обеспечивающим предварительную обработку собранных цифровых данных

– Ограничения, определяемые техническими характеристиками применяемых для реализации технологии аппаратных и вычислительных средств.

– Разработка требований к программному обеспечению технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии эксплуатируемых участниками НОЦ виноградников и садов,

– Разработка требований к ПО, предназначенному для управления БАК аэромониторинга и его составными частями и системами при осуществлении сбора данных о состоянии виноградников и садов

– Разработка требований к ПО, предназначенному для предварительной обработки собранных данных

– Разработка критериев сравнения применимости и оптимальности различных методов сбора данных и алгоритмов предварительной обработки данных.

– Разработка критериев сравнения применимости и оптимальности методов сбора данных и алгоритмов предварительной обработки данных для последующей разработки ПО агромониторинга виноградников и садов

– Оценка и обоснование практической применимости разработанных критериев

– Технико–экономическая оценка ожидаемых эффектов от внедрения разрабатываемой технологии предприятиями – участниками НОЦ.

Объектом исследования выступает технология мониторинга культуры садов и виноградников участников НОЦ с использованием наилучших доступных технологий дистанционного мониторинга.

Предметом исследования выступает разработка требований к специализированному программному обеспечению, применяемому для сбора и предварительной обработки цифровых данных о состоянии виноградников и садов.

Новизна исследования состоит в разработке проекта ТЗ на выполнение ОКР по созданию опытного образца программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего реализацию разработанной технологии в части автоматической предварительной обработки собранных данных с применением специализированного программного обеспечения.

# 1 Аналитический обзор существующих методов, способов и алгоритмов сбора, обработки, хранения, представления и использования цифровых данных о состоянии сельскохозяйственных объектов беспилотными авиационными системами

Анализ материалов современных исследований в области применения беспилотных авиационных систем для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий на сегодня является устоявшимся трендом в цифровизации сельского хозяйства, что соответствует национальным приоритетам развития данной отрасли экономики.

Анализ наукометрических баз результатов современных научных исследований по проблематике дистанционного мониторинга сельскохозяйственных угодий показывает достаточно большое количество исследований. Наиболее интересные и близкие к проблематике нашего исследования работы приведены в следующих публикациях [7]-[25].

Кроме того, в правовом поле Российской Федерации сформированы необходимые стандарты отрасли и правовые нормы применения технологий цифровизации сельскохозяйственного производства [1]–[6], [24], [25].

Данные исследования доказывают достаточную эффективность и перспективность применения беспилотных авиационных систем для целей мониторинга сельскохозяйственного производства.

Кроме того, произведенный обзор современных направлений исследований по данной проблематике, а, так же исследования авторов в данной сфере [21]–[23], позволяет выявить следующие три перспективные в ближайшие годы направления исследований:

1) Регионализация и адаптация общих методик и алгоритмов применения БАС в сельском хозяйстве для конкретных условий природопользования каждого региона со всей совокупностью природно-географических, социально-экономических и агропороизводственных условий.

2) Адаптация общих методик и алгоритмов применения БАС в сельском хозяйстве для конкретных типов угодий, например, садов или виноградников, пахотных угодий, орошаемых угодий и т.д., в плоть до особенностей ведения производства каждого конкретного хозяйства.

3) Разработка уникальных цифровых технологий для автоматизации процесса регулярного автоматического сбора, хранения, обработки и представления данных о состоянии сельскохозяйственных угодий на основании наилучших доступных геоинформационных технологий, технологий управления и обслуживания БАС.

Рассматриваемая нами тематика исследований, как раз затрагивает каждое из данных направлений, что подтверждает актуальность и новизну исследований, его соответствие современным тенденциям в данной отрасли. Кроме того, объект исследований является четко обозначенным, что подтверждает практическую значимость исследования для конкретного сельскохозяйственного производителя.

Рассмотрение задела в сфере методов, способов и алгоритмов сбора, обработки, хранения, представления и использования цифровых данных о состоянии сельскохозяйственных объектов беспилотными авиационными системами для непосредственно территории Республики Крым и агропроизводственной зоны расположения садов и виноградников участников НОЦ показывает широкий спектр задач и открытых вопросов по проблематике.

Определенные исследования в области цифровизации сельскохозяйственного производства, в том числе для территории садов и виноградников в Республике Крым проведены сотрудниками Крымского федерального университета им. В. И. Вернадского, на примере угодий собственного опытного хозяйства, являющегося так же участником НОЦ [21]–[23].

На сегодня, разнообразие доступных для исследования БАС и программных геоинформационных систем не так уж и велико, что определяет необходимость разработки новых технологических решений и программного обеспечения, имеющего возможность адаптация под задачи конкретного хозяйственного комплекса и конкретных природных условий региона работ.

В рамка анализа существующих подходов и практики разработки программного обеспечения возможно определить, что в большинстве случаев для каждого звена системы мониторинга угодий используются разные программные комплексы.

То есть для управления БПЛА используется отдельное программное обеспечение производителя дрона, для обработки ортофотопланов используется отдельные программы иных производителей, для геоинформационной обработки данных используются третьи геоинформационные программы, а для предоставления данных конкретному потребителю четвертая группа программ, для использования доступных пользователям с общими компетенциями в данной сфере.

В большинстве случаев для использования каждой из групп программ требуются специалисты с профильными компетенциями, а степень автоматизации процессов передачи данных между каждой из групп программ часто является не достаточной, что затрудняет работы и предоставление данных, снижает уровень оперативности и актуальности данных для потенциального потребителя.

Проведенный аналитический обзор существующих методов, способов и алгоритмов сбора, обработки, хранения, представления и использования цифровых данных о состоянии сельскохозяйственных объектов беспилотными авиационными системами показывает высокую актуальность и перспективность исследований в данном направлении.

Для условий Республики Крым данные исследования особо актуальны, так как на территории угодий участников НОЦ данные технологии применены не в полной мере и используются на сегодня только в научно-исследовательском формате в опытных хозяйствах.

# 2 Разработка общих требований к технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ

## 2.1 Разработка требований к аппаратным средствам и средствам связи в составе БАК аэромониторинга

Разработка требований к аппаратным средствам и средствам связи в составе БАК аэромониторинга включает:

– требования к аэросъемочной аппаратуре и постобработке данных;

– требования к осуществлению полетов и типы БВС;

– требования к средствам связи в составе БАК.

Детализация каждого из блоков имеет следующие параметры.

Требования к аэросъемочной аппаратуре и постобработке данных содержат одиннадцать пунктов:

1) Аэросъемочная аппаратура должна иметь заводскую радиометрическую и геометрическую калибровку, подтвержденную соответствующим сертификатом калибровки. Кроме того, в ходе эксплуатации камеры и фотограмметрической обработки аэрофотоснимков с помощью специального программного комплекса должна быть выполнена радиометрическая и фотограмметрическая калибровка камеры силами специалистов эксплуатирующей организации.

2) При выполнении аэрофотосъёмочных работ должна быть выполнена геодезическая привязка данных цифровой аэрофотосъемки и с использованием спутниковых наблюдений с применением сетей дифференциальных геодезических станций, отчет о создании которых внесен в Федеральный фонд пространственных данных.

3) Аэросъемочная аппаратура должна обеспечивать получение цифровых цветных аэрофотоснимков с характеристиками:

– разрешение пикселя на местности не более 7 см в надире с допуском +/-15%;

– фокусное расстояние объективов Fк=20 мм;

– динамический диапазон цветного снимка 12 бит;

– значение дисторсии объектива должно быть в пределах всего поля кадра не более 4 мкм;

– поперечное перекрытие аэрофотоснимков не менее 60%±3% и продольное перекрытие не менее 40%±3%.

4) Аэросъемочная аппаратура должна обеспечивать компенсацию оптического сдвига («смаза») изображения, как вследствие линейного перемещения, так и вследствие его угловых колебаний.

5) Маршруты должны соответствовать оси объектов съемки, должны быть параллельны между собой.

6) Не прямолинейность съёмочных маршрутов, определяемых как отношение стрелки прогиба к длине маршрута, должна быть не более 2 %.

7) Аэрофотосъемка должна выполняться только в ясные безоблачные дни в часы, когда количество бликов и теней минимально и при высоте Солнца более 20 градусов.

8) Значения продольного и поперечного перекрытия снимков должны обеспечивать выполнение фототриангуляции.

9) Должна быть выполнена постобработка материалов цифровой аэрофотосъемки, включающая:

– получение цветных цифровых аэрофотоснимков с внесенными исправлениями за геометрические искажения;

– выполнение цветокоррекции;

– компенсацию дисторсии объектива;

– получение снимков с тоновым диапазоном 8 bit;

– расчет нормализованного детерминированного вегетационного индекса.

10) Фотографическое качество цифровых аэрофотоснимков должно соответствовать требованиям «Основных положений по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов» (ГКИНП (Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила)-09-32-80.

11) Требования к сменным модулям целевой нагрузки:

– модуль с гиростабилизированной оптико-электронной системой дневного диапазона работы с уровнем стабилизации не более 300 микрорад, позволяющим получить устойчивое высококачественное изображение при крене БЛА ±45°, а также поворот ТВ-средств на углы от +75° до минус 45° и по крену в пределах ±175° с наличием цветной ТВ-камеры с CCD– матрицей (не менее 450 ТВЛ (вертикальные телевизионные линии) и объектива с 10–ти кратным оптическим увеличением;

– модуль для получения фотоснимков и видеосъемки с наличием цифрового фотоаппарата, содержащего матрицу не менее 11 млн. пикселей. При этом отснятые фотокадры должны сохраняться на карте памяти и быть привязаны к данным телеметрии, а также наличием цветной ТВ-камеры для предварительного обзора местности в интересующем направлении с разрешением не менее 420 ТВЛ;

– мультиспектральная камера: разрешение 8 см/пикс на высоте 120 м; наличие датчика света (автоматически выравнивает все спектральные диапазоны); типы спектров: Blue, green, red, red edge, near-infrared; фото RGB 3.4 Мпикс; форматы изображений 12-бит RAW. Фотоаппарат: разрешение 24 Мпикс; матрица ASP-C; шторно-щелевой затвор; объектив 20 м; в комплекте с картами памяти 64 GB х2 SD; поддержка ГНСС;

– унифицированная быстросъемная камера ЦН Z-16F3NIR – фотоаппараты. Фронтальное съемное устройство для БВС самолетного типа состоящее из: Фотоаппарат Тип 1: разрешение 24 Мп; матрица ASP-C; шторно-щелевой затвор; объектив 20 мм. поддержка ГНСС. Фотоаппарат Тип 2: фильтр NIR; разрешение 24 Мп; матрица ASP-C; шторно-щелевой затвор; объектив 20 мм;

– гиростабилизированная оптико-электронная система с Full HD видеокамерой + цифровая фотокамера Sony DSX-RX1 на сервоприводе + гиростабилизированная оптико-электронная система с тепловизором 640\*480 + GSM/GPS маяк + мультиспектральная камера на базе Sony α5000).

Требования к осуществлению полетов и типы БВС, включают пятнадцать пунктов:

1) Комплектующие элементы БАК должны соответствовать существующим ГОСТам и носить унифицированный характер;

2) Условия применения каждого конкретного образца БВС ВВП должны оговариваться в техническом задании на его разработку и изготовление, приобретение;

3) Должна быть обеспечена возможность взаимозаменяемости деталей иностранных образцов БВС на аналогичные российского производства;

4) Средний срок службы – не менее 60 месяцев;

5) Ресурс до капитального ремонта:

– для серийных образцов – не менее 2000 м/ч (мото/часов);

– для оригинальных образцов – не менее 500 м/ч (не включая ресурс, отработанный при проведении испытаний образца);

6) Срок сохраняемости – не менее 60 месяцев;

7) Среднее время на восстановление работоспособности – не более 48 часов;

8) Классификация применяемых БВС должна соответствовать положениями «Концепции применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами государственной авиации на период до 2030 года», согласованной и утвержденной руководителями МО РФ, ФСБ, МЧС, МВД России в 2013 году комплексы с беспилотными летательными;

9) Наиболее целесообразным является применение следующих классов БВС:

– По глубине применения БЛА:

а) малой дальности – с радиусом действия до 250 км;

б) ближнего действия – с радиусом действия до 100 км;

– По взлетной массе БЛА:

а) малый класс – до 30 кг;

б) мини класса – до 1 кг;

– По аэродинамической схеме компоновки БЛА:

вертолетного типа;

10) Применение БВС ВВП (беспилотных вертолетов (мультикоптеров) наиболее целесообразно для выполнения узкопрофильных задач проекта: детальной съемки виноградников и садов, мониторинга угодий осмотра отдельных элементов садов и виноградников, отдельных угодий, координации действий по охране объектов с передачей информации в реальном масштабе времени на пункт управления;

11) Оснащение комплексами с БЛА ближнего действия и малой дальности должна включать возможность установки различной целевой нагрузки: видеокамеры оптического, мультиспектрального и инфракрасного диапазонов необходимого разрешения, тепловизоров, запись и передача потокового видео;

12) Средства наземного обеспечения пусков и эксплуатации БЛА могут быть представлены -наземный пункт дистанционного управления БЛА – в стационарном (мобильном) варианте, портативные (индивидуальные) терминалы, обеспечивающие прием информации от БЛА в реальном масштабе времени и обеспечивающие возможность приема информации с борта БЛА на удалении от основной станции управления и передачи ее заинтересованному потребителю;

13) Обязательным требованием для своевременного и качественного выполнения задач проекта является ее мобильность и способность выполнять пуски БЛА из любого требуемого района;

14) Максимально возможная унификация процессов обслуживания комплексов, а также обучения персонала; наличие программно-аппаратных средств, мобильность и транспортабельность; использование отечественных комплектующих, при необходимости – с регламентированным использованием импортных, с возможностью их последующей замены на отечественные; оснащение бортовым оборудованием спутниковой навигации и наблюдения типа ГЛОНАСС и др.;

15) Техническое исполнение системы питания БЛА должно обеспечивать не менее 2-2,5 часов работы.

Требования к средствам связи в составе БАК, представляют из себя следующие одиннадцать пунктов:

1) При выполнении аэрофотосъемки должно использоваться GPS/ГЛОНАСС оборудование. Наличие спутниковой навигационной системы (GPS/ГЛОНАСС) с инерциальной коррекцией для определения значений текущих координат, скорости, высоты, ускорения беспилотного воздушного судна (БВС) и выдачи информации оператору на наземную станцию управления (НСУ). Точность определения координат при приеме сигнала от 12 спутников - до 5 метров. Возможность работы без станции наземного слежения (СНС);

2) Беспилотное воздушное судно (БВС) должно выполнять автономный полет по заданному маршруту, состоящему из массива географических или относительных координат (точек) в полностью автоматическом режиме без участия оператора в том числе и за пределами прямой и радиовидимости, а также в случае потери связи с наземной станцией управления (НСУ);

3) Планово-высотная подготовка аэрофотоснимков должна быть осуществлена в соответствии с требованиями «Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов» (ГКИМП (Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила)-02-036—02);

4) Технические средства управления и видеонаблюдения должны обеспечивать бесперебойную работу БАК в любое время суток с возможностью корректировки и настройки каналов управления и видеонаблюдения;

5) Дистанционное управление должно обеспечиваться при помощи систем радиоуправления и видеонаблюдения с возможностью объединения в единый пункт управления;

6) Система управления должна обладать необходимой защитой от помех и излучений и обеспечивать заявленные показатели дальности управления в любых условиях обстановки и обеспечивать дальность радиоуправления – не менее 10000 м;

7) Предельно допустимое состояние работоспособности радиоэлектронных устройств должно исходить из условия не превышения предельно допустимого значения плотности потока электромагнитного или ионизирующего излучения согласно требованиям стандартов, предъявляемых к данному типу устройств;

8) Конструктивные и радиотехнические особенности БАК должны исключать ошибочные действия персонала при эксплуатации и обслуживании БВС и отказ систем блокировки оборудования при сбоях в работе;

9) Обеспечение полной информационно-технической совместимости с системами связи и автоматизированными системами управления (АСУ) мониторинга с необходимой производительностью и разрешением на местности с передачей информации на пункт дистанционного управления (ПДУ) в реальном режиме времени в условиях прямой видимости на удалении не менее 10 км от ПДУ;

10) Межкомплексная совместимость в части обработки информации, обеспечиваемая применением унифицированных протоколов обмена данными, технических средств и программно-алгоритмического обеспечения, единых с системой управления принципов построения системы связи и передачи данных; открытая архитектура, модульность (блочность) построения (в т.ч. применение унифицированных модулей полезной нагрузки, предусматривающая возможность их замены, ремонта и модернизации в ходе эксплуатации);

11) Использование высокоскоростных (с большой пропускной способностью), широкополосных, помехоустойчивых каналов связи для передачи данных и приема команд управления.

## 2.2 Разработка требований к вычислительным средствам в составе БАК аэромониторинга, обеспечивающим предварительную обработку собранных цифровых данных

Требований к вычислительным средствам в составе БАК аэромониторинга, обеспечивающим предварительную обработку собранных цифровых данных включают использование наилучших доступных высокопроизводительных элементов и состоят в минимальном и достаточном варианте из следующих шести составляющих:

1) Для приема, обработки получаемой от комплексов с БВС больших объемов информации и доведения ее до потребителей в масштабе времени, близком к реальному, создается центр сбора и обработки информации, обеспеченные производительным компьютерным оборудованием;

2) В центре управления оборудованием создаются автоматизированные рабочие места управления БВС и целевой(полезной) нагрузкой, автоматизированной (автоматической) обработки получаемой информации; аппаратура обмена данными с БВС (в том числе, сбора информации от целевой (полезной) нагрузки БЛА); аппаратура сопряжения с АСУ, системами связи;

3) В состав общего и системного программного обеспечения комплекса должны входить операционные системы наземной станции управления, программные средства приема, обработки и отображения информации, программные средства собственной специализированной разработки в зависимости от задач системы мониторинга садов и виноградников участников НОЦ. Допускается применение ОС «Windows» и ОС «Linux»;

4) Минимальный и достаточный состав оборудования, следующий:

– Рабочая станция для обработки результатов фотометрической съемки на базе платформы CityLine Asus (или эквивалент);

– Сервер CityLine (80 Тб) на базе платформы Intel в комплекте с мышью и клавиатурой (или эквивалент) в составе 10 единиц;

5) Высокопроизводительные ноутбуки: не ниже процессор IntelCore i7 (или эквивалент); ОЗУ с объемом памяти не менее 16 Гб, видеокарта не менее 16 Гб, жесткий диск с объемом памяти не менее 1000 Гб; лицензионная операционная система; степень защиты не ниже IP 54; лицензионная антивирусная программа;

6) Необходимым так является наличие топогеодезического оборудования профессионального класса, например: GNSS приемник SP Proflex 800 CORS (приемник, антенна, кабель антенный 30м), GNSS приемник SP 80 (приемник + штатив SJW60+ триггер с оптическим центриром AL12D + адаптер треггера AL-3), Программное обеспечение SPSO complite (или аналоги превышающие параметры данных устройств).

## 2.3 Разрабатываемая программа мониторинга и технология регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ

Разрабатываемая программа мониторинга реализует технологию, состоящую из следующих этапов.

Этап 1. Аэрофотосъемка территории виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ по всей площади с высоким разрешением снимков (5-10 см на пиксел):

1) Создание ортофотоплана обозначенной территории в масштабе 1:2000 в соответствии с Федеральным законом от 30.12.2015 № 431-ФЗ (ред. от 03.08.2018) «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» с пространственным разрешением не хуже 10 см/пикс. в системе координат СК-63 зона X5;

2) Создание ортофотоплана ключевых участков территории по выбору заказчика в масштабе 1:2000 с пространственным разрешением не хуже 5 см/пикс. в системе координат СК-63 зона X5. Выбор участков производится после анализа и обработки материалов ортофотоплана всей обозначенной территории разрешением не хуже 5 см/пикс;

3) Формирование картографических материалов (векторные слои, формат .shp). Создание на основе данных слоев картографического материала М 1:2000 и М 1:10000 для обозначенной территории;

4) Дешифрирование снимка и создание на его основе топогеодезической съемки в масштабе 1:500 с возможностью использования в геоинформационных системах и современных САПР (форматы .shp, .dwg, .dfx)

Примечание — В обязательном порядке съемка осуществляется в активные фазы вегетации (летний период с июня по июль).

В качестве опциональной осуществляется съемка в зимний период при отсутствии листового аппарата.

Этап 2. Осуществление регулярных мониторинговых полетов с привязкой к агросрокам, ходу вегетации и ухода за культурой, агрооперациям:

1) Регулярные полеты осуществляются в обязательном порядке при мониторинге культуры винограда в следующие агросроки: завязь почки, формирование листового аппарата по периодам, учет всех фаз цветения, завязи плода, формирования и созревания плода, сбора урожая, окончательных фаз вегетации;

2) Регулярные полеты осуществляются в обязательном порядке при мониторинге культуры винограда до, при проведении и после следующих агроопераций: технологическая обработка почвы по периодам, внесение удобрений и средств химизации, обрезка насаждений на разных этапах ухода за садами, оценка и подсчет урожайности, сбор урожая;

3) Регулярные полеты осуществляются в обязательном порядке при мониторинге культуры плодового сада в следующие агросроки: завязь почки, формирование листового аппарата по периодам, учет всех фаз цветения, завязи плода, формирования и созревания плода, сбора урожая, окончательных фаз вегетации;

3) Регулярные полеты осуществляются в обязательном порядке при мониторинге культуры плодового сада до, при проведении и после следующих агроопераций: технологическая обработка почвы по периодам, внесение удобрений и средств химизации, обрезка насаждений на разных этапах ухода за садами, оценка и подсчет урожайности, сбор урожая;

4) Осуществление полетов с целью охраны угодий и нарушения границ. Периодичность согласовывается с каждым конкретным пользователем в зависимости от площади угодий, степени физической охраны. В условиях зоны работ особый акцент на охрану производится в период зрелости урожая и его сбора;

5) Общее количество регулярных мониторинговых полетов с привязкой к агросрокам, ходу вегетации и ухода за культурой, агрооперациям по опыту проведения подобного мониторинга может достигать 50-80 раз.

Этап 3. Осуществление не регулярных мониторинговых полетов.

Не регулярные мониторинговые полеты должны осуществляться в двух случаях:

1) После наступления неблагоприятных метеорологических условий в течении всего года с целью мониторинга культуры.

В условия Республики Крым и природно-климатической зоны расположения садов и виноградников участников НОЦ к таковым относятся (засуха, штор и ураганный ветер, высокие скорости ветра (более 15 м/с, град, интенсивные осадки, с превышением многолетней нормы, как за длительный, так и долгосрочный период, заморозки, резкие понижения температур, засухи)

Анализ многолетних данных наблюдения метеорологической сети показывает, что в течении календарного года происходит не менее 50-60 факто обозначенных явлений.

Следовательно, количество полетов с целью оценки данных явлений должно быть соответствующим;

2) Неблагоприятные экологические явления, связанные с загрязнением окружающей среды по компонентам ландшафтов.

В случае выявления фактов загрязнения почвенного покрова, выявленного загрязнения атмосферного воздуха периодичного и нерегулярного характера необходимы постфакторные полеты для оценки влияния на состояние угодий.

Мониторинг таких процессов и явлений, как линейная эрозия, увлажнение почвы, замусоривание угодий сорняками осуществляется в постоянном режиме с целью выявления динамики процессов.

По опыту проведения подобного мониторинга может достигать 5-10 раз в год.

## 2.4 Ограничения, определяемые техническими характеристиками применяемых для реализации технологии аппаратных и вычислительных средств.

Ограничения, определяемые техническими характеристиками применяемых для реализации технологии аппаратных и вычислительных средств достаточно разнообразны и включают следующие пункты:

– нормативные требования относительно организации полетов БВС и режимов осуществления полетов, бесполетных зон и пр.;

– нормативные требования относительно государственной тайны при сборе, хранении и анализе данных аэрофотосъемки;

– ограничения, определяемые техническими характеристиками результатов дистанционного зондирования с использованием БВС и построением ортофотопланов территории.

Опыт проведения мониторинга садов и виноградников с использованием БВС непосредственно в агропроизводственной зоне расположения садов и виноградников участников НОЦ в Предгорной зоне Крыма и юной приморской части Равнинного Крыма в районе русел рек Альма, Кача, Бодрак, Бельбек позволяет сформировать эмпирические данный о «весе» получаемых ортофотопланов.

Так средний вес ортофотоплана разрешением ячейки 5 см/пиксел для площади 100 га составляет 23-25 Гб.

Учитывая, что обобщенная площадь садов и виноградников участников НОЦ может достигать 10000 га, то общий вес ортофотопланов одного периода съемки может достигать 2300 – 2500 Гб (2,3-2,5 Тб).

Также учитывая, что мониторинг с учетом требования данных культур требует не менее 120-130 раз построения ортофотоплана в год, общая накопленная масса растров может достигать 276000 – 325000 Гб (276-325 Тб).

В связи с эти требуются достаточно большие серверные мощности для работы системы, работы по настройке быстрого доступа к файлам растровых данных (для данной площади число файлов может достигать 5000-7000, что требует работ по их четкой пространственной систематизации), а также разработку алгоритмов удаления и/или архивации излишней и устаревшей пространственной информации.

Аналогичная ситуация состоит и с видеомониторингом угодий, где видеофайлы с достаточным разрешением могут достигать за 10-20 минут съемки до 5-10 Гб.

## 2.5 Временные ограничения в получении результатов мониторинга садов и виноградников участников НОЦ

Опыт использования БВС ВВП (на примере одного из распространенных бортов на сегодня Геоскан 401) показывает, что для мониторинга 100 га площадей виноградников и садов в разрешении 2 см/пиксел требуется до 3 мото-часов работы и при разрешении 5 см/пиксел требуется до 1 мото-часа.

Таким образом для покрытия площади садов и виноградников участников НОЦ для одного раза мониторинга необходимо затратить до 10000 мото-часов или 1250 смен работы бригады БПЛА.

Это обусловлено сложностью рельефа территории и необходимостью существенного перекрытия снимков, сложностью полетных условий, ветра, рельефа, плотности хозяйственных объектов и растительности.

При этом память большинства камер БВС составляет не более 100 Гб, что так же вызывает необходимость «перезарядки» карт памяти.

Учитывая это, разработка системы автоматической посадки, перезарядки аккумуляторов и считывания данных существенно оптимизирует и ускоряет процесс мониторинга, рассматриваемых угодий.

## 2.6 Постановка задач для БВС ВВП, контроль и приемка услуг производится в соответствии с «Инструкцией о порядке контроля и приемки геодезических работ, топографических и картографических работ» ГНИНП (Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила)-17-004-99.

Услуга должна быть оказана в соответствии с требованиями следующей нормативно-технической документации:

– “Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500”, Москва, «Недра», 1982 год;

– “Инструкция по производству маркшейдерских работ“ РД 07-603-03 2003 год;

– “СН и П 11-02-96 “Инженерные изыскания для строительства”;

– СП 11-104-97 “Инженерно-геодезические изыскания для строительства”. Части I, II, III.

– ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 “Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС И GPS”, Москва, ЦНИИГАиК, 2002 год;

– “Условные знаки для топографических планов масштабов 1:500, 1:1000, 1:2000, 1:5000”, М. Недра 1989 год;

– ГКИНП (ГНТА)-17-004-99 “Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ”, Москва, ЦНИИГАиК, 2000 год;

– Временная инструкция по обследованию и восстановлению пунктов и знаков государственной геодезической и нивелирной сетей СССР. М., РИО ВТС, 1978 год;

– Инструкции по составлению технических отчетов о геодезических, астрономических, гравиметрических и топографических работах. ГУГК, 1971.

– Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. ГКИНП (ГНТА) 17-195-99. М., ЦНИИГАиК, 1997 год.

# 3 Разработка требований к программному обеспечению технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии эксплуатируемых участниками НОЦ виноградников и садов

## 3.1 Разработка требований к ПО, предназначенному для управления БАК аэромониторинга и его составными частями и системами при осуществлении сбора данных о состоянии виноградников и садов

Требования к ПО, предназначенному для управления БАК аэромониторинга и его составными частями и системами при осуществлении сбора данных о состоянии виноградников и садов включают три основных пункта:

1) Программное обеспечение должно обеспечивать процесс построения программы полетов и возможность корректировки программы полетов для следующих задач:

- осуществление сплошной аэрофотосъемки территории садов и виноградников на площади всех угодий данного типа участников НОЦ с целью получения детальных ортофотопланов с разных высот и разной детальности 2-20 см на пиксель;

- осуществление полетов на низких высотах (от 5 м) над рядами садов и виноградников с возможностью фото и видеофиксации;

- осуществление полетов в рядах садов и виноградников с перпендикулярным расположением целевой нагрузки для фиксации вертикального профиля куста/дерева;

- осуществление полетов над рядами садов и виноградников с расположением целевой нагрузки под 30, 45, 60 град. для фиксации вертикального/горизонтального и общего профиля куста/дерева;

2) Программное обеспечение должно обеспечивать:

– Возможность корректировки и построения полетных заданий для множественного количества БВС, работающих одновременно в одном районе работ, одновременно над конкретным объектом (садом/виноградников) при крупных (100-500 га) и небольших площадях (10-100 га) равных и различных высотах эшелонов полетов в диапазоне 5 – 50 – 500 м;

– Возможность автоматической корректировки полетного задания при работе БВС в автономном режиме в случае использования в системе мониторинга иных малых БВС в ручном режиме управления (БВС не имеющие возможности построения полетного задания);

– Возможность автоматического и автоматизированного управления БЛА и его целевой нагрузкой; возможность изменения маршрута и профиля полета БВС при нахождении в воздухе при появлении оперативной необходимости корректировки программы мониторинга;

– Взаимная идентификация БВС и ПДУ комплексов, работающих в одной зоне применения; автоматический (автоматизированный) взлет и посадка (возвращение в район посадки) БЛА; обеспечение рационального сочетания автоматического (программного) и автоматизированного (с участием человека) управления БЛА и его целевой нагрузкой;

– Оснащение сертифицированным по требованиям безопасности информации базовым и специальным программным обеспечением; обеспечение возможности защиты телеметрической информации, циркулирующей в комплексах с БЛА;

– Наличие программного обеспечения, позволяющего управлять БЛА не только в ручном режиме, но и задавать полетное задание на выполнение работ с возможностью автономного функционирования с помощью средств спутниковой навигационной системы типа ГЛОНАСС;

– Возможность построения, планирования и корректировки полетного задания с использованием данных автоматических метеостанций, планируемых к использованию на территории садов и виноградников участников НОЦ при организации сплошной сети локального и регионального метеорологического мониторинга.

Данные мероприятия позволят корректировать реальные условия полетов БВС, а также осуществлять мониторинг после наступления неблагоприятных метеорологических условий с целью оценки последствий из влияния на состояние культур;

3) Программное обеспечение должно учитывать:

– Возможность корректировки полетного задания и прекращения в случае наступления или прогноза не благоприятных метеорологических условий по данным сети автономного локального метеорологического мониторинга угодий;

– Возможность разработки полетных заданий для БВС в условиях сложного рельефа, прежде всего в Предгорной части Крыма при наличии куэстообразных форм рельефа, каньонов, с учетом специфики ветрового режима горно-долинных ветров и бризовой циркуляции, существенно изменяющихся во времени в течении кратких интервалов.

## 3.2 Разработка требований к ПО, предназначенному для предварительной обработки собранных данных

Программное обеспечение, предназначенное для предварительной обработки собранных данных должно реализовывать наилучшие доступные технологии хранения, систематизации, обработки, визуализации пространственно-дифференцированных данных о агроэкологическом состоянии садов и виноградников, участников НОЦ.

Программное обеспечение, предназначенное для предварительной обработки собранных данных, должно включать в себя следующие модули:

### 3.2.1 Базовая оболочка программы

Базовая оболочка программы реализуется на основе работы геосервера.

Геосервер предназначен для публикации пространственно-дифференцированных данных о состоянии объекта исследований из любого источника данных на открытых стандартах. Геосервер должен иметь возможность реализации несколько протоколов Открытого геопространственного консорциума (OGC), включая Web Map Service (WMS), Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS) и Web Map Tile Service (WMTS). Существуют дополнительные расширения для Catalogue Service (CSW) и Web Processing Service (WPS).

Интерфейс администрирования должен позволять легко настраивать Геосервер. После входа в систему должно предоставляться меню для навигации по интерфейсу.

Меню навигации должно иметь минимальный и достаточный для работы ПО набор инструментов в составе следующих функций:

1) Меню «Инфо» и статус содержит технические подробности запущенного экземпляра Геосервера;

2) Меню «Данные» используется для настройки источников данных и оформления;

3) Меню «Службы» предназначен для настройки веб-служб;

4) Меню «Настройки» отвечает за коммуникацию для всех служб настройки (т.е. для всего сервера);

5) Меню «Кэширование файлов» позволяет настраивать внутренний кэш файлов;

6) Меню «Безопасность» позволяет настраивать доступ (аутентификация и авторизация);

7) В меню «Демо» приведены примеры использования веб-служб и построителя запросов для помощи в создании и первичной визуализации данных.

Состав меню геосервера может быть дополнен в рамках разработки ПО по результатам научно и конструкторской деятельности, а, так же по результатам апробации работы ПО.

### 3.2.2 Модуль первичной обработки аэрофотоснимков и создания ортофотопланов

Модуль осуществляет фотограмметрическую обработку данных БПЛА и создание ортофотопланов.

Модуль позволяет фотограмметрически корректировать изображения с БПЛА, спутников, цифровой фотографии и отсканированных аэрофотоснимков для удаления геометрических искажений, вызванные сенсором, платформой, рельефом, подгонкой границ и цветовым балансом полученного ортоизображения. Эти изображения можно использовать для создания следующих продуктов ортокартографирования:

– Ортотрансформированные наборы данных изображений;

– Ортомозаики, которые хранятся в файловых форматах TIFF или CRF.

Цифровые модели местности (ЦММ) и цифровые модели поверхности (ЦМП), которые хранятся в форматах файлов .tiff или .crf

Ортотрансформированный набор данных мозаики может быть опубликован как динамический сервис изображений или кэшированный сервис изображений, либо его можно использовать для создания следующих продуктов: Листов изображений, Сцен с ортоизображениями.

Опыт использования и обработки данных БПЛА показывает, что наиболее оптимальным уровнем перекрытия снимков является 40-45%.

Общие требования к выполнению работ по созданию ортофотопланов:

– Для создания ортофотопланов масштаба 1:1000 используются материалы выполненной цифровой аэрофотосъемки. Работы по созданию ортофотопланов выполняются в соответствие с требованиями «Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов» ГКИНП (Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила) -02-036-02, Москва, 2002г.;

– Площадь каждого планшета ортофотоплана должна быть заполнена фотоизображением;

– Ортофотопланы масштаба 1:1000 – 1:2000, в местной системе координат (СК-63 хона Х5), в разграфке, принятой в Госкомрегистре;

– Ортофотопланы масштаба 1:1000 имеют общегосударственную (международную) разграфку;

– Точность определения плановых координат и высот опорных точек должна соответствовать требованиям «Инструкции по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 «ГКИНП (Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила) – 02-033 – 082»;

– Точность построения сетей пространственной фототриангуляции на всех этапах должна соответствовать требованиям «Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов» ГКИНП (Геодезические, картографические инструкции, нормы и правила) – 02-036-02;

– Ортофотопланы монтируют по трансформационным точкам и по знакам. Аэроснимки укладываются помаршрутно на каждый номенклатурный лист, затем выполняют порезы аэроснимков вдоль продольных и поперечных перекрытий, одновременно проверяют сходимость четких контуров. После этого окончательно оформляют ортофотоплан в пределах номенклатурного листа (планшета) в системах координат СК-42 и СК-63 хона Х5;

– Ортофотопланы с файлами зарамочного оформления представляются Заказчику на электронных носителях. Тип электронного носителя – по согласованию.

### 3.2.3 Геоинформационный модуль

Геоинформационный модуль разрабатывается на основе наилучших свободно распространяемых геоинформационных технологий и представляет собой кроссплатформенную геоинформационную систему состоящую и настольной, мобильной и серверной части.

«Настольная ГИС» предназначена для создания, редактирования, визуализации и публикации пространственно-дифференцированных данных.

«Серверная ГИС» предназначена для публикации проектов, разработанных при помощи настольной ГИС и должна быть совместима с базовой оболочкой ПО (геосервер, см. пункт 1) через сервисы, совместимые с OGC-стандартами (например, WMS и WFS).

Геоинформационный модуль работает в Windows и Linux.

Модуль может быть адаптирован к особым потребностям с помощью расширяемой архитектуры модулей, используя язык программирования Python.

Для эффективной и минимально достаточной работы ПО геоинформационный модуль должен включать следующие инструменты:

1) Графический интерфейс для анализа пространственных данных и компоновки карт:

Представляет собой модуль графического интерфейса, в котором можно создавать карты и анализировать пространственные данные. Графический интерфейс в минимальном и достаточном варианте включает следующие меню:

- перепроецирование «слоев проекта»;

- пространственная привязка растров (ортофотопланов, космических снимков, данных радиоэлектронного зондирования);

- компоновщик карт;

- панель обзора;

- определение/выборка объектов;

- редактирование/просмотр/поиск атрибутов;

- подписывание объектов;

- изменение символики векторных и растровых слоёв;

- добавление к макету карты легенды, стрелки на север, линейки масштаба и знака авторского права, графических данных в формате .tiff, .jpg, .dmp;

- сохранение и загрузка проектов.

Обязательно для территории и условий Республики Крым должны быть реализованы возможности перепроецирование пространственно-дифференцированных данных в следующих проекциях:

– Система координат проекта (EPSG:7829 - Pulkovo 1942 / CS63 zone X5)

– Система координат проекта (EPSG:7829 - Pulkovo 1942 / CS63 zone X4)

– Система координат слоя (EPSG:32636, WGS 84 / UTM zone 36N)

– Система координат слоя EPSG:32636 - WGS

Состав данных проекций является минимальным и достаточным для работы на территории Республики Крым;

2 Управление данными: создание, редактирование и экспорт пространственно-дифференцированных данных

Данный блок должен позволять создавать и редактировать векторные данные, а также экспортировать их в разные форматы.

Минимально достаточными являются форматы: .shp, .kml, .jpx, .kmz, .dwg, .dxf

Для обеспечения возможности редактировать и экспортировать в другие форматы растровые данные, необходимо обеспечить поддержку таких форрматов, как geotiff, tiff, jpg, bmp.

Для эффективной оцифровки данных должны быть обеспечены следующие возможности работы с данными:

- инструменты оцифровки для форматов, поддерживаемых библиотекой и векторных слоёв в виде точки линии, полигона;

- создание и редактирование shape-файлов и векторных слоёв;

- геокодирование изображений с помощью модуля пространственной привязки;

- инструменты gps для импорта и экспорта данных в формате gpx, скачивание/загрузка непосредственно в прибор GPS;

- визуализация и редактирование данных OpenStreetMap

- управление атрибутами векторных данных с помощью новой таблицы атрибутов;

3) Анализ данных:

Блок анализа данных предназначен для работы с конкретными параметрами садов и виноградников, выявления их агроэкологического состояниям в составе показателей, обозначенных ниже в перечне параметров мониторинга.

Блок должен позволять анализировать векторные и растровые пространственные данные и давать возможность использовать инструменты анализа, выборки, геопроцессинга, управления геометрией и базами данных.

На основе выбранного языка программирования должны быть разработаны инструменты (отдельные модули), которые включают в себя необходимую и достаточную функциональность:

– «Переклассификация» - Переклассифицирует (или изменяет) значения ячеек входного растра. Позволяет редактировать и выбрать поле переклассификации для создания новой классификации, выбрать и удалить записи перекодировки и вручную добавить новые значения, выбрать опции уникальных значений или классификации для создания новой переклассификации, создает новый растр при помощи перекодировки на основе значений другого поля в таблице атрибутов входного растра;

– «Обработка растра» - вырезает часть набора растровых данных, набора данных мозаики или слоя сервиса изображений, разбивает набор растровых данных на меньшие элементы – листами или полигональными объектами, совмещает метаданные изображения и высотные данные для точной привязки изображений, позволяет изменить пространственное разрешение набора растровых данных и задайте правила для агрегирования или интерполирования значений на новые размеры пикселей;

– «Интерполяция» - осуществляет интерполяцию точечных и линейных данных, результирующая сглаженная поверхность проходит непосредственно через входные точки. Интерполирует поверхность растра на основании значений точек с использованием двухмерного метода сплайна с минимизацией кривизны;

– «Конвертация» - конвертирует набор растровых данных в полигональные, линейные точечные пространственные объекты, конвертирует полигональные пространственные объекты в набор растровых данных;

– «Экспозиция» - извлекает экспозицию склонов из растровой поверхности. Экспозиция определяет направление уклона максимальной скорости изменения значений от каждой ячейки до соседних с ней ячеек. Экспозиция может рассматриваться как направление уклона. Значения выходного растра представляют компасные направления экспозиции;

– «Уклон»- определяет уклон (градиент, или скорость максимального изменения значения z) для каждой ячейки поверхности растра;

– «Цифровая модель рельефа» - создает и конвертирует цифровую модель рельефа (DEM) в набор растровых данных;

– «Экспорт в САПР» - создает один или несколько чертежей САПР (CAD) на основе значений, содержащихся в одном или нескольких входных классах пространственных объектов, или векторных слоях, и поддерживаемых таблицах;

– «Зональная геометрия» - Вычисляет для каждой зоны в наборе данных определенную геометрическую характеристику (площадь, периметр, толщину либо характеристики эллипса);

– «Плотность» - вычисляет количество на единицу площади (плотность) точечных или полилинейных объектов, используя функцию ядра для пригонки плавно сужающейся поверхности к каждой точке или по линии;

– «Калькулятор растра» - строит и выполняет выражение Алгебры карт с использованием синтаксиса Python в интерфейсе, подобном калькулятору;

– «Статистика» - Вычисляет суммарную статистику для полей в таблице, выбирает записи таблицы, соответствующие запросу SQL, и экспортирует их в выходную таблицу;

– «Буфер» - Создает буферные полигоны вокруг входных объектов для заданного расстояния;

– «NDVI» - производит расчет индекса NDVI;

– «Модуль почвенной гидрологии» - позволяет определять пространственные параметры бассейнов поверхностного и подземного стока, линий стока, дивергенции и конвергенции стока.

Состав меню геоинформационного модуля может быть дополнен в рамках разработки ПО по результатам научно и конструкторской деятельности, а, так же по результатам апробации работы ПО.

### 3.2.4 Модуль визуализации данных (демонстрационный модуль)

Модуль позволяет экспортировать пространственные данные в Web-Гис и Web-карту.

Минимальными и достаточными функциями для объекта исследований при создании демонстрационных страниц выступают следующие функции:

- всплывающие поля, когда каждое поле будет помечено во всплывающих окнах;

- выбор слоя, который будет виден при загрузке карты.

- кодирование в JSON и в локальный файл GeoJSON, удалите ненужных пробелов из экспортированного GeoJSON, чтобы уменьшить размер файла

- общие параметры, экспорт данных, папка экспорта, папка, в которой будет сохранена веб-карта, отображение местоположения библиотеки

- инструменты для быстрого анализа: точность, масштабирование/зумирование, измерение площади и расстояния, поиск по атрибутам

- инструменты редактирования: добавить поле, позволяющее осуществлять поиск местоположений (геокод), добавить список слоев, включить список слоев (по возможности со значками условных обозначений)

- геолокация пользователя - показать местоположение пользователя на карте

- выделение - выделить при наведении курсора, поиск по слою, добавить опцию для поиска значений в значениях полей слоя.

### 3.2.5 Мобильная версия ПО

Мобильная версия ПО должна иметь:

– базовые инструменты для визуализации данных геосерсвера,

– базовые инструменты для пространственного запроса;

– инструмент для работы с пространственными базами данных;

– модуль геолокации.

Мобильная версия ПО должна позволять в полевых условиях строит маршруты к конкретным объектам садов и виноградников и в полевых условиях вносить данные о состоянии объекта в пространственные базы данных размещенные на гоесервере.

В мобильное приложение может быть интегрирован «Помощник агронома»: ведение "полевого журнала", где можно будет по каждому полю вносить информацию - данные агрохимобследования почвы, дозы и сроки внесенных удобрений, гербицидов и др. средств защиты, посевной данные, севообороты, систему обработки почвы и др.; строить аналитику по использованию машинно-тракторного парка, эффективности земледелия и др.

3.2.5.1 Параметры, подлежащие мониторингу ПО

В условиях Республики Крым и агропроизводственной зоны расположения садов и виноградников участников НОЦ программное обеспечение, качество разрешения ортофотопланов и их дешифрирования в ручном и полу автоматическом режиме должно обеспечивать возможность мониторинга следующих параметров.

3.2.5.1.1 Агороэкологическое состояние угодий

– Развитие неблагоприятных экзогенных геолого-геоморфологических процессов (линейная эрозия, дефляция) (разрешение снимка: 10 см/пиксел);

– почвенно-эдафических процессов (нарушение почвенного покрова, дегумификация, засоление) (разрешение снимка: 10-20 см/пиксел);

– почвенно-гидрологических процессов (подтопление участков угодий, появление корки на участках угодий, излишнее иссушение почвы) (разрешение снимка: 10-20 см/пиксел);

– замусоривание культур сорняками (разрешение снимка:5-10 см/пиксел).

3.2.5.1.2 Заболевание культур

Для каждого конкретного типа угодий, зоны расположения, применяемых сортов и схем ухода за культурой набор заболеваний может быть различен, равно как и присутствуют типовые наборы заболеваний и вредителей.

Состав данных объектов для мониторинга должен быть определен в рамках консультаций с конкретными должностными лицами и агрономами, осуществляющими управления данными угодьями. Учитывая это разрешение снимка может быть сверхмалым 1-2 см/пиксел и достаточно масштабным 10-20 см/пиксел.

3.2.5.1.3 Повреждение культур:

При мониторинге культуры винограда и плодового сада возможным является несколько типов повреждения культуры: вредители, механические повреждения по причинам неблагоприятных метеорологических условий, повреждение культуры при проведении агроопераций, вредительство и несанкционированный доступ.

Состав данных объектов для мониторинга должен быть определен в рамках консультаций с конкретными должностными лицами и агрономами, осуществляющими управления данными угодьями. Учитывая это разрешение снимка может быть сверхмалым 1-2 см/пиксел и достаточно масштабным 10-20 см/пиксел.

3.2.5.1.4 Качество проведения агороопераций

3.2.5.1.4.1 Качество проведения обработки почвы (разрешение снимка:5-10 см/пиксел)

– Отвальная сплошная подготовка почвы при закладке садов и виноградников (разрешение снимка: 5-10 см/пиксел);

– Полуплантажная зяблевая вспашка при закладке садов и виноградников (разрешение снимка:25-10 см/пиксел);

– Перепашка полуплантажа (разрешение снимка: 2-5см/пиксел);

– Содержание почвы по системе чистого черного пара (разрешение снимка:5-10 см/пиксел)

– Дискование междурядий на глубину (разрешение снимка:3-5 см/пиксел);

– Обработка почвы в рядах между растениями на глубину 8-10 см (разрешение снимка: 3-5 см/пиксел);

– Чизельное рыхление междурядий поздней осенью перед уходом культур в зиму на глубину 30-35 см для улучшения водопроницаемости почвы, улучшения усвоения осенне-зимне-ранневесенних осадков (разрешение снимка: 3-5 см/пиксел);

– Безотвальная перепашка междурядий (разрешение снимка: 3-5 см/пиксел).

3.2.5.1.4.2 Качество ухода за культурой плодового сада

1) Уход за деревом:

- Формирование кроны (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

- Обрезка кроны деревьев, соответствующая году года вегетации (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

- Удаление корневой поросли (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

- Подвязка к шпалере (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

- Побелка саженцев (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

2) Эффективность системы внесения минеральных удобрений.

Частота мониторинга и внесения удобрений зависит от схемы ухода применяемом в каждом конкретном хозяйстве.

Мониторинг эффективности мероприятия осуществляется по данным состояния листового аппарата дерева

Данная процедура осуществляется за счет дешифрирования ортофотоснимков и анализа видеосъемки с БПЛА при пролете в междурядье с наклоном камеры 45-180 град;

3) Эффективность борьбы с вредителями

Частота мониторинга и внесения удобрений зависит от схемы ухода применяемом в каждом конкретном хозяйстве

Мониторинг эффективности мероприятия осуществляется по данным состояния листового аппарата дерева

Данная процедура осуществляется за счет дешифрирования ортофотоснимков и анализа видеосъемки с БПЛА при пролете в междурядье с наклоном камеры 45-180 град.

3.2.5.1.4.3 Качество ухода за культурой винограда

– Обрезка (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

– Удаление корневой поросли (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

– Подвязка к шпалере (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел);

– Состояния подвоя и привоя (разрешение снимка: 2-5 см/пиксел).

3.2.5.1.4.4 Прогноз и оценка урожайности:

Определение количества, размера, массы урожая в пределах куста/дерева (разрешение снимка: 2-10 см/пиксел).

Под ручным режимом дешифрирование данных подразумевается оцифровка соответствующих зон гис-специалистом в оболочке программы

Под полу автоматическим режимом подразумевается оцифровка зон на основе анализа каналов снимка с использование модулей ПО, на основании баз данных цветовых каталогов.

В рамках мониторинга садов и виноградников участников НОЦ необходимым является разработка и наполнение данных каталогов по мере выявления обозначенных явлений и процессов.

Возможность видеофиксации является важным и обязательным пунктом мониторинга каждого из обозначенных пунктов.

# 4 Разработка критериев сравнения применимости и оптимальности различных методов сбора данных и алгоритмов предварительной обработки данных.

## 4.1 Разработка критериев сравнения применимости и оптимальности методов сбора данных и алгоритмов предварительной обработки данных для последующей разработки ПО агромониторинга виноградников и садов

Критерий сравнения применимости и оптимальности методов сбора данных и алгоритмов предварительной обработки данных для последующей разработки ПО агромониторинга виноградников и садов участников НОЦ следующие:

– Сравнение данных дистанционного зондирования и с данными полевых исследований территории;

– Сравнение данных мониторинга БВС с данными космического мониторинга;

– Сравнения аналитических данных с данными хозяйственной, бухгалтерской отчетности хозяйства о урожайности и эффективности агроопераций;

– Важное значение имеет выбор оптимального разрешения аэрофотосъемки, режимов полетов для идентификации каждого из изложенных выше показателей мониторинга садов и виноградников;

– Критерием применимости и оптимальности технологии выступает ее оптимизация в части снижения затрат на мониторинг, усовершенствования эффективности полетов, снижение времени на обработку информации, которые должны происходить в рамках апробации системы и ПО.

## 4.2 Оценка и обоснование практической применимости разработанных критериев

Практическая применимость разработанных критериев и технологий позволит сформировать следующие актуальны результаты апробации и применение технологии:

- Составляется проект высотной привязки, определяются высоты всех точек аэроснимка в заданной системе высот и создается цифровая модель рельефа для создания ортофотопланов.

- Формирование цифровой модели рельефа территории и цифровизация всей пространственной системы природопользования садов и виноградников участников НОЦ.

- комплект топогеодезической съемки территории угодий на основании дешифрирования ортофотоплана;

- Комплект аналитических карта-схем современного состояния и интенсивности использования угодий выполняется в масштабе 1:1000 на основании данных аэрофотосъемки (АФС), создания цифровых ортофотопланов (ОФП), цифровой модели рельефа (ЦМР) с использованием современных научных методов пространственно-территориального анализа агроландшафтов, индикации современного состояния, типов и интенсивности использования угодий, определения эколого-хозяйственного баланса территорий.

- Комплект картографических материалов представляется Заказчику на электронных носителях. Тип электронного носителя – по согласованию.

В состав результатов входит:

– Данные топографо-геодезической изученности территории;

– Координаты и высоты исходных пунктов государственной геодезической и межевой сети в местной системе координат СК-63 зона X5.

Результаты должны быть следующие:

– АФС – площадь 10 км2.

– ОФП масштаба 1:1000 – 1:2000 с пространственным разрешением не хуже 10 см/пикс. в системе координат СК-63 зона X5 – площадь 10 км2, протяженность 10 км.

– Цифровая модель рельефа в системе координат СК-63 зона X5, балтийская система высот – площадь 10 км2, протяженность 158,8 км.

– Результаты мониторинга:

Аналитические карта-схемы современного состояния и интенсивности использования угодий в масштабе 1:1000 -1:2000.

В состав материалов входят восемнадцать параметры:

1) рельеф (поймы, террасы, прилегающие склоны и другие формы рельефа, уклоны и экспозиции поверхности);

2) построение микробассейнов поверхностного стока;

3) построение направлений линий стока;

4) построение длин линий стока;

5) идентификация временных водотоков;

6) выявление территорий в пределах 200 метровой зоны, входящих и не входящих в состав водосборных поверхностей, формирующих сток рек, а, следовательно, и оказывающих влияние на формирование качества вод;

7) Эрозионные процессы (густота эрозионной сети);

8) Площади залуженных участков;

9) Площади участков под кустарниковой растительностью*;*

10) Площади участков под древесной и древесно-кустарниковой растительностью;

11) Площади участков под сельскохозяйственным угодьям по типам угодий;

12) Площади водоохранных и стокорегулирующих лесных полос;

13) Характеристика, использования земель, распаханность территории по каждому типу сельскохозяйственных угодий;

14) Типов использования сельскохозяйственных угодий;

15) Интенсивность использования сельскохозяйственных угодий;

16) Выявление не используемых сельскохозяйственных угодий;

17) Индикация и выявление негативных экзогенных геолого-геоморфологических и почвенных процессов;

18) Интегральная карта-схема эколого-хозяйственного баланса территорий.

# 5 Технико-экономическая оценка ожидаемых эффектов от внедрения разрабатываемой технологии предприятиями – участниками НОЦ

Технико-экономическая оценка ожидаемых эффектов от внедрения разрабатываемой технологии предприятиями – участниками НОЦ исходит из следующих трех положений:

1) Для всей территории садов, виноградников и хозяйственных зон участников НОЦ будут получены детальные ортофотопланы территории, на основе которых может быть построена топогеодезическая съемка территории в масштабе 1:500, которая может использоваться при проектировании новых угодий и сравнения состояния угодий относительно изначальных проектных решений.

При этом результаты съемки будут актуальны, так как предусматривается крайне детальный мониторинг.

По состоянию на сегодня стоимость получения ортофотоплана для 1 га территории с разрешением 5 см/пиксел составляет около 500 р. и около 600 р. за обработку ортофотопланов. Таким образом общая стоимость работ будет составлять до 1100 руб./га.

Таким образом стоимость получения ортофотоплана на общую площадь угодий участников НОЦ в районе 10000 га будет составлять 11.000.000 руб.

Средняя стоимость топогеодезических работ по построению топогеодезической съемки с использованием наземных приборов в Республике Крым на сегодня составляет до 15.000 руб за гектар.

Таким образом топосъемка выполненная классическим методом для данной площади по стоимости составит 150.000.000 руб.

Данные суммы могут составить уровень экономии в проекте для участников НОЦ;

2) На сегодня мониторинг состояния угодий и учет состояния каждого растения в большинстве виноградарских и садоводческих хозяйств Крыма осуществляется за счет использования ручного труда и фактического обхода угодий рабочими виноградарских и садоводческих бригад.

При этом специалисты агроному в штате хозяйства представлены от1 до 3 ставок и, учитывая временные затраты далеко не всегда посещают все угодья полностью.

В целом рабочий бригады при учете состояния кустов винограда или деревьев в саду обходит до 5 га в рабочую смену.

Т.е. для единоразового мониторинга 10000 га площади садов и виноградников участников НОЦ потребуется до 2000 смен или 83,3 месяца работы. При средней зарплате рабочих в 30.000 руб. Стоимость единоразового мониторинга всех угодий составит 2.520.000 только зарплатного фонда.

При необходимости мониторинга угодий до 130 раз в год зарплатный фонд может составить 327.600.000 руб.

При этом далеко не всегда будут задействованы специалисты должного уровня подготовки и компетенций.

Данные затраты так же могут быть нивелированы и снижены за счет применения дистанционных методов;

3) В случае эффективной организации системы мониторинга в хозяйствах участниках НОЦ может быть сформирована выгода за счет повышения урожайности культур, снижения затрат на обслуживание угодий, повышения качества работ, снижения заболеваемости растений, предупреждения и повреждения и т.д., что так же составляет весомую долю в технико-экономической оценка ожидаемых эффектов от внедрения разрабатываемой технологии предприятиями – участниками НОЦ. Однако для фатического денежного выражения требует эмпирического опыта исследований и производственной деятельности с использованием рассматриваемых технологий в период от 3 до 5 лет.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполнения научно-исследовательской работы сформировано техническое задания для разработки технологии регулярного автоматического сбора цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ, включая разработку описания технологии и обоснование принимаемых при разработке технических решений в части автоматической предварительной обработки собранных данных с применением специализированного программного обеспечения.

Произведена разработка требований к специализированному программному обеспечению, применяемому для сбора и предварительной обработки цифровых данных о состоянии виноградников и садов.

Так же осуществлена разработка проекта ТЗ на выполнение ОКР по созданию опытного образца программно-аппаратного комплекса, обеспечивающего реализацию разработанной технологии в части автоматической предварительной обработки собранных данных с применением специализированного программного обеспечения.

Основное содержание работы и новизна состоит в следующем:

В рамках работы должны быть проведены исследования, результаты которых предназначены для последующей разработки и проведения испытаний программного обеспечения в составе опытного образца программно – аппаратного комплекса, обеспечивающего автоматический сбор и предварительную (первичную) обработку цифровых данных о состоянии виноградников и садов, эксплуатируемых участниками НОЦ.

Разрабатываемая технология предназначена для оптимизации затрат компаний – участников НОЦ на осуществление наблюдения за хозяйственно значимыми состояниями виноградников и садов.

Научно-технический уровень выполненной НИОКР соответствует лучшими достижениями в данной области и для территории Республик Крым производится впервые.

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Нормативно-правовые источники:

1. ГОСТ Р 51606-2000. Карты цифровые топографические. Система классификации и кодирования цифровой картографической информации. Общие требования [Электронный ресурс]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200008087
2. ГОСТ Р 52055-2003. Геоинформационное картографирование. Пространственные модели местности. Общие требования [Текст]. - СПб. : Ин-т телекоммуникаций, 2003. - 46 а
3. ГОСТ Р 52155-2003. Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования [Текст]. - СПб. : Ин-т телекоммуникаций, 2003. - 40
4. ГОСТ Р 52438-2005. Географические информационные системы. Термины и определения [Электронный ресурс]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044680
5. ГОСТ Р 52439-2005. Модели местности цифровые. Каталог объектов местности. Требования к составу [Электронный ресурс]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044727
6. ГОСТ Р 52440-2005. Модели местности цифровые. Общие требования [Электронный ресурс]. — URL: https://docs.cntd.ru/document/1200044676

Основные источники:

1. Андреева Л.И., Михайлова Л.В. Использование передовых технологий в сельском хозяйстве. В сборнике: Технологические новации как фактор устойчивого и эффективного развития современного агропромышленного комплекса. Материалы Национальной научно-практической конференции. 2020. С. 35-41.
2. Балкаров Р.А., Балкаров А.Р. Эффективность использования передовых технологий в сельском хозяйстве. В сборнике: Сборник научных трудов XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения академика Андрея Дмитриевича Сахарова. Нальчик, 2021. С. 78-82.
3. Смирнов И.Г., Курбанов Р.К., Марченко Л.А., Горшков Д.М. Дифференцированная обработка сельхозугодий с помощью БПЛА Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2019. № 4 (37). С. 30-35.
4. Хабарина Д.С., Тишанинов И.А. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного типа в сельском хозяйстве. Наука без границ. 2021. № 4 (56). С. 78-83.
5. Белик В.В. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в аграрном производстве.В сборнике: Молодежь и XXI век - 2021. Материалы XI Международной молодежной научной конференции. В 6-ти томах. Отв. редактор М.С. Разумов. Курск, 2021. С. 5-21-26.
6. Менщикова А.А., Ерёмин Д.И. Роль беспилотных летательных аппаратов при агрохимическом обследовании полей. В сборнике: Актуальны вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения. Сборник материалов LV Студенческой научно-практической конференции. 2021. С. 368-372.
7. Анисаров И.С. История и современное состояние применения БПЛА в мировом сельском хозяйстве. В сборнике: Перспективные технологии в современном АПК России: традиции и инновации. 2021. С. 118-123.
8. Зубарев Ю.Н., Фомин Д.С., Заболотнова М.В., Нечунаев М.А. Цифровизация защиты растений. Материалы Международной научно-практической конференции. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». 2021. С. 216-222.
9. Жигалов А.А., Иващук О.А., Маслаков Ю.Н., Гайворонский В.А., Константинов И.С. Методы неинвазивного экомониторинга состояния живых объектов сельскохозяйственного производства на основе технического зрения. В сборнике: Оптико-электронные приборы и устройства в системах распознавания образов и обработки изображений. Материалы XVI Международной научно-технической конференции. Редколлегия: С.Г. Емельянов, В.С. Титов (отв. ред.) [и др.]. Курск, 2021. С. 118-120.
10. Жигалов А.А., Жукова В.И., Маслаков Ю.Н. Методы неинвазивного экомониторинга состояния живых объектов сельскохозяйственного производства. В сборнике: Актуальные вопросы современной науки и образования. Сборник статей XIX Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Пенза, 2022. С. 107-110.
11. Артемьева Е.Н., Мелентьев А.А. Цифровизация сельского хозяйства. В книге: Горинские чтения. Инновационные решения для АПК. Материалы Международной студенческой научной конференции. 2021. С. 130.
12. Сергеева В.А., Мелентьев А.А., Богачева Л.А. Организация данных в ГИС для сельского хозяйства. В сборнике: Практический опыт и перспективы цифровых технологий в растениеводстве. Сборник докладов научно-производственной конференции. 2021. С. 14-16.
13. Ширяев А.В., Борисенко Г.О. Прогнозирование урожайности с использованием индекса NDVI. В сборнике: Практический опыт и перспективы использования цифровых технологий в растениеводстве. Сборник докладов научно-производственной конференции. 2021. С. 23-24.
14. Запара Я.Ю., Мелентьев А.А., Прокопенко В.А. Формирование государственных информационных ресурсов о землях сельскохозяйственного назначения. В сборнике: Практический опыт и перспективы использования цифровых технологий в растениеводстве. Сборник докладов научно-производственной конференции. 2021. С. 47-49.
15. Smirnov V.O., Sergeev M. A, Emelianova N. S. Digitalization for remote monitoring to sustainable development of agrarian areas at V.I. Vernadsky Crimean Federal University // XIV International Conference "Space and Biosphere" (Space and Biosphere 2021). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 853 (2021) 012038 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/853/1/012038 - [Электроный ресурс]. — URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/853/1/012038/pdf. (дата обращения: 19.10.2021).
16. Smirnov V.O., Snegur А. V., Filinko Y. V. National research & education network of meteorological monitoring in V. I. Vernadsky Crimean Federal University // XIV International Conference "Space and Biosphere" (Space and Biosphere 2021). IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 853 (2021) 012037 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/853/1/012037 - [Электроный ресурс]. — URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/853/1/012037/pdf. (дата обращения: 19.10.2021).
17. Smirnov V.O., Zelentsova M. G. Krainyuk E. S. Practical aspects of application of geoinformation technologies in the design of protective forest belts // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science"» (Scopus, ISI Proceedings): International science and technology conference "Earth science" IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 666 (2021) 042005 IOP Publishing doi:10.1088/1755-1315/666/4/042005. — URL: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/666/4/042005. (дата обращения: 16.03.2021).

Электронные источники:

1. Проект Концепция «Цифровое сельское хозяйство». — URL: http://ama.spbgau.ru/proekt-koncepciya-cifrovoe-selskoe-hozyajstvo.
2. Цифровизация в сельском хозяйстве: технологические и экономические барьеры в России. — URL: https://www.crn.ru/news/detail.php?ID=121765.